

АП:И

АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

международный научный журнал // ISSN 2713-1513 // № 22 (308), 2026 // apni.ru



часть I

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 22 (308)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

Главный редактор: Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

Ответственный редактор: Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.
При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдуллин Тимур Зуфарович, кандидат технических наук (Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара)

Абидова Гулмира Шухратовна, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Альборад Ахмед Абуди Хусейн, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Асаналиев Мелис Казыкеевич, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

Бафоев Феруз Муртазоевич, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

Гаврилин Александр Васильевич, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

Галузо Василий Николаевич, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

Григорьев Михаил Федосеевич, доктор сельскохозяйственных наук (Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого)

Губайдуллина Гаян Нурахметовна, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

Жилина Наталья Юрьевна, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Ильина Екатерина Александровна, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

Каландаров Азиз Абдурахманович, PhD по физико-математическим наукам, доцент, проректор по учебным делам (Гулистанский государственный педагогический институт)

Карпович Виктор Францевич, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

Кожевников Олег Альбертович, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

Колесников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

Копалкина Евгения Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

Красовский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

Кузнецов Игорь Анатольевич, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН, профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

Литвинова Жанна Борисовна, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

Мамедова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

Мукий Юлия Викторовна, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

Никова Марина Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

Насакаева Бакыт Ермекбайкызы, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

Олешкевич Кирилл Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

Попов Дмитрий Владимирович, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

Пятаева Ольга Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

Редкоус Владимир Михайлович, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

Самович Александр Леонидович, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

Сидикова Тахира Далиевна, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

Тихомирова Евгения Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МААН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

Хайтова Олмахон Саидовна, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

Чернышев Виктор Петрович, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

Шаповал Жанна Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Шошин Сергей Владимирович, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

Юсупова Феруза Зойировна, доктор философии (PhD) (Навоийский государственный горно-технологический университет)

Яхшиева Зухра Зиятовна, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Преображенская А.Р.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОХОЖДЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ЛОКАЛЬНУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ НА КВАНТОВОМ ГРАФЕ	6
---	---

ХИМИЯ

Гадоборщева А.М.

ТОНКОСЛОЙНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ЭФИРНЫЕ МАСЛА.....	12
---	----

Ханина А.И.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	15
---	----

Ханина А.И.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРОГРАММ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ СОЗДАНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	20
---	----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Костюшина К.И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО К ГЕОТЕРМАЛЬНОМУ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ	24
--	----

Савельев Р.А.

РЕСУРСНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ FDM-СИСТЕМ ПЕРВОГО И НОВОГО ПОКОЛЕНИЙ	29
---	----

Савельев Р.А.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СТОИМОСТЬ ВЛАДЕНИЯ FDM-СИСТЕМ ПЕРВОГО И НОВОГО ПОКОЛЕНИЙ	34
---	----

Ховалыг А.О.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ТОЧНОСТЬ БПЛА-СЪЁМКИ В ГЕОДЕЗИИ	43
--	----

Ховалыг А.О.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ГЕОДЕЗИИ.....	39
--	----

Хромых Д.В.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАЙНА-КИННИ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА.....	47
--	----

ГЕОЛОГИЯ

Понкращенков Д.Р., Беляков А.Д., Белеску И.А., Шабоян Р.Т., Диетарувве Д.О. ТВЁРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ НИГЕРИИ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ЗАПАСОВ И ПЕРСПЕКТИВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА	51
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Еременко Я.С. КАК ПОДГОТОВИТЬСЯ К СОБЕСЕДОВАНИЮ В IT-КОМПАНИЮ	56
Ждончик А.П. «ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР» В СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ: НОВЫЕ СЦЕНАРИИ АТАК ЧЕРЕЗ НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ДИПФЕЙКИ ГОЛОСА.....	59
Кантимирова Д.М., Гималетдинова К.Н. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕСТОРАННЫМ БИЗНЕСОМ	63
Ханафиев Н.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА СНИМКАХ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	68
Ханина А.И. ПЛАТФОРМЫ LOW-CODE И NO-CODE.....	71

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

Галимов К.Н. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ БЛАГОУСТРОЙСТВЕ ТЕРРИТОРИЙ	75
Галимов К.Н. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ	78
Коротков А.Д. ТЕПЛООБМЕННИКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА В МАШИННЫХ ЗАЛАХ ЭНЕРГОЦЕНТРОВ: ТИПЫ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ	81
Мальцев А.Е. РАСЧЕТ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗДУШНОГО РЕЖИМА КРЫТОГО ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА.....	85

МАТЕМАТИКА

ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ Александра Романовна

аспирант кафедры прикладной математики,
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Россия, г. Москва

ЭМПИРИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОХОЖДЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ЛОКАЛЬНУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ НА КВАНТОВОМ ГРАФЕ

Аннотация. В работе выполнена аппроксимация зависимости коэффициента прохождения нелинейного волнового пакета от контраста локальной дисперсионной неоднородности на квантовом графе. Проведено сравнение четырех типов эмпирических зависимостей (экспоненциальной, степенной, рациональной и логистической) по критериям среднеквадратичной погрешности и коэффициента детерминации. Показано, что логистическая функция с тремя параметрами и фиксированным нижним пределом обеспечивает точность аппроксимации не хуже 8,5% (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,98$) в диапазоне контраста сред от 1 до 8. Полученная формула может быть использована для быстрых оценочных расчетов при проектировании нелинейных волноводных структур без проведения полномасштабного численного моделирования.

Ключевые слова: нелинейное уравнение Шредингера, квантовые графы, локальная неоднородность, логистическая функция, аппроксимация данных, волноводы.

Введение

Численное моделирование нелинейных волновых процессов на разветвленных структурах, таких как квантовые графы, позволяет получать детальные количественные характеристики распространения сигналов в неоднородных средах [3, с. 15]. Однако проведение полномасштабных расчетов для каждого нового значения контраста неоднородности требует значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет их использование в задачах предварительного проектирования.

В прикладных исследованиях часто возникает необходимость в быстрых оценочных зависимостях целевых характеристик от управляющих параметров. Для этой цели широко применяются методы эмпирической аппроксимации: по имеющимся данным численного эксперимента строится аналитическая

формула, обеспечивающая приемлемую точность в заданном диапазоне параметров [2, с. 27].

В данной работе рассматривается задача аппроксимации зависимости коэффициента прохождения T_χ нелинейного волнового пакета от контраста локальной дисперсионной неоднородности χ для квантового графа. Цель исследования – разработать и верифицировать эмпирическую формулу для быстрых оценочных расчетов, сравнить различные типы аппроксимирующих функций и определить область применимости полученной зависимости для описания барьерного эффекта.

Объекты и методы исследования

Математическая модель

Рассматривается нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) на квантовом графе, приведенное к безразмерному виду (1):

$$i \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = -\chi(x) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi(x, t) + |\psi(x, t)|^2 \psi(x, t), \quad (1)$$

Здесь: $\psi(x, t)$ – огибающая волнового пакета, характеризующая перенос сигнала в среде; $|\psi(x, t)|^2$ – плотность сигнала в среде;

$\chi(x)$ – безразмерный параметр контраста проводимости разных сред, с помощью которого

задается локальная неоднородность на ребрах графа.

Для исследования выбран граф топологии: $3 \rightarrow 1 \rightarrow 3$. На одном из центральных ребер задана локальная неоднородность с помощью параметра контраста сред χ . Для графа заданы условия непрерывности волновой функции, условия Кирхгофа (сумма нормальных производных равна 0) и условия Дирихле (в граничных вершинах $\psi = 0$) [1, с. 6].

Численный метод

Для получения численного решения НУШ на графе применяется явная конечно-разностная схема с шагом по пространству $h = 0,4$ и шагом по времени $\tau = 0,0002$, выбранными исходя из условий устойчивости схемы [4, с. 137]. Начальные значения волновой функции задаются с помощью гауссовой функции.

Численная реализация выполняется с помощью программы на Python с применением библиотек Numpy и Matplotlib.

Исходные данные для аппроксимации

В рамках исследования проведена серия расчетов для разных значений параметра контраста сред χ : чем больше χ , тем больше степень неоднородности центрального участка графа. Для каждого случая рассчитан коэффициент прохождения сигнала T_χ по формуле (2):

$$T_\chi = \frac{E_{out}}{E_{in}}, \quad (2)$$

Где: E_{in} – энергия на входных ребрах графа в начальный момент времени; E_{out} – энергия на выходных ребрах графа в конечный момент времени.

По результатам численного моделирования были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость коэффициента прохождения сигнала T_χ от параметра неоднородности среды χ

№ эксперимента	Значение χ	T_χ
1	1	0,490
2	2	0,465
3	4	0,413
4	6	0,338
5	8	0,098

Модели для аппроксимации

Для выбора оптимальной формы эмпирической зависимости рассматриваются четыре типа функций, широко применяемых для описания монотонно убывающих процессов:

1. Экспоненциальная: $T_\chi = Ae^{-B\chi}$;
2. Степенная: $T_\chi = C\chi^{-D}$;
3. Рациональная: $T_\chi = \frac{E}{1+F\chi}$;
4. Логистическая: $T_\chi = \frac{U}{1+e^{k(\chi-\chi_0)}}$.

Параметры моделей определяются методом наименьших квадратов с использованием библиотеки SciPy (функции *curve_fit*).

Критерии качества

Для оценки точности аппроксимации используются следующие метрики:

1. Среднеквадратичная погрешность:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (T_{pred} - T_{model})^2};$$

2. Коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (T_{pred} - T_{model})^2}{\sum (T_{pred} - \bar{T})^2};$$

3. Максимальная относительная погрешность:

$$\delta_{max} = \max \left| \frac{T_{pred} - T_{model}}{T_{pred}} \right| * 100\%.$$

Результаты и их обсуждение

1. Физическая картина барьерного эффекта: пространственно-временная визуализация

В рамках исследования для квантового графа топологии $3 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ с заданной на нем локальной неоднородностью найдено численное решение НУШ с учетом граничных и начальных условий. Выполнено построение детальной визуализации распространения волнового пакета по всему графу. Общая картина распространения сигнала по графу с локальной неоднородностью выглядит следующим образом:

- На входных ребрах графа e1-e3 сигнал протекает одинаково, так как на вход всем трем ребрам подается одна и та же начальная волновая функция. В вершине соединения трех ребер возникает отраженная волна.
- На центральных ребрах e4-e8 наблюдается сложная интерференционная картина: из-за локальной неоднородности на ребре e6 происходит наложение падающей и отраженной волн, в результате чего не весь сигнал проходит через неоднородный участок. В зоне перед неоднородным участком формируются высокоамплитудные пики отраженных волн. Чем

больше степень неоднородности, тем больше отраженная волна.

- На выходных ребрах e9-e11 сигнал уже ослабленный, так как часть его задерживается локальной неоднородностью.

На рисунке 1 показана детальная визуализация прохождения волнового пакета по всем ребрам графа для одной из численных реализаций ($\chi = 8$).

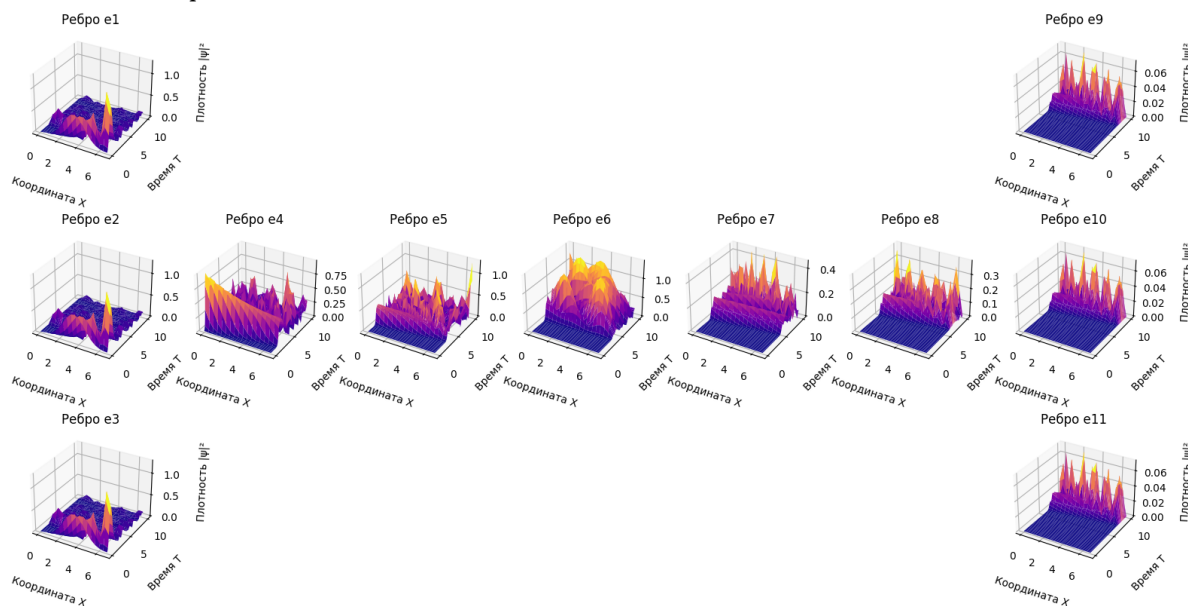


Рис. 1. Пространственно-временная эволюция плотности сигнала $|\psi(x, t)|^2$ на ребрах графа при параметре контраста сред $\chi = 8$

Представленная на рисунке 1 численная реализация примечательна тем, что при значении параметра контраста сред $\chi = 8$ возникает барьерный эффект: участок локальной неоднородности становится барьером, отражающим большую часть сигнала, из-за чего коэффициент прохождения сигнала T_χ значительно снижается. Именно возникновением такого барьерного эффекта объясняются результаты, полученные в таблице 1.

2. Сравнение моделей аппроксимации

Для получения аппроксимирующей модели, позволяющей оценить значение коэффициента прохождения сигнала без дополнительных численных экспериментов, были рассмотрены 4 типа функций: экспоненциальная, степенная, рациональная, логистическая.

На рисунке 2 представлено сравнение четырех типов эмпирических зависимостей с расчетными данными.

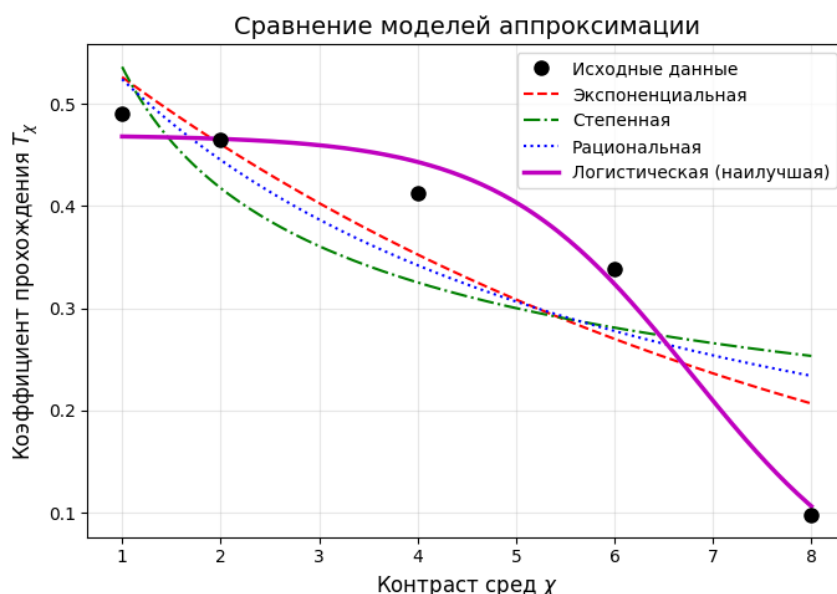


Рис. 2. Сравнение моделей аппроксимации зависимости коэффициента прохождения T_χ от параметра контраста сред χ

Параметры аппроксимирующих моделей и критерии качества приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение моделей аппроксимации

Модель	Формула	Число параметров	R^2	$\delta_{max}, \%$	Вывод
Экспоненциальная	$Ae^{-B\chi}$	2	0,79	111,04	Не описывает плато при малых χ
Степенная	$C\chi^{-D}$	2	0,6	158,56	Не описывает асимптотику при $\chi \rightarrow \infty$
Рациональная	$\frac{E}{1+F\chi}$	2	0,71	138,63	Не описывает барьерный эффект
Логистическая	$\frac{U}{1+e^{k(\chi-\chi_0)}}$	3	0,98	8,5	Описывает переход между режимами

Как видно из рисунка 2 и таблицы 2, простые двухпараметрические модели не способны корректно описать наблюдаемую зависимость. Экспоненциальная и рациональная функции демонстрируют монотонное затухание, которое либо слишком быстрое в начальной области ($\chi < 4$), либо слишком медленное в зоне перехода между режимами ($\chi > 6$). Степенная зависимость также не отражает наличие «плато» при малых χ и резкого спада при больших значениях параметра контраста сред.

Только логистическая функция с тремя параметрами способна одновременно описать медленное изменение в начальной области и резкий переход в области возникновения барьерного эффекта. Количественный анализ подтверждает визуальное наблюдение: максимальная относительная погрешность для логистической модели составляет 8,5% при $R^2 = 0,98$, тогда как для альтернативных моделей погрешность превышает 100%.

3. Логистическая модель: параметры и точность

На основе проведенного сравнения логистическая функция выбрана в качестве основы для эмпирической аппроксимации. Итоговая формула после подбора параметров имеет вид (3):

$$T_{\chi} = \frac{0,4695}{1+e^{1,0142 \cdot (\chi-6,7888)}}, \quad (3)$$

Отметим, что общая логистическая функция содержит 4 параметра и имеет вид:

$$T_{\chi} = L + \frac{U}{1+e^{k(\chi-\chi_0)}}, \quad (4)$$

Однако для рассматриваемой физической задачи нижний предел зафиксирован на уровне $L = 0$, что соответствует условию полного отражения волны при сильной неоднородности (при $\chi \rightarrow \infty, T_{\chi} \rightarrow 0$). В результате формула упрощается и содержит три свободных параметра (U, k, χ_0), что обеспечивает две степени свободы при пяти расчетных точках – статистически приемлемое соотношение.

Параметры модели и их доверительные интервалы (стандартные ошибки) приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры логистической аппроксимации и их доверительные интервалы

Параметр	Значение	Доверительный интервал	Физический смысл
U	0,4695	$\pm 0,0202$	Верхний предел (пропускание в слабонеоднородной среде)
k	1,0142	$\pm 0,2249$	Крутизна перехода между режимами
χ_0	6,7888	$\pm 0,2483$	Центр перехода (критический контраст)
L	0	зафиксирован	Нижний предел (полное отражение)

Сравнение расчетных значений T_{model} с результатами аппроксимации T_{pred} по формуле (3) представлено в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение расчетных и аппроксимированных значений коэффициента прохождения

χ	T_{model}	T_{pred}	$\delta, \%$
1	0,490	0,468	4,45
2	0,465	0,466	0,19
4	0,413	0,443	7,34
6	0,338	0,324	4,15
8	0,098	0,106	8,5

4. Интерпретация результатов

Параметры логистической зависимости имеют прозрачную физическую интерпретацию. Верхний предел $U = 0,4695 \pm 0,0202$ характеризует пропускание сигнала в слабонеоднородной среде. Фиксация нижнего предела $L = 0$ определяет полное отражение при сильном контрасте сред (при $\chi \rightarrow \infty$ $T_\chi \rightarrow 0$).

Ключевой параметр (центр перехода $\chi_0 = 6,7888 \pm 0,2483$) статистически согласуется с пороговым значением $\chi^* \approx 6$, выявленным по энергетическим критериям (формирование стоячей волны). Это подтверждает, что χ_0 отражает реальную физическую характеристику системы, а не является математическим артефактом. Крутизна перехода $k = 1,0142 \pm 0,2249$ указывает на плавное изменение режима в диапазоне $\chi \in [4,8]$.

Статистическая надежность модели обеспечивается двумя степенями свободы (5 точек – 3 параметра) и узкими доверительными интервалами всех коэффициентов.

Полученная формула аппроксимации (3) применима для оценочных расчетов в диапазоне $\chi \in [1,8]$ с точностью не хуже 8,5%, что позволяет использовать ее для быстрого проектирования нелинейных волноводных структур без проведения полномасштабного моделирования.

При изменении исходных параметров модели (другая топология графа, иная нелинейность, другие начальные условия) требуется новый подбор коэффициентов для формулы аппроксимации.

Заключение

В работе выполнена аппроксимация зависимости коэффициента прохождения нелинейного волнового пакета от контраста локальной дисперсионной неоднородности на квантовом графе. Проведенное сравнение четырех типов эмпирических зависимостей показало, что простые двухпараметрические модели

(экспоненциальная, степенная, рациональная) обеспечивают погрешность более 100%, что неприемлемо для практических оценок.

Логистическая функция с тремя параметрами и фиксированным нижним пределом ($L = 0$) снижает максимальную погрешность до 8,5% при $R^2 = 0,98$ и корректно описывает переход между режимами слабого и сильного рассеяния на барьере. Полученная эмпирическая формула может быть использована для быстрых оценочных расчетов при проектировании нелинейных волноводных структур на основе квантовых графов, сокращая потребность в повторных численных экспериментах.

Детальный анализ пространственно-временной эволюции волнового пакета на всех ребрах графа подтвердил физическую природу барьерного эффекта: при $\chi > 6$ наблюдается формирование высокоамплитудных стоячих волн на ребрах перед участком локальной неоднородности и резкое подавление амплитуды на выходных ребрах. Параметр $\chi_0 \approx 6,8$, характеризующий центр перехода в логистической аппроксимирующей модели, согласуется с наблюдаемой картиной локализации энергии, что подтверждает физическую интерпретируемость предложенной аппроксимации.

Литература

1. Бондаренко Н.П. Дискретные математические модели: Учеб. пособие для студ. матем. спец. Саратов, 2015. 52 с.
2. Масловская А.Г. Аппроксимация функций в задачах обработки экспериментальных данных. Учебное пособие / А.Г. Масловская – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2021. 51 с.
3. Покорный Ю.В., Пенкин О.М., Прядиев В.Л., Боровских А.В., Лазарев К.П., Шабров С.А. Дифференциальные уравнения на геометрических графах. Москва, Физматлит, 2004. 272 с.
4. Самарский А.А. Введение в численные методы: [Учеб. пособие для вузов] / А.А. Самарский. - Москва: Наука, 1982. 271 с.

PREOBRAZHenskAYA Alexandra Romanovna

Postgraduate student of the Department of Applied Mathematics,
Moscow State Technological University "STANKIN", Russia, Moscow

EMPIRICAL APPROXIMATION OF THE TRANSMISSION COEFFICIENT FOR NONLINEAR WAVES THROUGH A LOCAL INHOMOGENEITY ON A QUANTUM GRAPH

Abstract. *This paper presents an empirical approximation of the dependence of the transmission coefficient of a nonlinear wave packet on the contrast of a local inhomogeneity on a quantum graph. A comparison of four types of empirical functions (exponential, power-law, rational and logistic) was performed using the root mean square error and the coefficient of determination as quality criteria. It is shown that the logistic function with three parameters and a fixed lower bound provides an approximation accuracy of no worse than 8,5% (with a coefficient of determination $R^2 = 0,98$) over the contrast range from 1 to 8. The resulting formula can be used for rapid estimation calculations in the design of nonlinear waveguide structures without performing full-scale numerical modelling.*

Keywords: *nonlinear Schrödinger equation, quantum graphs, local inhomogeneity, logistic function, data approximation, waveguides.*

ХИМИЯ

ГАДОВОРЩЕВА Амина Мусаевна

студентка, Ингушский государственный университет, Россия, г. Магас

ТОНКОСЛОЙНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ЭФИРНЫЕ МАСЛА

Аннотация. Обоснована возможность применения тонкослойной хроматографии (ТСХ) для скринингового контроля подлинности, чистоты и доброкачественности лекарственного растительного сырья с эфирными маслами. На примере листьев мяты перечной (*Mentha piperita* L.) проведён сравнительный анализ двух образцов: аптечного (сертифицированного) и рыночного (сомнительного). Установлены оптимальные условия: система этилацетат–толуол 1:4, детекция ванилин–серной кислотой. Идентифицированы зоны ментола и ментона, рассчитаны значения R_f . В рыночном образце обнаружена примесь тимола, не характерная для мяты. ТСХ позволяет быстро и достоверно выявлять фальсификацию.

Ключевые слова: тонкослойная хроматография, эфирные масла, мята перечная, контроль качества, ментол, лекарственное растительное сырьё.

Введение

Лекарственное растительное сырьё, богатое эфирными маслами, широко востребовано в медицине и фармации благодаря антисептическим, противовоспалительным, спазмолитическим и седативным свойствам. Типичные представители – мята перечная (*Mentha piperita*), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis*), лаванда (*Lavandula angustifolia*), ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla*), душица (*Origanum vulgare*). Основные действующие вещества – терпеноиды: ментол, ментон, тимол, карвакрол, цинеол, камфора.

Контроль качества такого сырья включает не только количественное определение эфирного масла (метод гидродистилляции), но и идентификацию компонентного состава, выявление подлинности и отсутствия примесей. Газовая хроматография с масс-спектрометрией точна, но требует дорогого оборудования и длительной пробоподготовки. Для рутинного скрининга оптимальна тонкослойная хроматография (ТСХ) – простая, экспрессная, наглядная и доступная.

ТСХ позволяет визуально сравнить хроматографические профили неизвестного образца со стандартом. Метод применяется в фармакогнозии для идентификации

эфиромасличного сырья по характерным зонам с определёнными значениями R_f . Также ТСХ выявляет нежелательные компоненты (например, тимол в мяте вместо ментола, что указывает на подмену сырья душицей или чабрецом).

Цель работы – разработка и апробация методики ТСХ для контроля качества лекарственного растительного сырья, содержащего эфирные масла, на примере листьев мяты перечной.

Задачи: подобрать условия экстракции и подвижную фазу, провести анализ двух образцов, рассчитать R_f , выявить возможные примеси, дать заключение о качестве.

Гипотеза: ТСХ позволяет быстро и надёжно выявить несоответствие рыночного образца мяты требованиям нормативной документации.

Материалы и методы

Объекты исследования

- Образец № 1 – листья мяты перечной из аптеки (ООО «Фитофарм», сертифицирован, соответствует ГФ РФ).
- Образец № 2 – листья мяты с рынка (без маркировки, внешне похож, но с резким камфорным запахом).

Реактивы и оборудование

Пластины «Sorbfil» ПТСХ-АФ-В (10×10 см),

стандарты ментола (ФС 42-0342-05) и тимола (ФС 42-0123-07). Растворители: этилацетат, толуол, гексан, метанол (все х.ч.). Проявитель – 1% раствор ванилина в концентрированной H_2SO_4 (свежий). Экстрагенты: хлороформ, диэтиловый эфир. Оборудование: хроматографические камеры, капилляры, спрей-пульверизатор, сушильный шкаф, весы аналитические.

Приготовление проб

Навеску измельчённых листьев (2,00 г) помещали в колбу с притёртой пробкой, добавляли 10,0 мл хлороформа, настаивали 30 мин при комнатной температуре с периодическим встряхиванием. Экстракт фильтровали, при необходимости концентрировали до 0,5 мл. Готовили растворы стандартов ментола и тимола в хлороформе (1 мг/мл).

Хроматографирование

На стартовую линию (10 мм от края) наносили по 5 мкл каждого экстракта и стандартов. Пластинку помещали в камеру, насыщенную подвижной фазой этилацетат–толуол (1:4). Восходящее хроматографирование при 20–22°C до подъема фронта на 8 см (15–20 мин). Пластинку сушили 5 мин.

Проявление

Опрыскивали 1% раствором ванилина в H_2SO_4 , нагревали при 105–110°C 5–10 мин до появления окрашенных пятен. Цвета: ментол – сине-фиолетовый, ментон – жёлто-оранжевый, тимол – розово-фиолетовый, цинеол – коричневый.

Расчёт R_f

$R_f = L_1 / L_2$, где L_1 – расстояние от старта до центра пятна, L_2 – расстояние от старта до фронта. Отклонение не более 0,03. Каждый образец анализировали в двух повторностях.

Дополнительные методы

Органолептический и микроскопический анализ, определение содержания эфирного масла гидродистилляцией (аппарат Клевенд-жера) по ГФ РФ.

Результаты и обсуждение

Органолептика и микроскопия

Образец № 1: цельные или частично измельчённые листья до 8 см, тёмно-зелёные сверху, светлее снизу с точечными желёзками. Запах ментоловый, вкус жгучий холодящий. Под микроскопом – эфиромасличные желёзки и волоски двух типов (соответствует мяте перечной).

Образец № 2: более тёмная окраска, сероватый оттенок, запах резкий камфорный, без холодящего эффекта, горьковатый привкус.

Микроскопически – округлые желёзки, не типичные для мяты, примесь волосков иного типа (предположительно душица или чабрец).

Содержание эфирного масла

Гидродистилляция: образец № 1 – 2,1% (норма не менее 1,5%). Образец № 2 – 1,7% (формально норма, но запах масла отличается, преобладает тимоловая нота).

Результаты ТСХ

На хроматограмме образца № 1 (проявление ванилином) выявлены три основные зоны:

- $R_f = 0,25$ (сине-фиолетовое) – ментол;
- $R_f = 0,42$ (жёлто-оранжевое) – ментон;
- $R_f = 0,60$ (коричневое, слабое) – предположительно цинеол.

Сравнение со стандартом ментола ($R_f = 0,25$) подтвердило идентификацию. Профиль соответствует литературным данным для мяты перечной.

Образец № 2 дал иную картину:

- зона ментола ($R_f = 0,25$) менее интенсивна;
- зона ментона ($R_f = 0,42$) практически отсутствует;
- вместо неё интенсивное розово-фиолетовое пятно при $R_f = 0,55$, что соответствует стандарту тимола ($R_f = 0,54$ в данной системе);
- дополнительная зона $R_f = 0,78$ (жёлто-зелёная), нехарактерная для мяты (возможно, карвакрол).

Таким образом, образец № 2 содержит значительную примесь другого эфиромасличного сырья – вероятно, душицы (*Origanum vulgare*) или чабреца (*Thymus vulgaris*), где основным компонентом является тимол.

Обсуждение

Количественное определение эфирного масла (1,7%) формально не противоречит норме для мяты, но по компонентному составу образец № 2 не соответствует фармакопейной монографии. Без ТСХ фальсификацию можно было бы не заметить. Выбранная подвижная фаза этилацетат–толуол (1:4) обеспечивает полное разделение ментола, ментона и тимола, зоны компакты. Проявитель чувствителен (до 0,5 мкг).

Практическая значимость: методика может использоваться в контрольно-аналитических лабораториях, на аптечных складах и в учебных целях. Время полного анализа – около 1 ч.

Сравнение с ГХ: ТСХ – экспресс-скрининг подлинности и выявление грубых фальсификаций, ГХ – для детального количественного анализа.

Заключение

Разработана и апробирована методика ТСХ для контроля качества лекарственного растительного сырья с эфирными маслами на примере листьев мяты перечной. Оптимальные параметры: экстракция хлороформом (2 г на 10 мл, 30 мин), подвижная фаза этилацетат–толуол 1:4, детекция 1% раствором ванилина в серной кислоте с нагреванием.

Аптечный образец полностью соответствует требованиям по хроматографическому профилю: ментол (R_f 0,25), ментон (R_f 0,42), цинеол (R_f 0,60). Рыночный образец содержит примесь тимол (R_f 0,55), что указывает на фальсификацию или недопустимую примесь душицы/чабреца. Гипотеза подтверждена: ТСХ быстро и надёжно выявляет несоответствие.

Рекомендуется использовать ТСХ как обязательный скрининговый метод при приёмке эфиромасличного сырья. Перспективы – расширение спектра объектов (шалфей, лаванда, эвкалипт) и создание библиотек хроматографических профилей.

Литература

1. Государственная фармакопея РФ. XIV изд. Т. 2. – М.: ФЭМБ, 2018. – С. 1123–1138.
2. Самылина И.А., Аносова О.Г. Фармакогнозия. Атлас. – М.: ГЭОТАР- Медиа, 2017. –

384 с.

3. Кузьмина Н.В., Шаповал О.Г. Фитохимический анализ лекарственных растений. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 368 с.
4. Посыпайко В.И., Васина Н.А. Аналитическая химия и технический анализ. – М.: Высшая школа, 1979. – 392 с.
5. Wagner H., Bladt S. Plant Drug Analysis: A Thin Layer Chromatography Atlas. 2nd ed. – Berlin: Springer, 2009. – 384 p.
6. Шарафутдинова Г.М., Хазиев Р.Ш. Применение ТСХ для идентификации эфирных масел в растительном сырье // Химия растительного сырья. – 2021. – № 1. – С. 87–94.
7. Беликов В.В., Шрайнер А.А. Хроматография в фармакогнозии. – Пятигорск: ПГФА, 2015. – 112 с.
8. ГОСТ 24027.2-80. Сырьё лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. – М.: Стандартинформ, 2010.
9. European Pharmacopoeia 10.0. – Strasbourg: Council of Europe, 2019. – P. 2876–2879.
10. Ткаченко К.Г., Казакова А.А. Тонкослойная хроматография эфирных масел: практическое руководство. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. – 96 с.

GADOBORSHCHEVA Amina Musaevna

Student, Ingush State University, Russia, Magas

THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY AS A UNIVERSAL METHOD FOR QUALITY CONTROL OF MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS CONTAINING ESSENTIAL OILS

Abstract. The possibility of using TLC for screening control of authenticity, purity and quality of medicinal plant raw materials with essential oils is substantiated. Using peppermint leaves (*Mentha piperita* L.) as an example, a comparative analysis of two samples was carried out: pharmacy (certified) and market (doubtful). Optimal conditions were established: ethyl acetate–toluene 1:4, detection with vanillin-sulfuric acid. Zones of menthol and menthone were identified, R_f values were calculated. The market sample contains an impurity of thymol, which is not characteristic of peppermint. TLC makes it possible to quickly and reliably detect falsification.

Keywords: thin-layer chromatography, essential oils, peppermint, quality control, menthol, medicinal plant raw materials.

ХАНИНА Анастасия Игоревна

системный архитектор,

Российский государственный технологический университет имени К. Э. Циолковского,
Россия, г. Москва

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Аннотация. Любое химическое, пищевое, фармацевтическое, машиностроительное производство, реализующее определённую сложную технологию производства, представляет собой специфическую химико-технологическую систему (ХТС), состоящую из большого количества аппаратов и технологических связей между ними. Проектирование и эксплуатация подобного производства требует глубоких знаний и умений в конкретной предметной области.

При разработке новой ХТС или модернизации существующей основная задача заключается в создании такого объекта химического производства, который позволит получать продукцию заданного качества в требуемом объёме наиболее экономически целесообразным путём. При эксплуатации существующей ХТС необходимо таким образом управлять производством, чтобы при высокой производительности и низких затратах обеспечить получение продукта требуемого качества и реализовать максимально возможную экологическую безопасность производства.

При эксплуатации ХТС необходимо не только понимать принципы организации и функционирования производства, заложенные в технологическую схему при её проектировании, но и учитывать возможные изменения параметров сырья, требований к конечной продукции, а также уметь реагировать на непрерывное изменение параметров работы оборудования вследствие определённого расходования его ресурсов, возможных аварий, пусков, остановок и т. д.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, химико-технологические системы (ХТС), энерго ресурсосбережение, компьютерные программы.

Основная часть

Компьютерное моделирование – метод решения задачи анализа или синтеза сложной системы на основе использования ее компьютерной модели. Суть компьютерного моделирования заключена в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему. Компьютерное моделирование для рождения новой информации использует любую информацию, которую можно актуализировать с помощью ЭВМ.

Компьютерное моделирование химико-технологических систем (ХТС) к настоящему времени полностью доказало свою актуальность и перспективность. С его помощью удастся

повысить эффективность и качество функционирования ХТС и управления технологическими процессами. Но особенно большое значение компьютерное моделирование и оптимизация имеют для синтеза работоспособных и экономичных ХТС, а также для сокращения сроков их проектирования.

Энерго и ресурсосбережение можно рассматривать как оптимизацию материальных и энергетических составляющих существующих технологических процессов. В то же время эту задачу можно понимать и более широко как поиск новых путей рационального использования сырья и энергии для получения необходимых продуктов. Задачи рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов можно рассматривать на различных уровнях, начиная от молекулярного и заканчивая окружающей средой и рынком.

Можно выделить два этапа в развитии компьютерного моделирования ХТС.

Первый этап компьютерного моделирования был связан с переводом расчета

материальных и тепловых балансов ХТС с ручного на компьютерный. Начало этого этапа датируется 1958 г. и знаменуется появлением первой моделирующей системы Flexible Flowsheet. Его становление и развитие шло на протяжении 1960–1970 гг. Концепцией моделирующей программы стала, библиотеки модулей для расчета химико-технологических процессов и аппаратов, банка физико-химических свойств и библиотеки математических модулей. Так было создано несколько десятков универсальных моделирующих программ: CHEOPS, CHEVRON, SPEED-UP, MACSIM, NETWORK 67, CHESS, PACER 245, FLOWTRAN, FLOWPACK, PROCESS и др.

С появлением персональных компьютеров начался расцвет компьютерного моделирования. К этому времени в результате длительного процесса из общего числа выделились четыре универсальные моделирующие программы, которые заняли лидирующее положение в мире: ASPEN PLUS, HYSIS, CHEMCAD и PRO/II. Эти программы обладают обширными библиотеками технологических модулей, большими банками физико-химических свойств и удобным для пользователя интерфейсом. Сегодня указанные программы широко используют при перепрофилировании действующих и проектировании новых ХТС.

Кроме того, следует отметить, что существует тенденция переходить на использование в расчетах все более сложных и, соответственно, более адекватных математических моделей технологических процессов и аппаратов.

На сегодняшний день, в мировой практике, накоплен большой опыт использования универсальных моделирующих программ для расчета стационарных режимов (а также, в меньшей степени, и динамических режимов) ХТС. При совершенствовании универсальных моделирующих программ были созданы наибольшие возможности компьютерного моделирования ХТС и связаны они не с передачей компьютеру традиционных для проектировщиков функций по расчету материальных и тепловых балансов, а с реализацией с помощью компьютера функций оптимизации и управления действующими ХТС, а также синтеза (оптимального проектирования) новых ХТС.

Что же касается второго этапа, то его началом в развитии компьютерного моделирования можно условно отнести ко второй половине 1980-х гг., когда в течение короткого

времени произошел переход к персональным компьютерам и появились первые прототипы универсальных моделирующих программ ASPEN PLUS, HYSIS, CHEMCAD и PRO/II. В данные программы были введены оптимизационные процедуры, и так их стали применять не только для расчета отдельных технологических схем, но и для оптимизации стационарных режимов ХТС. Однако, вплоть до настоящего времени универсальные моделирующие программы гораздо чаще применяют в своей первой функции – расчет материальных и тепловых балансов с использованием наиболее полных и совершенных модулей для расчета аппаратов и банка физико-химических свойств, снабженного новейшими данными. Причиной здесь стали математические трудности оптимизационного расчета и в непривычности целевой функции оптимизации для проектировщиков. Кроме того, главное и принципиальное затруднение, связано с неопределенностью исходной информации, которой мы располагаем при решении задачи оптимизации. Неопределенность практически всегда имеет место на этапе проектирования и часто – на этапе эксплуатации ХТС. Поэтому учет неопределенности информации требует как разработки новых математических постановок задач, так и новых подходов и методов их решения.

Основные функции компьютера при моделировании:

- выполнять роль вспомогательного средства для решения задач, решаемых обычными вычислительными средствами, алгоритмами, технологиями;
- выполнять роль средства постановки и решения новых задач, не решаемых традиционными средствами, алгоритмами, технологиями;
- выполнять роль средства конструирования компьютерных обучающе-моделирующих сред;
- выполнять роль средства моделирования для получения новых знаний;
- выполнять роль «обучения» новых моделей (самообучающиеся модели).

Разновидностью компьютерного моделирования является вычислительный эксперимент. Компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент становится новым инструментом, методом научного познания, новой технологией также из-за возрастающей необходимости перехода от исследования линейных математических моделей систем.

Отображая физическую систему (объект) на математическую систему (например, математический аппарат уравнений) получим физико-математическую модель системы или математическую модель физической системы. В частности, физиологическая система - система кровообращения человека, подчиняется некоторым законам термодинамики и описав эту систему на физическом (термодинамическом) языке получим физическую, термодинамическую модель физиологической системы. Если записать эти законы на математическом языке, например, выпisać соответствующие термодинамические уравнения, то получим математическую модель системы кровообращения. Эту модель можно назвать физиолого-физико-математической моделью или физико-математической моделью.

В химических отраслях промышленности широко используются реакционные, гидромеханические, механические, тепловые и массообменные процессы. Каждый из процессов имеет определенные ограничения, связанные с техническими возможностями, экономической и экологической целесообразностью. Большая часть технических ограничений обусловлена специфическими свойствами перерабатываемых веществ.

Так, для реакционных процессов считаются характерными термодинамические и кинетические ограничения, для массообменных – физико-химические ограничения. Преодоление этих ограничений представляет собой довольно сложную задачу, которая может быть решена интеграцией процессов. Например, совмещением реакционных и массообменных процессов, когда образующиеся продукты принудительно удаляются из зоны реакции (реакционно-ректификационные процессы, мембранные реакторы и др.).

Применение системного подхода к технологическому проектированию химико-технологических процессов предполагает решение совокупности различных формализованных (вычислительных) и неформализованных (смысловых) задач, связанных с анализом, оптимизацией и синтезом технологических схем производств.

Развитие и широкое распространение информационных технологий (ИТ-технологий), внедрение локальных (ЛВС) и глобальных (ГВС) вычислительных сетей, интернет-технологий дают возможность развивать и совершенствовать современные системы прикладной

информатики – автоматизированные (компьютерные) системы (АС).

К ним относятся:

- автоматизированные информационные системы (АИС);
- системы автоматизированного проектирования (САПР);
- автоматизированные системы научных исследований (АСНИ);
- автоматизированные системы управления (АСУ);
- автоматизированные обучающие системы (АОС).

При применении указанных АС для решения задач химической технологии предполагается использование компьютерных моделей реальных процессов и производств, в частности результатов компьютерного моделирования химико-технологических процессов. При этом автоматизированные системы, в соответствии с требованиями к новым информационным технологиям, должны включать в себя методологии решения задач с применением прикладных систем искусственного интеллекта (ИИ) и экспертных систем (ЭС), с использованием которых удастся моделировать некоторые интеллектуальные функции специалистов в конкретной проблемной (предметной) области, а соответственно, и увеличить надежность принимаемых решений неформализованных задач (НФЗ).

В отличие от формализованных задач (ФЗ), для решения которых требуется реализация вычислительных алгоритмов на компьютерах, рациональные решения для НФЗ получаются в результате творческой деятельности специалистов, которая требует, прежде всего, переработки большого количества смысловой (семантической) информации и непосредственно не связана с проведением каких-либо вычислений. Для поиска семантических решений НФЗ необходимо применять не вычислительные алгоритмы, как в случае с ФЗ, а эвристическо-эволюционные процедуры.

Экспертные системы (ЭС) – это интеллектуальные системы, которые способны в диалоге с квалифицированным пользователем – лицом, принимающим решение, на основе накопления и переработки специальных знаний и правил принятия решений проводить экспертизу, контролировать и давать рекомендации по выбору действий (операций), распознавать ситуации, ставить диагноз и обосновывать заключения при поиске решений НФЗ некоторой

проблемной (предметной) области. ЭС можно рассматривать как своеобразные программно-технические усилители интеллектуальной творческой деятельности лица, принимающего решение. Такие интеллектуально-диалоговые системы представляют собой сложные человеко-машинные системы, так называемые системы эргатического типа, применение которых обеспечивает получение наиболее надежных результатов решения задач химической технологии.

Компьютерное моделирование химико-технологических процессов предполагает решение следующих основных задач:

- построения математической модели процесса и ее реализацию на компьютере;
- идентификации (отождествления) разработанной математической модели с моделируемым процессом с целью обеспечения ее адекватности, т. е. определения оптимальных режимных и конструкционных параметров процессов, которые обеспечивают наибольшее или наименьшее значение выбранного критерия оптимальности (целевой функции), характеризующего эффективность реального процесса.

Для решения задач компьютерного моделирования применяется системный подход, в соответствии с которым химико-технологический процесс (ХТП).

Системный подход дает возможность осуществить математическую формализацию задачи при построении математических моделей как процессов в отдельных аппаратах (типовой ХТП), так и в их совокупности (химическое производство), обеспечивая возможности познания физико-химических механизмов протекающих процессов и получение широких обобщений и количественных закономерностей.

Любая система состоит из взаимосвязанных и взаимодействующих между собой и с внешней средой частей и, в определенном смысле, представляет собой замкнутое целое. Объект, являющийся совокупностью соединенных между собой аппаратов (химическое производство), в частности, для производства некоторого целевого продукта, называется химико-технологической системой (ХТС).

Работа по конструированию математической модели чаще всего проводится объединенными усилиями физиков (химиков, биологов, медиков, экономистов), т. е. специалистов, хорошо знающих данную предметную область, и математиков, представляющих себе уровень

развития соответствующего раздела прикладной математики и способных оценить возможность решения возникающей математической задачи. Разновидностью компьютерного моделирования является вычислительный эксперимент. Компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент становится новым инструментом, методом научного познания, новой технологией также из-за возрастающей необходимости перехода от исследования линейных математических моделей систем. Вычислительный эксперимент не отвергает традиционных классических методов анализа, скорее напротив, предполагает их самое активное использование. Кроме того, на долю математиков выпадает и предварительное исследование математической модели – корректно ли поставлена задача, имеет ли она решение, единственно ли оно и т. д. Однако, для актуальных сложных задач, которые представляет современная наука и техника, подобное исследование удастся выполнить лишь в исключительных случаях.

Заключение

Химическая технология – наука о наиболее экономичных и экологически обоснованных методах химической переработки сырых природных материалов в предметы потребления и средства производства. Процессы химической технологии включают химическую переработку сырья, основанную на сложных по своей природе химических и физико-химических явлениях.

Важной отраслью химической технологии является переработка полезных ископаемых и производство на их основе новых видов химических продуктов и сырья многоцелевого назначения.

Суть компьютерного моделирования заключается в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему. Компьютерное моделирование для рождения новой информации использует любую информацию, которую можно актуализировать с помощью ЭВМ.

Литература

1. Елигбаева Г.Ж. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Моделирование технологических процессов» для студентов КазНТУ имени К.И. Сатпаева по специальности 050721 – «Химическая технология органических веществ», 2008.
2. Волин Ю.М. Три этапа компьютерного моделирования химико-технологических систем, 2006.
3. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов, 2006.
4. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем, 1991.
5. Осадчий В.В. Многофакторная модель в коммерческой финансовой системе / В.В. Осадчий // Журнал прикладных исследований. – 2021. – Т. 3. – № 3. – С. 12-16. – DOI 10.47576/2712_7516_2021_3_3_12.

KHANINA Anastasia Igorevna

System Architect,

Russian State Technological University named after K. E. Tsiolkovsky, Russia, Moscow

COMPUTER SIMULATION OF ENERGY AND RESOURCE-SAVING CHEMICAL PRODUCTION

Abstract. Any chemical, food, pharmaceutical, engineering production that implements a certain complex production technology is a specific chemical-technological system (CTS), consisting of a large number of devices and technological connections between them. The design and operation of such production requires deep knowledge and skills in a specific subject area.

When developing a new chemical plant or upgrading an existing one, the main task is to create a chemical production facility that will make it possible to obtain products of a given quality in the required volume in the most economically feasible way. When operating an existing chemical plant, it is necessary to manage production in such a way as to ensure the receipt of a product of the required quality at high productivity and low costs and realize the highest possible environmental safety of production.

When operating a CTS, it is necessary not only to understand the principles of organization and operation of production embedded in the technological scheme during its design, but also to take into account possible changes in the parameters of raw materials, requirements for the final product, and also be able to respond to continuous changes in the operating parameters of the equipment due to a certain consumption of its resources, possible accidents, starts, stops, etc.

Keywords: computer modeling, chemical technological systems (CTS), energy resource saving, computer programs.

ХАНИНА Анастасия Игоревна

системный архитектор,

Российский государственный технологический университет имени К. Э. Циолковского,
Россия, г. Москва

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРОГРАММ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ СОЗДАНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. Обеспечение высоких показателей ресурсосбережения на химических производствах имеет важнейшее значение в химической технологии. Крупнотоннажные производства нефтехимического комплекса, использующие в качестве сырья и топливно-энергетических ресурсов большие объемы нефти и природного газа, а также попутного нефтяного газа представляют собой сложные непрерывные энерго- и ресурсоемкие химико-технологические системы. Для подготовки исходных данных для проектирования указанных производств требуется применение специальных подходов, а также процедур и алгоритмов компьютерного моделирования химических реакторов с гетерогенно-каталитическими реакциями в газовой фазе. Наиболее быстрое и эффективное решение перечисленных задач может быть получено при выполнении следующих условий: корректная инженерно-технологическая постановка исходной задачи анализа всех процессов химического производства; разработка специальных подходов, процедур и алгоритмов компьютерного моделирования химических реакторов и химико-технологических систем для компьютерного анализа различных вариантов технологического и конструкционного оформления химико-технологических процессов и систем.

Ключевые слова: модель, моделирование, комплекс программ, ректификация, ресурсосбережение.

Основная часть

В настоящее время для решения указанных задач компьютерного моделирования химических реакторов и сложных химико-технологических систем широко используются пакеты моделирующих программ (ПМП) Aspen, Hysys, PRO-II и CHEMCAD, которые позволяют быстро и надежно создавать компьютерные модели, как отдельных процессов, так и сложных химических производств в целом. С помощью этих пакетов программ решаются задачи анализа и оптимизации действующих производств, а также задачи синтеза энерго- и ресурсосберегающих технологических схем новых проектируемых производств.

Разработанные процедуры и алгоритмы вносят вклад в развитие методов математического моделирования и могут быть применены для построения компьютерных моделей сложных непрерывных энерго- и ресурсоемких химико-технологических систем, а также для нахождения кинетических констант различных типов химических реакций и расчета

автотермических процессов и высокотемпературных процессов в трубчатых реакторах.

Разработана компьютерная модель принципиальной технологической схемы ароматизации легких алканов из пропан-бутановой смеси и путем расчетных исследований определены условия разделения продукта в четырех колонной ректификационной установке.

С применением комплекса программ CHEMCAD реализован эволюционный алгоритм синтеза энергосберегающих технологических схем ректификации. Разработаны компьютерные модели пяти различных вариантов установок ректификации ароматических углеводородов в производстве аренов из продуктов крекинга. Выбрана наиболее энергосберегающая ректификационная установка из пяти предложенных технологических схем.

Низшие ароматические углеводороды – бензол, толу-ол и ксилолы (БТК) – имеют важное значение для народного хозяйства. Из них получают красители, взрывчатые вещества,

биомедицинские препараты и т. д. [1; 2, с. 41-44; 3, с. 44-45; 4, с. 44-47]. Созданная модель может быть применена для анализа различных вариантов технологических схем, а также определения оптимальных условий проведения химико-технологических процессов с учетом перечисленных выше требований. В последнее время БТК получают из легких алканов и продуктов крекинга методом ароматизации. Известны компании, разработавшие промышленные технологии получения ароматических углеводородов из легких алканов и продуктов крекинга, – Cyclar, Sanyo Petrochemical и «Алканар». Анализ технологий ароматизации приведен в работе [5], однако в данных работах недостаточно рассмотрен вопрос синтеза оптимальных технологических схем разделения БТК с позиции энергосбережения (в технологии компании Cyclar установлена одна ректификационная колонна для отделения легких углеводородов от БТК).

Наличие нескольких стадий в процессе обуславливает значительно большую сложность математического описания гетерогенно-каталитических реакций по сравнению с гомогенными и гомогенно-каталитическими, поскольку их скорость определяется только действующими массами реагентов и константой скорости.

Разработка энергосберегающих технологических схем ректификации (ТСР) многокомпонентных смесей является важнейшей задачей в промышленности органического и нефтехимического синтеза [6]. Ректификация – процесс, получивший наиболее широкое применение для разделения смесей органических продуктов на отдельные фракции, но этот процесс обладает высокой энергоемкостью, и во многих случаях энергозатраты достигают 70% всех энергозатрат на производство в целом [7, с. 367-376]. Из-за крупнотоннажности производств основного органического и нефтехимического синтеза, а также некоторых производств тонкого органического синтеза даже незначительное снижение энергопотребления может привести к получению существенного экономического эффекта для производства в целом.

Наиболее выгодным является режим, при котором лимитирующей стадией, определяющей скорость гетерогенно-каталитической реакции, является собственно превращение. В таком случае говорят, что процесс идет в кинетической области (в противоположность

внутреннедиффузионной и внешнедиффузионной области). Однако практически не всегда удается устранить диффузионное торможение.

Выбор оптимальной ТСР осложняется поливариантностью организации процесса ректификации [8, с. 97-101]. Снижение энергоемкости подсистемы разделения требует применения комплексного подхода и совершенствования как рабочих параметров, так и структуры ТСР. Решению задач разработки алгоритма синтеза оптимальных ТСР посвящены работы [8, с. 97-101; 9]. Реализации разработанного алгоритма посвящены работы [10, с. 681-687; 11, с. 40-52]. Разработке энергосберегающей подсистемы ректификации смеси ароматических углеводородов в производстве аренов из легких алканов посвящена работа [12, с. 39-50].

Процессы в физических аппаратах этого отделения, в основном, моделируются путем комбинации стандартных расчётных модулей моделирующей программы.

В программе все схемы состоят из четырех последовательно соединенных колонн. Все колонны – простые (без боковых отборов, боковых отпарных секций и потоков циркуляционного орошения). Все колонны – тарельчатые, тип тарелок – ситчатые.

Для реализации указанной задачи был использован комплекс программ CHEMCAD, позволяющий создавать «виртуальные» химико-технологические системы (ХТС) [14].

Задача синтеза ТСР в настоящей работе решается с использованием эволюционного метода синтеза химико-технологических систем. Эволюционный метод синтеза ХТС заключается в последовательной модификации аппаратурного оформления и структуры технологических связей некоторого исходного варианта ХТС с использованием методов математического моделирования [15].

Расчетные модули (в дальнейшем просто модули) представляют собой реализованные в программном комплексе вычислительные алгоритмы, предназначенные для расчёта различных химико-технологических процессов. Для реализации компьютерных моделей ТСР использованы модули строгого расчета ректификации с использованием алгоритма одновременного решения системы нелинейных уравнений методом Ньютона–Рафсона. Отличие заключается только в порядке разделения компонентов.

Поскольку при реализации задачи синтеза ТСР необходимо получить чистые компоненты

(или практически чистые), при моделировании ТСР задают такие параметры работы ректификационных колонн, при которых данное разделение будет осуществимо. Исходя из состава входного потока, необходимо задавать расходы дистиллятов (или кубовых остатков), а также выбирать типы конденсаторов. С позиции энергосбережения целесообразно выбирать парциальные конденсаторы, однако с позиции экономики ТСР с такими конденсаторами будут более дорогими по сравнению с ТСР с полными конденсаторами.

Для реализации эволюционного метода синтеза для различных ТСР варьировались типы конденсаторов (полный или парциальный), а также флегмовые числа R и расходы кубового остатка W (паровые числа S и расходы дистиллята D).

С применением комплекса программ CHEMCAD проведено компьютерное моделирование пяти различных вариантов технологических схем ректификации ароматических углеводородов с простыми колоннами и определены их технологические и конструкционные параметры. Выбрана наиболее энергосберегающая технологическая схема ректификации из пяти предложенных систем разделения.

Заключение

Любую технологическую схему разделения можно представить как набор операторов разделения (ректификационных, экстракционных, абсорбционных и других колонн), определенным образом связанных друг с другом. Задача синтеза оптимальной технологической схемы разделения в самом общем виде заключается в следующем: при известных составе и состоянии сырья, получаемого в результате химических реакций (т. е. в реакционной подсистеме), и заданных компонентах или фракциях, которые должны быть выделены, и их качестве необходимо выбрать: методы, которые могут быть применены на каждом этапе разделения, оптимальный набор разделительных операторов, оптимальную схему потоковых взаимосвязей между операторами и оптимальные параметры работы каждого оператора (оптимальные не по отдельным операторам, а для всей схемы разделения).

При разработке и проектировании можно поставить несколько задач: достигнуть минимальных энергетических затрат; достигнуть минимальных капитальных затрат; получить продукты необходимой степени чистоты; достигнуть максимального выхода целевых

продуктов; выбрать наиболее устойчивые режимы работы аппаратов; достигнуть минимального сброса химических продуктов в окружающую среду. Решение всех этих задач одновременно, как правило, невыполнимо, так как наблюдаются конкурентные ситуации.

С применением комплекса программ CHEMCAD построены и реализованы компьютерные модели четырех отделений производства аммиака из природного газа.

Литература

1. Орехов В.С., Дьячкова Т.П., Субочева М.Ю., Колмакова М.А. Технология органических полупродуктов. Ч. 1. Тамбов: ТГТУ, 2007. 140 с.
2. Гартман Т.Н., Боровкова Е.А., Советин Ф.С. Разработка компьютерной модели промышленной технологической схемы ароматизации легких алканов // Химическая техника. №5. 2016. С. 41-44.
3. Советин Ф.С. Гартман Т.Н. Применение комплекса программ CHEMCAD для разработки компьютерной модели технологического узла нитрования крупнотоннажного производства нитробензола // Химическая техника. №4. 2012. С. 44-45.
4. Медведев А.Ю., Советин Ф.С., Гартман Т.Н., Павлов А.С., Сеннер С.А. Компьютерное моделирование крупнотоннажной технологической схемы процесса алкилирования бензола этиленом // Химическая техника. № 7. 2015. С. 44-47.
5. Карташёв И.Ю. Ароматизация легких алканов на промотированных высококремнеземных цеолитах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. М.: РГУНГ им. И.М. Губкина, 2005.
6. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов. М.: «Академкнига», 2008. 415 с.
7. Панкрушина А.В., Гартман Т.Н. Технологический расчет сложных комплексов ректификационных колонн и оценка их эффективности с учетом колебания состава питания // Химическая технология № 8. 2016. С. 367-376.
8. Викторов В.К., Малютин А.Ю. Метод синтеза химико-технологических систем ректификационных колонн // Изв. Санкт-петербургского государственного технологического института (технического университета). 2012. № 14 (40). С. 97-101.

9. Малютин А.Ю. Синтез оптимальных теплоинтегрированных ректификационных систем. Дис. канд. техн. наук. С.-Пб.: С.-Пб. ГТИ(ТУ), 2012.

10. Тимошенко А.В., Ахапкина О.А., Анохина Е.А., Аристович Ю.В. Энергосберегающие подсистемы ректификации бутанов и пентанов // Химическая технология. 2012. № 11. С. 681-687.

11. Тимошенко А.В., Тимофеев В.С., Хахин Л.А., Иванов И.В., Трегер Ю.А., Розанов В.Н. Синтез и оптимизация энергосберегающей подсистемы разделения в процессе получения олефинов из природного газа // Химическая промышленность сегодня. 2013. № 1. С. 40-52.

12. Боровкова Е.А., Советин Ф.С., Рамазанова А.А., Гартман Т.Н. Разработка энергосберегающей подсистемы ректификации в

производстве ароматических углеводородов из легких алканов // Химическая промышленность сегодня. №8. 2015. С. 39-50.

13. Боровкова Е.А. Моделирование технологических схем процессов с газофазными гетерогенно-каталитическими реакциями в производствах синтез-газа и ароматических углеводородов. Дис. канд. техн. наук. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016.

14. Гартман Т.Н., Советин Ф.С. Аналитический обзор современных пакетов моделирующих программ для компьютерного моделирования химико-технологических систем // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 11 (140). С. 117-120.

15. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. М.: Химия, 1991. 432 с.

KHANINA Anastasia Igorevna

System Architect,

Russian State Technological University named after K. E. Tsiolkovsky,
Russia, Moscow

DEVELOPMENT OF COMPUTER MODELS OF CHEMICAL PRODUCTIONS USING MODERN SOFTWARE COMPLEXES IS A PROMISING WAY TO CREATE RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE CHEMICAL INDUSTRY

Abstract. Ensuring high levels of resource conservation in chemical production is of utmost importance in chemical technology. Large-scale production of the petrochemical complex, using large volumes of oil and natural gas, as well as associated petroleum gas as raw materials and fuel and energy resources, are complex continuous energy- and resource-intensive chemical-technological systems. To prepare initial data for the design of these industries, the use of special approaches, as well as procedures and algorithms for computer modeling of chemical reactors with heterogeneous catalytic reactions in the gas phase is required. The fastest and most effective solution to the listed problems can be obtained if the following conditions are met: correct engineering and technological formulation of the initial problem of analyzing all chemical production processes; development of special approaches, procedures and algorithms for computer modeling of chemical reactors and chemical-technological systems for computer analysis of various options for technological and design design of chemical-technological processes and systems.

Keywords: model, simulation, software package, rectification, hydrocarbons.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

КОСТЮШИНА Ксения Игоревна

магистрантка,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Санкт-Петербург

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО К ГЕОТЕРМАЛЬНОМУ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Аннотация. В работе рассматриваются изменения объемов перекачки теплоносителя, возникающие при модернизации систем теплоснабжения и переходе от традиционных централизованных систем к децентрализованным геотермальным теплонасосным контурам. На основе уравнений массового баланса выполнен сравнительный анализ итоговых расходов жидкости на вводах конкретных потребителей микрорайона. Установлено, что замена высокотемпературного графика 150/70°C на низкотемпературный – +3,5/-3,5°C в сочетании со сменой теплофизических свойств теплоносителя (30%-го раствора пропиленгликоля) приводит к увеличению часового расхода в 3,6 раза. Сформулированы выводы о неприменимости старых схем транспортировки тепла и необходимости расположения геотермальных скважин непосредственно у зданий.

Ключевые слова: децентрализация, геотермальный тепловой насос, температурный график, пропиленгликоль, расход теплоносителя, гидравлический расчет.

Введение

Актуальность модернизации тепловых сетей в России объясняется необходимостью снижения износа и теплопотерь, которые в централизованных системах достигают 10–12% от общего объема вырабатываемой энергии. Альтернативным решением является применение тепловых насосов, использующих тепло грунта при помощи вертикальных скважинных теплообменников [2]. Основы проектирования таких систем для условий холодного климата отмечены в трудах Г. П. Васильева и М. К. Безродного [1, с. 39-45; 2]. Моделирование теплового режима грунта около скважин опирается на зарубежные методы линейного источника тепла в работах L. R. Ingersoll и G. Hellström [7, 8].

Главная сложность заключается в изменении гидравлического режима. Классический режим работы централизованного теплоснабжения определяется высокими параметрами температурного графика 150/70°C с перепадом температур 80°C. Перевод системы теплоснабжения на низкотемпературные параметры

геотермального контура +3,5/-3,5°C резко сокращает перепад до 7°C. Из базовых законов теплотехники следует, что для переноса равного количества теплоты зданиям необходимы большие объемы теплоносителя [4].

Цель данного исследования – сравнительный анализ и количественная оценка теплоносителя на вводах конкретных зданий при переходе с централизованного теплоснабжения к децентрализованному геотермальному контуру.

Материалы и методы

Объектом данного исследования является тепловая сеть жилого микрорайона, определенного для климатических условий г. Санкт-Петербурга. Суммарная тепловая нагрузка на нужды систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения застройки составляет 8,56 МВт. Параметры наружного воздуха принимались в соответствии с СП 131.13330.2025 [5]: температура наиболее холодной пятидневки с нормативной обеспеченностью 0,92 для Санкт-Петербурга установлена -24°C. Грунтовый слой

определяется влажным суглинком со средней теплопроводностью 1,4 Вт/(м·К). Распределение тепловых нагрузок и нумерация зданий

приведены на расчетной схеме тепловой сети (рис.).

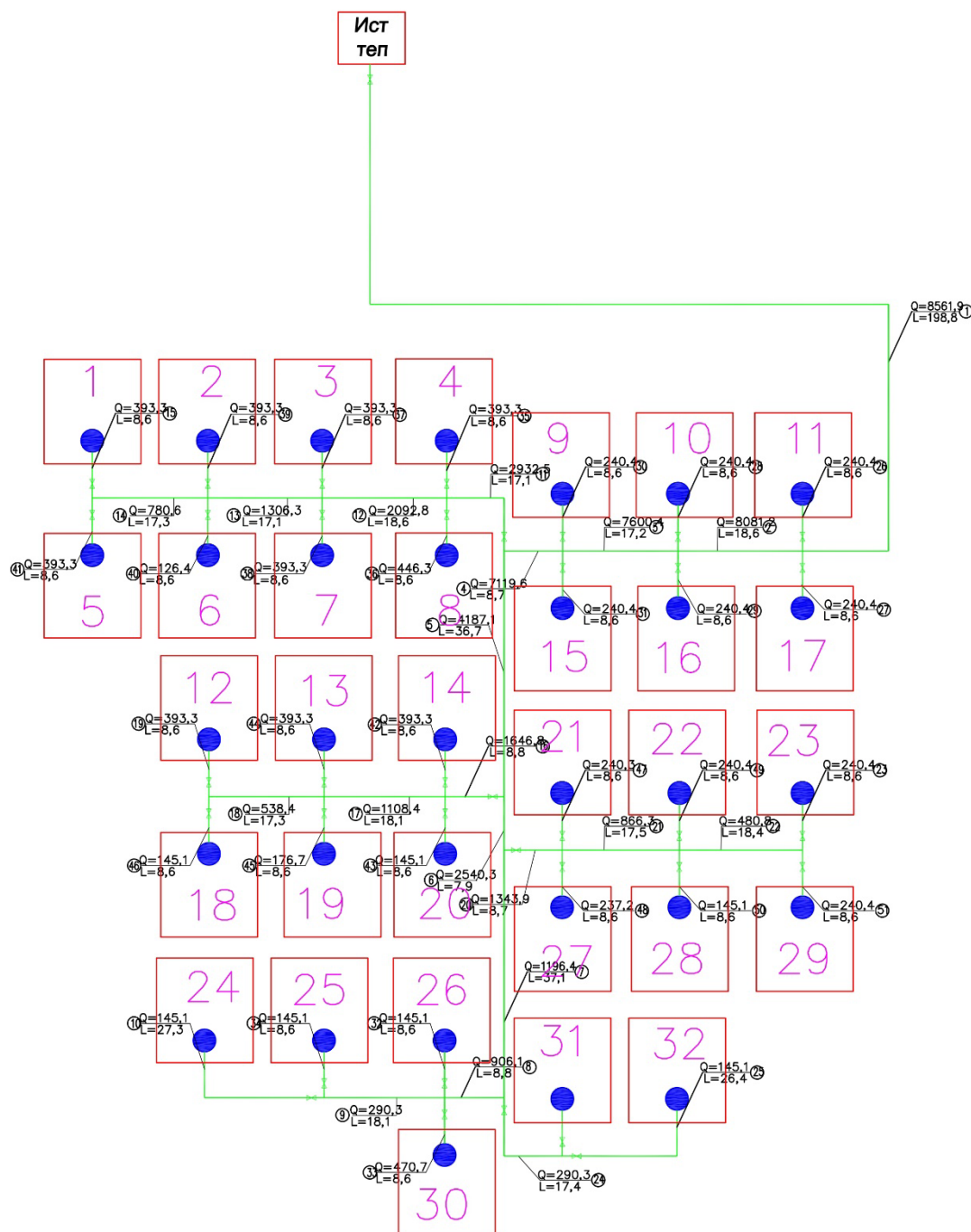


Рис. Расчетная схема тепловой сети

Чтобы оценить пропускную способность сети и динамику потоков, для расчета были выбраны здания, наиболее удаленные от источника теплоты. Данные объекты находятся в наименее выгодных условиях, так как располагаемый напор и давление на вводах здесь минимальны. Для анализа приняты трубопроводные вводы в два конкретных здания южной зоны микрорайона (рис.) со следующими параметрами теплопотребления:

- Здание № 31 (смежный концевой участок № 24): расчетная мощность $Q = 0,290$ МВт (290 кВт);
- Здание № 32 (конечный участок № 25): расчетная мощность $Q = 0,145$ МВт (145 кВт).

Расход теплоносителя для обеих систем определялся по классическому уравнению теплового баланса (в соответствии с СП 60.13330.2020 [6]). Массовый расход теплоносителя G_m , кг/с, необходимый для компенсации

теплопотерь через ограждающие конструкции зданий, вычислялся по формуле:

$$G_M = \frac{Q}{c \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (1)$$

Где: Q – расчетная тепловая мощность объекта, кВт;

c – удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·К);

t_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С;

t_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С.

Чтобы оценить потери и подобрать насосное оборудование, массовые характеристики потока переводились в объемный расход G_B , м³/ч, по формуле:

$$G_B = 3,6 \cdot G_M \cdot \frac{1000}{\rho}, \quad (2)$$

Где ρ – плотность теплоносителя при его средней эксплуатационной температуре, кг/м³.

При расчете централизованного теплоснабжения в качестве теплоносителя использована сетевая вода. Для котельной высокотемпературного графика 150/70°С перепад температур на вводах в здания составляет $(t_1 - t_2) = 80^\circ\text{C}$. Свойства воды в этом интервале стабильны,

следовательно, удельная теплоемкость принимается константой $c = 4,187$ кДж/(кг·К).

При исследовании децентрализованного геотермального контура в качестве теплоносителя использование воды невозможно из-за риска промерзания скважин. В качестве низкопотенциального теплоносителя принят 30%-й водный раствор пропиленгликоля. Низкотемпературный зимний график для внешнего контура задан в пределах $+3,5/-3,5^\circ\text{C}$, что снижает располагаемый температурный перепад в испарителе теплового насоса до $(t_1 - t_2) = 7^\circ\text{C}$. Для данных условий учитывались реальные свойства раствора: плотность $\rho = 1030$ кг/м³, а удельная теплоемкость $c = 3,85$ кДж/(кг·К) [4].

Для более точного сравнения диаметры подводящих труб к домам № 31 и № 32 в обоих вариантах были приняты одинаковыми (Ду70). В качестве трубопроводов были приняты гидравлически гладкие трубы.

Результаты

По формулам (1) и (2) определены расходы теплоносителей для домов № 31 и № 32 соответственно. Полученные результаты для централизованного и геотермального теплоснабжения сведены в таблицу (табл.).

Таблица

Сравнительные параметры расходов теплоносителя для зданий № 31 и № 32

Параметр тепловой сети	Здание № 31 (Q = 0,290 МВт)		Здание № 32 (Q = 0,145 МВт)	
Режим теплоснабжения	Централиз.	Геотерм.	Централиз.	Геотерм.
Температурный график, °С	150/70	+3,5/-3,5	150/70	+3,5/-3,5
Расчетный перепад температур, °С	80	7	80	7
Используемый теплоноситель	Вода сетевая $c = 4,187$ кДж/(кг·К)	Пропиленгликоль $c = 3,85$ кДж/(кг·К)	Вода сетевая $c = 4,187$ кДж/(кг·К)	Пропиленгликоль $c = 3,85$ кДж/(кг·К)
Массовый расход теплоносителя, т/ч	5,985	21,533	2,992	10,766

Данные таблицы (табл. 1) показывают, что изменение температурного графика и переход на другой теплоноситель приводят к значительному росту расходов на вводах в здания. Для дома № 31 расход увеличивается с 5,985 т/ч до 21,533 т/ч. Для здания № 32 определено аналогичное изменение – с 2,992 т/ч до 10,766 т/ч.

Коэффициент кратности увеличения объемного расхода K определяется по формуле (3) [1, с. 39-45; 4]:

$$K = \frac{c_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \rho_2}{c_2 \cdot \Delta t_2 \cdot \rho_1}, \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что на увеличение расхода влияет не только температурный перепад, но и изменение теплоемкости для геотермального контура [2; 3, с. 85-92].

Обсуждение

Выявленный рост расходов теплоносителя в 3,6 раза требует пересмотра схемы тепловых сетей микрорайона.

При высокотемпературном режиме котельной (150/70°С) достаточно небольшие часовые расходы (в пределах 3–6 т/ч на один объект) позволяют использовать трубопроводы небольших диаметров. Однако исследования Г. П.

Васильева [3, с. 85-92] и расчетные модели, разработанные под руководством А. Б. Сулина и А. А. Никитина [4] показывают, что принцип работы тепловых насосов исключает возможность использования стандартных радиальных или тупиковых схем распределения тепла в масштабах квартала.

Транспортировка больших объемов 30%-го раствора пропиленгликоля (свыше 21 т/ч только для здания № 31) от единого удаленного источника приведет к резкому скачку потерь давления в трубах. Это заставит увеличивать мощность насосного оборудования, что в дальнейшем приведет к увеличению годового расхода электроэнергии. Дополнительным фактором влияния служат свойства теплоносителя: его плотность и динамическая вязкость в геотермальном контуре значительно выше аналогичных показателей сетевой воды, что подтверждается данными М. К. Безродного [1, с. 39-45].

Полученные результаты вычислений подтверждают вывод из работ G. Hellström [8]: низкотемпературные геотермальные системы требуют децентрализованной структуры. Полученные данные дают понять, что геотермальный контур вертикальных скважин следует располагать не как единую систему, а локально у каждого здания – потребителя. Это позволяет избежать перекачки больших объемов более вязкого теплоносителя по магистральным трубам и сделать работу тепловых насосов достаточно эффективной.

Выводы

Переход от высокотемпературного централизованного теплоснабжения к низкотемпературным геотермальным системам на базе тепловых насосов приводит к увеличению расходов на вводах в здания. Одной из главных причин является слишком малый температурный перепад в земляном контуре. Дополнительным фактором служит низкая теплоемкость альтернативного теплоносителя по сравнению с водой.

Расчеты показывают, что при переходе на децентрализованное геотермальное теплоснабжение невозможно использовать аналогичную схему централизованной сети.

Перекачка больших объемов жидкости увеличивает затраты и расход электроэнергии на работу насосов. Чтобы уменьшить энергопотребление на циркуляцию, геотермальный контур следует располагать как локальные модульные системы. Размещение вертикальных скважин в непосредственной близости от тепловых пунктов конкретных зданий исключает необходимость транспортировки низкопотенциальной теплоты по главной магистрали микрорайона.

Литература

1. Безродный М.К. Термодинамическая эффективность теплонасосных схем теплоснабжения / М.К. Безродный, Н.А. Притула // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 3(108). – С. 39-45. – EDN QZDLOP.
2. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли / Г.П. Васильев. – Москва: Издательский дом «Граница», 2006. – 173 с. – ISBN 5-94691-202-X. – EDN QNMCSN.
3. Геотермальное теплоснабжение в московском регионе: температурный потенциал и рациональная глубина термоскважин / Г.П. Васильев, В.Ф. Горнов, А.Н. Дмитриев [и др.] // Теплоэнергетика. – 2018. – № 1. – С. 85-92. – DOI 10.1134/S0040363618010095. – EDN ZVCVEB.
4. Кропис Ю.Н., Муравейников С.С., Никитин А.А., Рябова Т.В., Сулин А.Б., Тепловые насосы – СПб: Университет ИТМО, 2022 – 76 с.
5. СП 131.13330.2025. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Минстрой России, 2025.
6. СП 60.13330.2020. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Введ. 2021-06-27. – М.: Минрегион России, 2021. – 81 с.
7. Ingersoll L.R., Zobel O.J., Ingersoll A.C. Heat Conduction with Engineering, Geological, and Other Applications. – Madison: University of Wisconsin Press, 1954. – 325 p.
8. Hellström G. Ground Heat Storage: Thermal Analyses of Duct Storage Systems. – Lund: University of Lund, 1991. – 262 p.

KOSTUSHINA Ksenia Igorevna

Master's Student, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, Saint Petersburg

COMPARATIVE ANALYSIS OF HYDRAULIC FLOW RATES DURING THE TRANSITION FROM CENTRALIZED TO GEOTHERMAL HEAT SUPPLY ON THE EXAMPLE OF CHARACTERISTIC RESIDENTIAL BUILDINGS

Abstract. *The paper considers the changes in heat carrier pumping volumes occurring during the modernization of heat supply systems and the transition from traditional centralized systems to decentralized geothermal heat pump loops. Based on mass balance equations, a comparative analysis of the resulting fluid flow rates at the inlets of specific consumers in a residential district was performed. It was established that replacing the high-temperature schedule of 150/70°C with a low-temperature one - +3,5/-3,5°C, combined with a change in the thermophysical properties of the heat carrier (a 30% propylene glycol solution), leads to a 3,6-fold increase in the hourly flow rate. Conclusions are formulated about the inapplicability of the old schemes of heat transportation and the need to locate geothermal wells directly near buildings.*

Keywords: decentralization, geothermal heat pump, temperature profile, propylene glycol, coolant flow rate, hydraulic calculation.

САВЕЛЬЕВ Роман Александрович

ведущий инженер-конструктор,

Управление разработки вычислительной техники, АО «НИЦЭВТ»,
Россия, г. Москва

РЕСУРСНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ FDM-СИСТЕМ ПЕРВОГО И НОВОГО ПОКОЛЕНИЙ

Аннотация. Исследование посвящено анализу ресурсных параметров и технологической производительности FDM-систем в контексте смены поколений оборудования. Рассматриваются отличия систем первого поколения от современных промышленных установок применительно к условиям российских производств. Выявлены ключевые факторы, определяющие материалоемкость, энергопотребление и временные затраты процесса послойного наплавления. На основе анализа эксплуатационных данных за 2023–2025 годы показано, что внедрение систем нового поколения позволяет существенно сократить материальные потери и повысить производительность, однако критически зависит от технологических факторов и настроек печати. Доказывается, что реальный расход материала значительно отклоняется от теоретического из-за поддерживающих структур и тестовых прогонов. Полученные результаты формируют основу для принятия обоснованных решений о технологическом перевооружении аддитивных участков.

Ключевые слова: FDM-технология, послойное наплавление, материалоемкость, ресурсная эффективность, производительность, энергопотребление, промышленные 3D-принтеры.

Технологическое развитие FDM-систем привело к появлению промышленных установок, чьи возможности по работе с материалами и скоростные характеристики радикально отличаются от настольных принтеров первого поколения. Однако количественная оценка этих различий в терминах материалоемкости, энергоэффективности и производительности остаётся недостаточно систематизированной применительно к российским производственным условиям. Настоящая статья восполняет этот пробел, концентрируясь исключительно на ресурсных и технологических аспектах.

Материалоемкость и ресурсная эффективность

Одним из наиболее дискуссионных аспектов темы остаётся вопрос материальных потерь. Для традиционных методов обработки, таких как фрезерование, коэффициент использования материала может опускаться до 0,2–0,3, что означает превращение 70–80% заготовки в

стружку [6]. FDM-технология, благодаря аддитивному принципу, теоретически приближается к коэффициенту, близкому к единице. Однако практика демонстрирует иное. Реальный расход материала включает не только массу самого изделия, но и поддерживающие структуры, подложку, а также отходы при калибровке и тестовых прогонах. Для сложных геометрий объём поддержек может достигать 30–40% от массы детали [4]. Принтеры первого поколения не всегда позволяли использовать растворимые поддержки, что вынуждало применять тот же конструкционный материал и терять его при механическом удалении. Современные системы поддерживают печать вторым экструдером с водорастворимыми филаментами, снижая отходы на 15–20%.

Стоимость самих материалов в 2024–2025 годах демонстрирует значительный разброс, стоимость материалов приведена ниже (рис. 1).

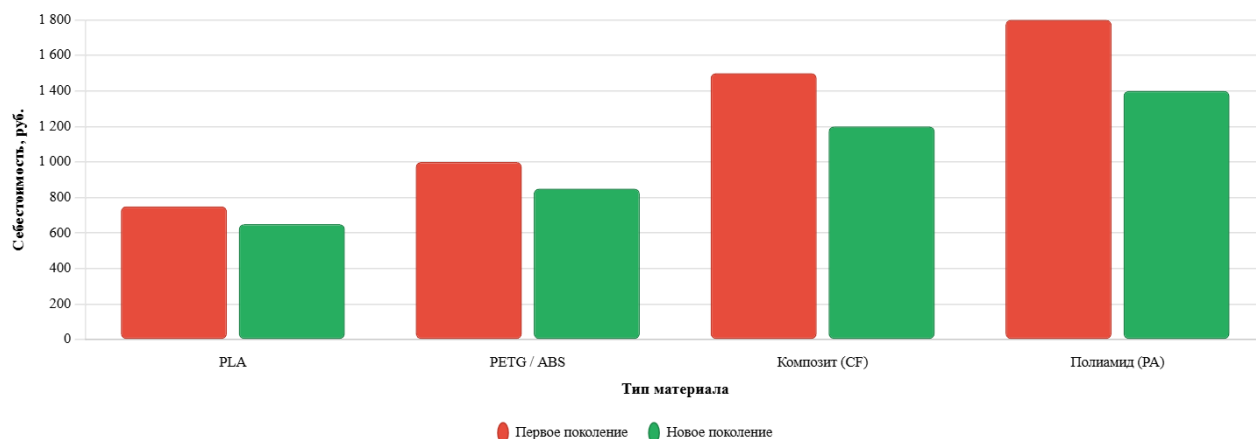


Рис. 1. Себестоимость по материалам

Базовые PLA-филаменты доступны по цене 1200–1500 рублей за килограмм, PETG и ABS находятся в диапазоне 1800–2200 рублей, а композиты с углеволокном или стекловолокном стартуют от 5000 рублей [1]. Для промышленных задач, требующих печати полиамидами или поликарбонатом, расходы возрастают до 8000–12000 рублей на килограмм. При этом

рынок испытывает дефицит отечественных производителей инженерных филаментов, что создаёт зависимость от импорта и валютных колебаний.

Важно заметить, что удельная материалоемкость напрямую зависит от настроек печати, материальные потери приведены ниже (рис. 2).

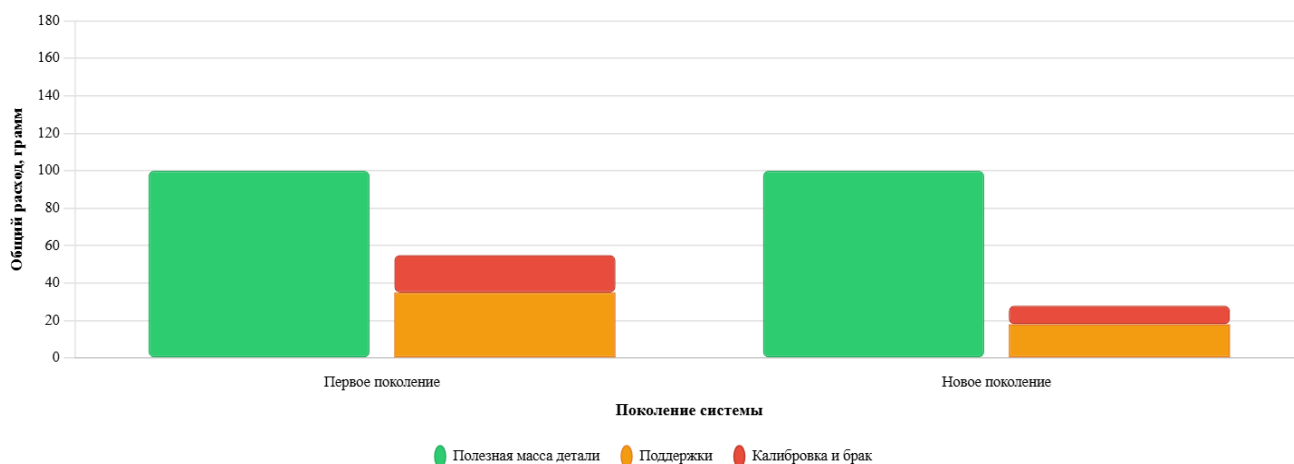


Рис. 2. Материальные потери

Плотность заполнения – один из определяющих факторов прочности и расхода пластика. Заполнение на 100% обеспечивает максимальную жёсткость, но требует в пять раз больше материала и времени, чем печать с 20% заполнением [2]. Картина здесь неоднородная: для прототипов достаточно 10–15%, для функциональных деталей оптимум находится в районе 30–50%, а полное заполнение оправдано лишь для нагруженных узлов.

Энергетическая составляющая процесса также заслуживает внимания. Средний FDM-принтер потребляет от 100 до 250 Вт в зависимости от наличия термокамеры и подогреваемого стола. На практике парк из 15 машин,

работающих круглосуточно, генерирует месячный счёт за электроэнергию в 20–30 тысяч рублей [5]. Для систем нового поколения с активным термоконтролем эта цифра может возрастать на 30–40%, однако увеличение производительности компенсирует рост энергозатрат в пересчёте на единицу изделия.

Производительность и временные параметры производства

Скорость изготовления детали определяется совокупностью факторов: геометрией объекта, высотой слоя, скоростью движения печатающей головки и временем на прогрев и охлаждение. Принтеры первого поколения работали со стандартной высотой слоя 0,2–0,3 мм и

линейной скоростью 50–70 мм/с. Это означало, что небольшая деталь объёмом 50 см³ требовала 6–8 часов печати, а крупный корпус занимал до 48 часов непрерывной работы. Современные системы демонстрируют существенно иные показатели. Применение широких сопел диаметром 0,6–1,0 мм позволяет увеличить высоту слоя до 0,4–0,5 мм без критической потери качества, сокращая время печати вдвое [7]. Ускоренная кинематика и улучшенные алгоритмы управления подачей материала поднимают скорость до 150–250 мм/с. Впрочем, это справедливо не для всех случаев: печать инженерными пластиками с высокой температурой плавления накладывает ограничения на

скоростные режимы из-за риска неполного сплавления слоёв.

Время, затрачиваемое на подготовку к печати и постобработку, часто остаётся за кадром при сравнении технологий. Загрузка файла, калибровка стола, установка материала и запуск процесса на принтерах первого поколения могли занимать от 30 минут до часа. Новые системы с автоматической калибровкой и бесконтактными датчиками сокращают этот этап до 10–15 минут (рис. 4). Постобработка – удаление поддержек, шлифовка, химическая обработка – добавляет ещё от 20 минут до нескольких часов в зависимости от требований к поверхности.

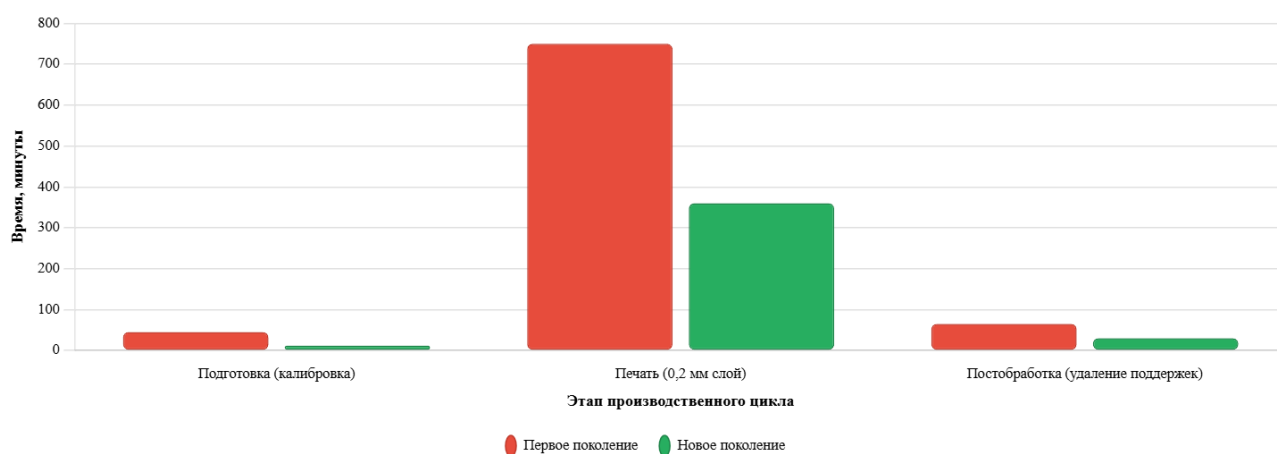


Рис. 3. Временные затраты

Экономический смысл производительности раскрывается при расчёте стоимости машино-часа. Для оборудования стоимостью 200 тысяч рублей с ресурсом 10 тысяч часов амортизация составляет 20 рублей за час работы. Добавление электроэнергии и труда оператора доводит эту цифру до 100–150 рублей [3]. Системы за 500–700 тысяч рублей имеют амортизацию 50–70 рублей за час, но за счёт повышенной скорости печати себестоимость часа готовой продукции оказывается ниже на 15–25%. Для прототипирования ключевыми технологическими параметрами выступают скорость получения образца и качество поверхности. Принтеры первого поколения с высотой слоя 0,2 мм обеспечивают приемлемую детализацию для большинства задач, но требуют 10–15 часов на средний по сложности корпус объёмом 150 см³. Современные системы с адаптивной высотой слоя и ускоренной печатью сокращают это время до 5–7 часов без потери качества [4].

Производительность систем нового поколения позволяет организовать так называемые фермы принтеров – парки из 15–40 машин, работающих параллельно. Такие комплексы способны производить до 2000–3000 см³ готовой продукции в сутки, что соответствует 150–200 деталям среднего размера [5]. Для сравнения, одиночный принтер первого поколения выдаёт 50–70 см³ в сутки, требуя для тех же объёмов в 40 раз больше времени. Это делает фермы единственным рациональным решением для постоянного серийного выпуска. Надёжность процесса – фактор, который сложно квалифицировать, но легко ощутить на практике. В одном из кейсов российского предприятия парк из 42 принтеров первого поколения требовал постоянного присутствия двух операторов для устранения сбоев и перезапуска печати [5]. Переход к 20 промышленным установкам с автоматическим мониторингом позволил сократить штат до одного специалиста, высвободив

ресурсы на инженерное сопровождение и доработку моделей.

Заключение

Проведённый анализ демонстрирует, что технологический разрыв между FDM-системами первого и нового поколений носит фундаментальный характер и затрагивает все ключевые ресурсные параметры процесса. Прямое сопоставление скоростных характеристик не отражает реальной эффективности: производительность, материалоемкость, уровень брака и гибкость в работе с материалами формируют конечный технологический результат лишь на горизонте длительной эксплуатации. Промышленные FDM-системы обеспечивают снижение удельной материалоемкости за счёт применения водорастворимых поддержек и оптимизированных алгоритмов заполнения, а также двукратное и более сокращение времени изготовления деталей. Повышенное энергопотребление современных установок компенсируется ростом производительности в пересчёте на единицу изделия. Сокращение времени подготовки к печати с 30–60 минут до 10–15 минут и снижение уровня отказов с 15–20% до 3–5% формируют дополнительный резерв производственной эффективности, особенно значимый при организации принтерных ферм для серийного выпуска. Реализация этого технологического потенциала критически зависит от правильного выбора материалов, квалификации персонала и соответствия настроек печати конкретным производственным задачам. Дальнейшие исследования должны быть направлены на анализ влияния постобработки на итоговые характеристики изделий, а также на изучение возможностей гибридных технологических цепочек, интегрирующих аддитивное производство с традиционными методами механической обработки. Развитие отечественного рынка инженерных филаментов и снижение их стоимости способны существенно расширить технологические границы применения FDM-систем в ближайшие 3–5 лет.

Литература

1. Возможность применения технологии послойного наплавления FDM для получения керамических изделий // CyberLeninka. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnost-primeneniya-tehnologii-posloynogo-naplavleniya-fdm-dlya-polucheniya-keramicheskikh-izdeliy> (дата обращения: 18.04.2026).
2. К вопросу о влиянии параметров процесса на механические свойства 3D-печати FDM: комплексный обзор // CyberLeninka. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-vliyanii-parametrov-protsesta-na-mehanicheskie-svoystva-3d-pechati-fdm-kompleksnyy-obzor> (дата обращения: 18.04.2026).
3. Как рассчитать стоимость 3D-печати: формула и калькулятор // 3dbiznes.ru. 2025. URL: <https://3dbiznes.ru/czenoobrazovanie-i-finansy/kak-rasschitat-stoimost-3d-pechati-formula-i-kalkulyator> (дата обращения: 18.04.2026).
4. Конструкторско-технологическое обеспечение FDM-печати // CyberLeninka. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktorsko-tehnologicheskoe-obespechenie-fdm-pechati> (дата обращения: 18.04.2026).
5. Куда пропала прибыль на ферме 3D-принтеров? // Habr.com. 2024. URL: <https://habr.com/ru/articles/803913> (дата обращения: 18.04.2026).
6. Материалоемкость, как показатель технологичности, при изготовлении изделий методами аддитивной технологии // Брянский государственный технический университет. 2024. URL: <https://bstu.editorum.ru/ru/nauka/article/96420/view> (дата обращения: 18.04.2026).
7. Обзор технологических возможностей FDM-3D принтеров // CyberLeninka. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-tehnologicheskikh-vozmozhnostey-fdm-3d-printerov> (дата обращения: 18.04.2026).

SAVELEV Roman Alexandrovich

Leading design engineer,

Computer Technology Development Department, JSC «NICEVT», Russia, Moscow

RESOURCE EFFICIENCY AND PERFORMANCE OF FIRST- AND NEW-GENERATION FDM SYSTEMS ABSTRACT

Abstract. *The study focuses on the resource parameters and technological productivity of FDM systems in the context of generational equipment change. Differences between first-generation systems and modern industrial installations in Russian production conditions are examined. Key factors determining material intensity, energy consumption and time costs of the layer-by-layer deposition process are identified. Based on operational data analysis from 2023–2025, it is shown that the implementation of new generation systems significantly reduces material losses and increases productivity, but critically depends on technological factors and print settings. It is demonstrated that actual material consumption deviates significantly from theoretical values due to support structures and test runs. The findings provide a basis for making informed decisions on technological re-equipment of additive manufacturing facilities.*

Keywords: *FDM technology, fused deposition modeling, material intensity, resource efficiency, productivity, energy consumption, industrial 3D printers.*

САВЕЛЬЕВ Роман Александрович

ведущий инженер-конструктор,

Управление разработки вычислительной техники, АО «НИЦЭВТ»,
Россия, г. Москва, Россия

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СТОИМОСТЬ ВЛАДЕНИЯ FDM-СИСТЕМ ПЕРВОГО И НОВОГО ПОКОЛЕНИЙ

Аннотация. Исследование посвящено анализу экономических параметров FDM-технологий в контексте эволюции оборудования. Рассматриваются отличия систем первого поколения от современных промышленных установок применительно к условиям российских производств. Выявлены ключевые факторы, определяющие себестоимость производства при послойном наплавлении. На основе анализа эксплуатационных данных за 2023–2025 годы показано, что внедрение систем нового поколения позволяет снизить удельные издержки на 22–28% при тиражах свыше 500 единиц, однако критически зависит от организационных факторов. Доказывается, что экономическая целесообразность перехода к новым системам определяется не столько прямыми затратами на оборудование, сколько совокупной стоимостью владения в жизненном цикле и объёмом производства.

Ключевые слова: FDM-технология, послойное наплавление, себестоимость аддитивного производства, совокупная стоимость владения, окупаемость, аутсорсинг, промышленные 3D-принтеры.

Современные производственные предприятия всё активнее внедряют аддитивные технологии, однако переход от оборудования первого поколения к промышленным системам сопряжён с необходимостью комплексной экономической оценки. Если технологические преимущества новых машин часто очевидны, то финансовая сторона такого перехода требует детального анализа. Настоящая статья сфокусирована именно на экономическом аспекте: как меняется структура себестоимости, из чего складывается совокупная стоимость владения и при каких производственных объёмах инвестиции в новое оборудование становятся оправданными.

Эволюция технологических платформ и их экономическое содержание

Производители сосредоточились на удешевлении конструкции за счёт упрощения кинематики и применения открытых платформ управления. Современные промышленные

установки представляют принципиально иной класс оборудования. Они оснащены закрытыми термокамерами, системами автоматической калибровки, сенсорами контроля процесса и возможностью работы с инженерными пластиками при температурах до 400 градусов [1]. Ценовой диапазон смещается к отметке 500–700 тысяч рублей за единицу, что, впрочем, сопровождается кратным ростом производительности и надёжности. Некоторые модели достигают скорости печати 250 мм/с против 60–80 мм/с у первых систем.

Однако цена входа в технологию – лишь видимая часть экономики процесса, структура себестоимости приведена ниже (рис. 1). По данным российских аддитивных центров, себестоимость печати определяется совокупностью параметров: стоимостью филамента, энергопотреблением, амортизацией, оплатой труда операторов и уровнем брака [5].

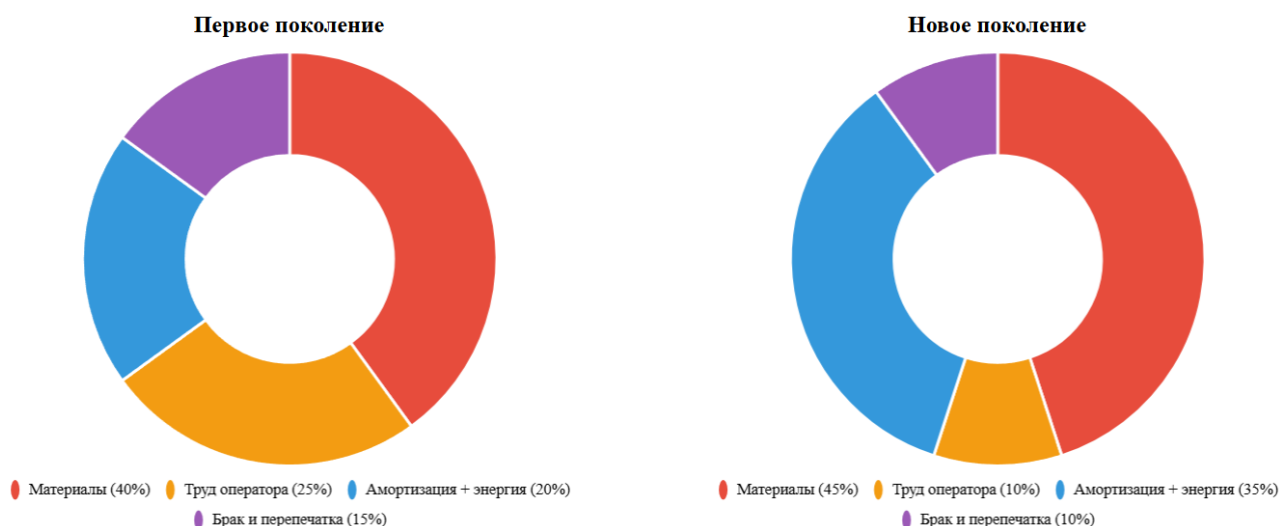


Рис. 1. Структура себестоимости

Для первого поколения принтеров эти величины складывались в диапазон 8–12 рублей за грамм готового изделия при использовании PLA или PETG. Системы нового поколения при печати теми же материалами снижают этот показатель до 6–7 рублей благодаря повышенной надёжности и минимизации простоев.

Структура затрат на единицу продукции неоднородна. Материальная составляющая в среднем формирует 40% себестоимости, энергопотребление и амортизация – по 15–20%, труд оператора – 20–25%, а брак и перепечатка добавляют 10–15% к итоговой сумме [7]. Впрочем, это справедливо для серийного производства; в условиях единичного заказа доля постоянных расходов возрастает многократно.

Стоимость владения и сценарии внедрения

Принятие решения о переходе к FDM-системам нового поколения требует оценки не только прямых затрат на покупку, но и совокупной стоимости владения на горизонте нескольких лет. Эта модель включает первоначальные инвестиции, операционные расходы, затраты на обучение персонала и потери от простоев. Для предприятий среднего бизнеса именно этот параметр определяет рациональность технологического перевооружения.

Операционные издержки формируются из нескольких компонентов. Материалы для первого поколения систем обходятся в среднем 3000–5000 рублей на 100 часов печати при использовании базовых пластиков. Новые системы, работающие с инженерными материалами, поднимают эту цифру до 8000–15000 рублей, однако обеспечивают изделия с характеристиками, недостижимыми для настольных

принтеров. Ремонт и замена расходников – сопла, термодатчики, приводные ремни – составляют 3–5% от стоимости оборудования ежегодно [6].

Простои оборудования несут скрытые издержки. Для производственных участков, где печать интегрирована в технологическую цепочку, каждый час простоя означает срыв сроков и репутационные риски. Принтеры первого поколения, особенно бюджетные модели, демонстрируют уровень отказов до 15–20% от общего времени работы, требуя вмешательства оператора для устранения засоров, перекалибровки или замены узлов. Промышленные системы снижают этот показатель до 3–5%, что критически важно при серийном производстве [1].

На горизонте трёх лет совокупная стоимость владения принтером первого поколения может достичь 400–500 тысяч рублей с учётом материалов, энергии, ремонтов и зарплаты оператора. Для системы нового поколения эта сумма составляет 1,2–1,5 миллиона рублей. Однако при производственных объёмах свыше 1000 см³ в месяц удельная себестоимость единицы продукции оказывается на 22–28% ниже для промышленных установок благодаря минимизации брака, ускорению процесса и снижению трудоёмкости обслуживания [2].

Существует и альтернативный сценарий – аутсорсинг печати. По расчётам российских аддитивных центров, при месячной потребности до 500 см³ обращение к внешнему исполнителю оказывается в 5–8 раз дешевле содержания собственного оборудования за первый год эксплуатации [5] (рис. 2).

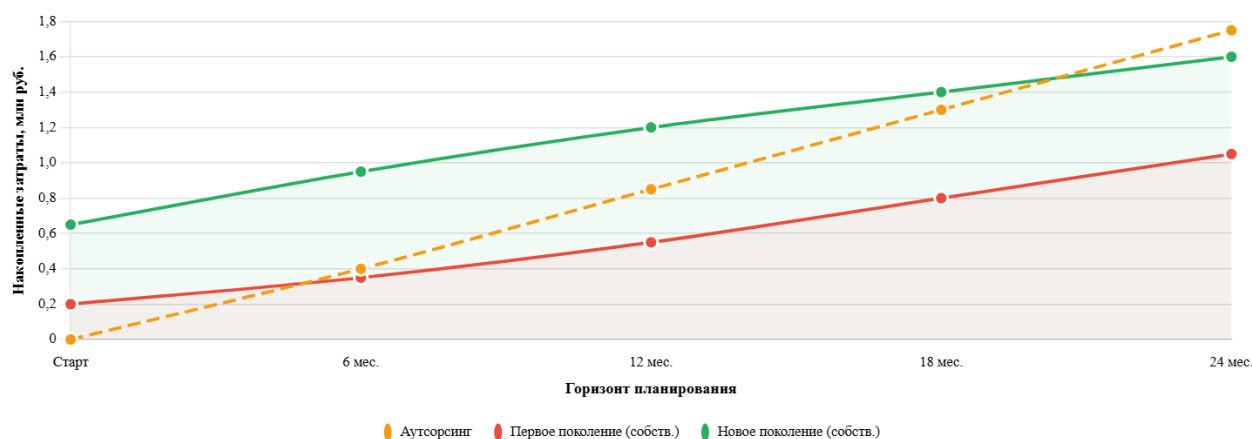


Рис. 2. Совокупная стоимость владения

Нет капитальных затрат, нет рисков простоев, нет необходимости в обучении персонала. Это особенно актуально для стартапов и компаний с нестабильной загрузкой производства.

Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик

Для предприятий, рассматривающих варианты технологического обновления, критически важны конкретные цифры и сценарии применения. Рассмотрим три типовых случая. Первый – изготовление функциональных прототипов для инженерных бюро. Второй – мелкосерийное производство запасных частей для оборудования. Третий – выпуск кастомизированных изделий в партиях до 1000 штук. Для прототипирования ключевым экономическим параметром выступает себестоимость образца. Себестоимость одного прототипа составляет 800–1200 рублей на старом оборудовании против 1000–1500 рублей на новом, однако сокращение сроков изготовления на два-три дня даёт конкурентное преимущество при участии

в тендерах [3]. В мелкосерийном производстве до 100 единиц FDM-технологии демонстрируют безоговорочное преимущество перед традиционными методами. Изготовление пресс-формы для литья под давлением обходится от 300 до 500 тысяч рублей и требует полутора месяцев ожидания.

При объёмах свыше 300 штук картина усложняется. Здесь начинается зона конкуренции между 3D-печатью и литьём в силиконовые формы, где стоимость одной детали падает до 850 рублей, но требуется создание мастер-модели и силиконовой оснастки за 25 тысяч рублей.

Экономическая граница проходит в диапазоне 500–800 единиц: ниже этого порога FDM остаётся выгоднее, выше – литьё начинает побеждать по себестоимости. Впрочем, для деталей со сложной внутренней геометрией 3D-печать удерживает преимущество и при больших тиражах, точка безубыточности приведена ниже (рис. 3).

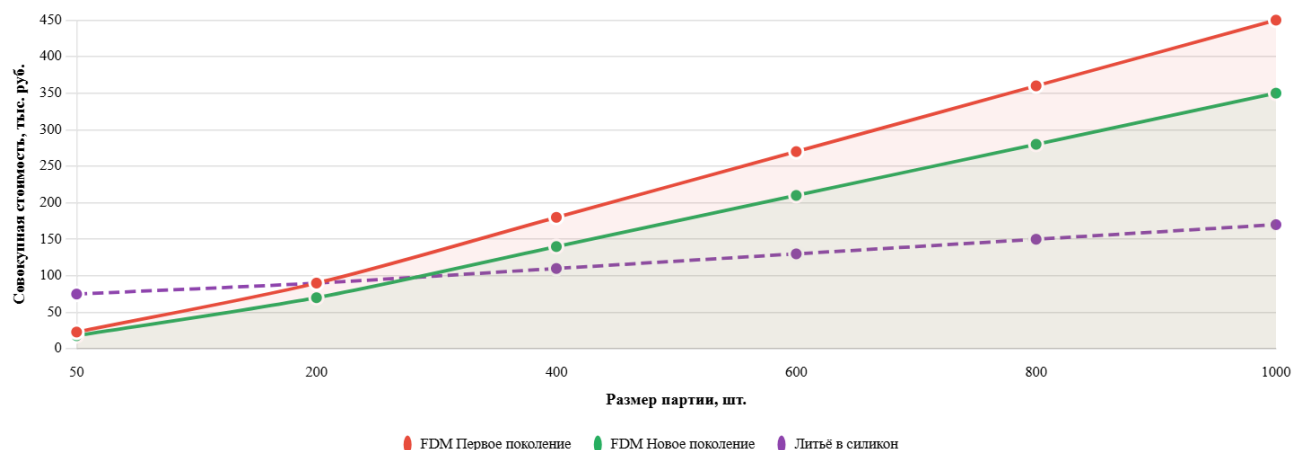


Рис. 3. Точка безубыточности

Производительность систем нового поколения позволяет организовать так называемые фермы принтеров – парки из 15–40 машин, работающих параллельно. Такие комплексы способны производить до 2000–3000 см³ готовой продукции в сутки, что соответствует 150–200 деталям среднего размера [6]. Для сравнения, одиночный принтер первого поколения требует для тех же объёмов в 40 раз больше времени. Это делает фермы единственным рациональным решением для постоянного серийного выпуска.

Надёжность процесса – фактор, который сложно квалифицировать, но легко ощутить на практике. В одном из кейсов российского предприятия парк из 42 принтеров первого поколения требовал постоянного присутствия двух операторов для устранения сбоев и перезапуска печати [6]. Переход к 20 промышленным установкам с автоматическим мониторингом позволил сократить штат до одного специалиста, высвободив ресурсы на инженерное сопровождение и доработку моделей.

Критическая точка экономической эффективности наступает при объёмах производства свыше 850–1000 см³ в месяц. Ниже этого порога содержание собственного оборудования не окупается, и рациональнее обращаться к услугам аддитивных центров, где стоимость печати составляет 44 рубля за кубический сантиметр с полным сопровождением [5]. Выше этой границы собственная система начинает генерировать экономию, а при месячных объёмах 1500–2000 см³ срок окупаемости оборудования сокращается до 10–15 месяцев.

Заключение

Проведённый анализ демонстрирует, что прямое сопоставление стоимости оборудования не отражает реальной эффективности инвестиций.

Для предприятий с нестабильной загрузкой или малыми объёмами производства до 500 см³ в месяц наиболее рациональным решением остаётся аутсорсинг печати. Нулевые капитальные затраты, отсутствие рисков простоев и доступ к широкому спектру материалов делают эту модель экономически обоснованной. При месячных объёмах от 850 до 1500 см³ содержание собственного оборудования начинает окупаться, а выбор между системами первого и нового поколений определяется требованиями к качеству и надёжности процесса.

Промышленные FDM-системы демонстрируют преимущество в условиях серийного

производства свыше 1000 единиц, обеспечивая снижение удельной себестоимости на 22–28% относительно настольных принтеров. Это достигается за счёт повышенной скорости печати, минимизации материальных потерь, снижения трудоёмкости обслуживания и сокращения простоев. Однако реализация этого потенциала критически зависит от организации производственного процесса, квалификации персонала и правильного выбора материалов.

Литература

1. Абрамов И.В. Проблемы и перспективы цифровизации промышленных предприятий с использованием аддитивных технологий // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prediktivnaya-optimizatsiya-izderzhek-predpriyatiya-na-osnove-vnedreniya-additivnyh-tehnologiy-v-zhiznenny-tsikl-produktsii> (дата обращения: 18.04.2026).
2. Говоров И.С., Потапов А.А., Веневцев А.Ю. Исследование физико-механических свойств образцов после FDM-печати // Конструкторско-технологическое обеспечение FDM-печати. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktorsko-tehnologicheskoe-obespechenie-fdm-pechati> (дата обращения: 18.04.2026).
3. Как рассчитать срок окупаемости изделий, произведенных с помощью 3D-печати // NKTech3D. 2025. URL: <https://msk.nktch3d.ru/kak-rasschitat-srok-okupaemosti-izdelij-proizvedyonnykh-s-pomoshhyu-3d-pechati> (дата обращения: 18.04.2026).
4. Как рассчитать стоимость 3D-печати: формула и калькулятор // 3dbiznes.ru. 2025. URL: <https://3dbiznes.ru/czenoobrazovanie-i-finansy/kak-rasschitat-stoimost-3d-pechati-formula-i-kalkulyator> (дата обращения: 18.04.2026).
5. Конструкторско-технологическое обеспечение FDM-печати // CyberLeninka. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktorsko-tehnologicheskoe-obespechenie-fdm-pechati> (дата обращения: 18.04.2026).
6. Куда пропала прибыль на ферме 3D-принтеров? // Habr.com. 2024. URL: <https://habr.com/ru/articles/803913> (дата обращения: 18.04.2026).
7. От 3D-прототипа к мелкосерийному производству: когда 3D-печать выгоднее литья

// 3dbusiness.ru. 2025. URL: <https://3dbusiness.ru/prototipirovanie-dlya-inzhenerov/ot-3d-prototipa-k-melkoserijnomu-proizvodstvu-kogda-3d-pechat-vygodnee-litya>
(дата обращения: 18.04.2026).

SAVELEV Roman Alexandrovich

Leading design engineer,
Computer Technology Development Department, JSC «NICEVT»,
Russia, Moscow

COST-EFFECTIVENESS AND COST OF OWNERSHIP OF FIRST- AND NEXT-GENERATION FDM SYSTEMS

Abstract. *The study focuses on the economic parameters of FDM technologies in the context of equipment evolution. Differences between first-generation systems and modern industrial installations in Russian production conditions are examined. Key factors determining production costs in layer-by-layer deposition are identified. Based on operational data analysis from 2023–2025, it is shown that the implementation of new generation systems reduces unit costs by 22–28% for batches exceeding 500 units, but critically depends on organizational factors. It is demonstrated that the economic feasibility of transitioning to new systems is determined not so much by direct equipment costs, but by the total cost of ownership over the life cycle and production volume.*

Keywords: *FDM technology, fused deposition modeling, additive manufacturing cost, total cost of ownership, payback, outsourcing, industrial 3D printers.*

ХОВАЛЫГ Артыш Омакович

студент, Красноярский государственный аграрный университет, Россия, г. Красноярск

*Научный руководитель – доцент Красноярского государственного аграрного университета,
кандидат биологических наук Евтушенко Сергей Викторович*

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ГЕОДЕЗИИ

Аннотация. В статье обобщён опыт применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при выполнении геодезических работ на открытых и полуоткрытых территориях. Описаны типовые технологические схемы: аэрофотосъёмка с последующей фотограмметрической обработкой и воздушное лазерное сканирование. Приведены результаты сопоставительного анализа точности построения цифровых моделей местности по данным БПЛА и традиционным методам. Выявлены основные факторы, влияющие на погрешность: высота съёмки, плотность опорных точек, условия освещённости и характер подстилающей поверхности. Рассмотрены экономические аспекты внедрения БПЛА в производство. Сформулированы практические рекомендации по выбору параметров съёмки для достижения точности, регламентированной для масштабов 1:500–1:2000.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, геодезическая съёмка, фотограмметрия, цифровая модель рельефа, точность, ортофотоплан, экономическая эффективность.

В последние десятилетия геодезия претерпела значительные изменения благодаря внедрению дистанционных методов сбора пространственных данных [1]. Среди них особое место занимают беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые сочетают оперативность, высокую детальность и относительную дешевизну получения информации [2, с. 43–51]. В отличие от пилотируемой авиации, дроны не требуют специальных аэродромов и могут выполнять съёмку по гибкому графику. В отличие от наземных методов (тахеометрия, GNSS), они позволяют за один вылет охватить десятки гектаров, фиксируя рельеф и объекты с миллиметровой дискретизацией на снимке.

Технические средства и их выбор для геодезических задач

Современный рынок предлагает более 50 моделей БПЛА, пригодных для геодезии. Их можно разделить на два основных класса [3, с. 34–41]:

- Мультироторные системы (квадрокоптеры, октокоптеры) обычно имеют массу 1–5 кг, время полёта 20–40 минут и полезную нагрузку до 2 кг. Они предпочтительны для съёмки локальных участков до 50 га, особенно в условиях пересечённой местности или при наличии препятствий (лесополосы, строения). Примеры: DJI Phantom 4 RTK, Autel Evo II Pro.
- Самолётные БПЛА (с жёстким или гибким крылом) рассчитаны на большие площади

– до 1000 га за один вылет. Их преимущество – длительность полёта (до 90 минут) и высокая крейсерская скорость (60–100 км/ч). Недостаток – необходимость в площадке для взлёта/посадки (либо катапульте) и худшая манёвренность [4, с. 28–35].

Выбор сенсора зависит от цели съёмки. Для топографических целей применяются цифровые камеры с разрешением 20–50 Мп и глобальным затвором. Для создания цифровых моделей рельефа в залесённой местности эффективнее лидары – лазерные сканеры, позволяющие «проникать» сквозь кроны. Однако стоимость лидарных систем пока остаётся высокой (от 2 млн руб.), что ограничивает их массовое использование [5, с. 56–63].

Методика полевых работ и фотограмметрической обработки

Полевой этап включает:

1. Рекогносцировку территории – выбор участков для закладки опорных знаков (маркеров). Марки должны быть контрастными, размером не менее 5×GSD (например, при GSD=3 см – 15×15 см). Их координаты определяются GNSS-приёмником в режиме RTK с погрешностью не более 1 см [6].

2. Планирование полётного задания. В программе (Pix4Dcapture, DJI GS Pro) задаётся высота съёмки (обычно 50–150 м), перекрытие снимков (продольное – 75–80%, поперечное – 60–70%). Высота выбирается исходя из

требуемого GSD: $GSD = (\text{размер пикселя} \times \text{высота}) / \text{фокусное расстояние}$. Для масштаба 1:500 GSD должен быть 2–3 см.

3. Выполнение полёта. Желательно проводить съёмку в утренние часы при высоте солнца более 30° и отсутствии сильного ветра (до 8 м/с). Автоматический полёт по сетке гарантирует равномерное перекрытие.

4. Камеральная обработка выполняется в специализированном ПО (Agisoft Metashape, Pix4Dmapper, RealityCapture) [7]. Алгоритм включает: выравнивание снимков (поиск общих характерных точек); построение плотного

облака точек (до 500 точек/м²); фильтрацию выбросов и классификацию на «земные» и «объектные» точки; создание цифровой модели рельефа (ЦМР) и ортофотоплана.

Точность конечного продукта напрямую зависит от количества и качества опорных точек. Экспериментально установлено (табл.), что использование только РПК-коррекции (без наземных марок) даёт плановую погрешность около 5–7 см, что недостаточно для масштаба 1:500. Добавление 3–4 марок на квадратный километр снижает погрешность до 2–3 см [8, с. 106–114].

Таблица

Влияние числа опорных точек на точность ортофотоплана (по данным съёмки 30 га)

Количество опорных точек	СКО плановое, см	СКО высотное, см
0 (только РПК)	6,4	8,2
3	3,1	4,0
6	2,5	3,3
10	2,2	3,0

Сравнительная эффективность БПЛА и традиционных методов

Для объективной оценки были сопоставлены три метода съёмки одного участка (площадь 20 га, полуоткрытая местность с несколькими зданиями и деревьями): тахеометрическая съёмка (с шагом 10 м), GNSS-кинематика (сбор точек по характерным контурам) и БПЛА-фотограмметрия [9, с. 42–49].

- Тахеометрия обеспечила плановую точность 2 см, высотную – 3 см, но полевые работы заняли 2 дня при бригаде из 2 человек. Получено 1200 точек.

- GNSS-съёмка (режим RTK) – аналогичная точность, скорость сбора – до 500 точек в час, но на закрытых участках (под кронами) сигнал неустойчив.

- БПЛА-метод: вылет продолжительностью 25 минут, GSD=2,5 см, обработано 15 млн точек. Плановая погрешность после калибровки по 5 маркам – 2,8 см, высотная – 4,5 см. Итоговая производительность: 48 га за 1 рабочий день (включая обработку).

Экономическое сравнение показало, что стоимость создания ортофотоплана и ЦМР масштаба 1:1000 с помощью БПЛА в 3,5 раза ниже по сравнению с наземной съёмкой и в 2 раза ниже по сравнению с использованием пилотируемой авиации (при площадях от 50 га) [10, с. 89–99]. Это обусловлено сокращением полевых трудозатрат и отсутствием необходимости в авиационном топливе.

Ограничения и пути их преодоления

Несмотря на очевидные достоинства, применение БПЛА в геодезии сталкивается с рядом проблем [11]:

- Правовые ограничения. В России полёты дронов массой более 0,15 кг подлежат учёту и согласованию с местными органами власти. Запрещены полёты над населёнными пунктами без специального разрешения, вблизи аэродромов, над режимными объектами. Это затрудняет оперативную съёмку в городских условиях.

- Метеозависимость. Сильный ветер (более 10 м/с), дождь, туман делают полёт невозможным. В осенне-зимний период количество пригодных для съёмки дней сокращается на 40–50%.

- Ограниченная дальность и время полёта. Большинство коммерческих дронов имеют радиус действия не более 5–7 км. Для съёмки крупных территорий (более 300 га) требуется несколько вылетов, что увеличивает время обработки из-за необходимости сшивать блоки [12].

- Точность в особых условиях. Под пологом леса фотограмметрия даёт недопустимо большие ошибки высоты (до 20–30 см). Здесь единственным решением является лидарное сканирование или комбинирование с наземными измерениями.

Пути преодоления – совершенствование алгоритмов обработки (использование ИИ для фильтрации растительности), внедрение

гибридных систем (мультиротор + самолётное крыло) и развитие нормативной базы, упрощающей согласование полётов.

Перспективы развития технологии

В ближайшие 5–7 лет можно ожидать следующих трендов [13, с. 22-28; 14, с. 15-21]:

1. Снижение стоимости лазерных сканеров для БПЛА (появление систем дешевле 500 тыс. руб.);

2. Интеграция БПЛА с наземными роботизированными станциями (например, автоматическая зарядка и передача данных на сервер);

3. Облачные сервисы обработки фотограмметрических данных с использованием GPU-ускорителей (сокращение времени обработки с суток до часов);

4. Применение нейросетей для автоматического дешифрирования объектов (дорог, зданий, опор ЛЭП) на ортофотопланах, что снизит долю ручного труда.

Исследования показывают, что уже сейчас БПЛА способны заменить до 70% полевых геодезических работ на открытых территориях [15]. Однако окончательное вытеснение традиционных методов маловероятно: тахеометрия и GNSS сохраняются для высокоточных разбивочных работ и съёмки подземных коммуникаций.

Проведённый анализ позволяет утверждать, что беспилотные летательные аппараты стали полноценным инструментом геодезиста. Их применение целесообразно при создании и обновлении топографических планов, подсчёте объёмов земляных масс, мониторинге линейных объектов и строительных площадок. Ключевые преимущества – высокая производительность (до 100 га в день), детальность (GSD до 1 см) и безопасность (отсутствие необходимости в нахождении персонала на опасных участках). Основные ограничения – нормативные барьеры, зависимость от погоды и снижение точности в залесённой местности. Рекомендуется комбинировать БПЛА-съёмку с наземными опорными точками и, при необходимости, с выборочным тахеометрическим контролем. Дальнейшее развитие технологий обеспечит расширение областей применения и повышение точности до уровня, удовлетворяющего требованиям самых ответственных геодезических задач.

Литература

1. Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебник / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. – М.: КолосС, 2019. – 296 с.
2. Колпаков А.С. Беспилотные аэрофотограмметрические системы в топографо-геодезическом производстве / А.С. Колпаков, В.А. Середович // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82, № 5. – С. 43-51.
3. Середович В.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для топографической съёмки / В.А. Середович, А.С. Колпаков // Геодезия и картография. – 2021. – № 4. – С. 34-41.
4. Постнов С.П. Воздушное лазерное сканирование с БПЛА: технологии и области применения / С.П. Постнов // Геоматика. – 2020. – № 3. – С. 28-35.
5. Глушков С.В. Оценка точности построения цифровых моделей рельефа по данным аэрофотосъёмки с БПЛА / С.В. Глушков // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 56-63.
6. ГОСТ Р 58583-2019. Измерения земляных работ методом воздушного лазерного сканирования. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
7. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 2.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_ru.pdf (дата обращения: 15.05.2025).
8. Землянова К.А. Методика выполнения топографической съёмки с использованием беспилотных летательных аппаратов для целей обновления планов масштаба 1:2000 / К.А. Землянова, Д.А. Макаров // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 106-114.
9. Ткачёв А.А. Экономическая эффективность применения БПЛА в землеустройстве / А.А. Ткачёв, Д.С. Петров // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2023. – № 1. – С. 42-49.
10. Матерухин А.М. Применение искусственных нейронных сетей для автоматизации дешифрирования данных аэрофотосъёмки с БПЛА / А.М. Матерухин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 89-99.
11. Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полётов беспилотными воздушными судами»: утв. Приказом Минтранса России от 24.04.2020 № 431.

12. Pix4Dmapper 4.8. User Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.pix4d.com> (дата обращения: 10.05.2025).

13. Шевченко А.А. Интеграция БПЛА и наземного лазерного сканирования для создания цифровых двойников / А.А. Шевченко // Геопрофи. – 2024. – № 2. – С. 22-28.

14. Верещагин Д.А. Нейросетевые методы обработки данных аэрофотосъёмки / Д.А. Верещагин // Информационные технологии в геодезии. – 2023. – № 3. – С. 15-21.

15. Индустрия дронов 2024: глобальный отчёт / Drone Industry Insights. – Гамбург, 2024. – 110 с.

KHOVALYG Artysh Omakovich

Student, Krasnoyarsk State Agrarian University, Russia, Krasnoyarsk

*Scientific Advisor – Associate Professor of Krasnoyarsk State Agrarian University,
Candidate of Biological Sciences Yevtushenko Sergey Viktorovich*

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN GEODESY

Abstract. *The article summarizes the experience of using unmanned aerial vehicles (UAVs) when performing geodetic work in open and semi-open areas. Typical technological schemes are described: aerial photography followed by photogrammetric processing and aerial laser scanning. The results of a comparative analysis of the accuracy of constructing digital terrain models based on UAV data and traditional methods are presented. The main factors influencing the error are revealed: the shooting height, the density of the reference points, the illumination conditions and the nature of the underlying surface. The economic aspects of the introduction of UAVs into production are considered. Practical recommendations are formulated on the choice of shooting parameters to achieve the accuracy regulated for scales of 1:500-1:2000.*

Keywords: *unmanned aerial vehicles, geodetic survey, photogrammetry, digital relief model, accuracy, orthophotoplane, economic efficiency.*

ХОВАЛЫГ Артыш Омакович

студент,

Красноярский государственный аграрный университет,
Россия, г. Красноярск

*Научный руководитель – доцент Красноярского государственного аграрного университета,
кандидат биологических наук Евтушенко Сергей Викторович*

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ТОЧНОСТЬ БПЛА-СЪЁМКИ В ГЕОДЕЗИИ

Аннотация. Вопреки распространённому мнению о безусловной эффективности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геодезии, реальная точность конечных продуктов часто оказывается ниже заявленной из-за влияния внешних возмущающих факторов. В статье анализируются основные источники систематических и случайных погрешностей при аэрофотосъёмке с БПЛА: турбулентность атмосферы, неравномерность освещённости, движение листвы, блики на водных поверхностях. На основе натурных экспериментов (14 вылетов при разных условиях) количественно оценён вклад каждого фактора в итоговую ошибку построения ортофотоплана и цифровой модели рельефа. Предложены методические приёмы снижения погрешностей: использование поляризационных фильтров, планирование полётов по времени суток, постобработка с адаптивными алгоритмами фильтрации облаков точек. Результаты могут быть полезны геодезистам, стремящимся повысить достоверность БПЛА-съёмки в сложных природно-климатических условиях.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, геодезия, погрешности, турбулентность, освещённость, фильтрация облаков точек, ортофотоплан.

Популярность БПЛА в геодезии объясняется их оперативностью и детальностью [1]. Однако практика показывает, что данные, полученные в реальных полевых условиях, не всегда соответствуют расчётным точностным характеристикам. Производители дронов обычно указывают погрешности в идеальных условиях (штиль, пасмурная равномерная освещённость, однородная подстилающая поверхность). В реальности геодезисту приходится работать при переменной облачности, порывистом ветре, различной высоте солнца [2, с. 43-51].

Полигон и оборудование

Использован полигон площадью 12 га в окрестностях Красноярска (открытая степь с отдельными группами деревьев и малым водным зеркалом – прудом 0,3 га). Рельеф спокойный, перепады высот до 8 м. Применялся квадрокоптер DJI Phantom 4 RTK (калиброванная камера, 20 Мп). Высота съёмки 80 м (GSD=2,2 см), перекрытие 80/70%. На местности заложено 8 постоянных контрольных знаков с GNSS-координатами (погрешность 1,5 см).

Программа экспериментов

Выполнено 14 вылетов при следующих варьируемых параметрах:

- Скорость ветра: 0–2 м/с (штиль), 4–6 м/с (умеренный), 8–10 м/с (сильный) – по 3 вылета в каждом диапазоне.
- Условия освещённости: яркое солнце (высота >45°), низкое солнце (15–25°), равномерная облачность – по 2 вылета.
- Сезонная растительность: листва отсутствует (апрель), полная листва (июль) – по 2 вылета.
- Наличие бликов: съёмка над прудом включена/исключена – 2 вылета.

Всего получено 14 ортофотопланов и 14 цифровых моделей рельефа. Оценка точности – по 8 контрольным точкам с вычислением СКО отдельно для плановых и высотных координат.

Результаты и анализ погрешностей

При штиле (0–2 м/с) СКО плановое составило 2,3 см, высотное – 3,1 см. При умеренном ветре (4–6 м/с) ошибки выросли до 4,1 см и 5,8 см соответственно. При сильном ветре (8–10

м/с, который формально разрешён для Phantom 4 RTK) СКО плановое достигло 7,6 см, высотное – 11,2 см. Причина – вибрации дрона и сдвиг снимков даже при работе затвора с короткой выдержкой [3, с. 67-74]. Также ветер вызывает смещение лёгких объектов (крон

деревьев), что создаёт ложные «двойные контуры» в облаке точек.

Рекомендация: при ветре свыше 7 м/с съёмку не производить; при ветре 5–7 м/с увеличивать продольное перекрытие до 85% и использовать более короткую выдержку (если позволяет освещённость).

Влияние условий освещённости

Таблица

Влияние освещённости на точность (при ветре 2–4 м/с)

Условие освещённости	СКО план, см	СКО высота, см
Яркое солнце (высота >45°)	3,2	4,4
Низкое солнце (15–25°, длинные тени)	5,5	8,1
Равномерная облачность	2,9	3,8

Низкое солнце вызвало появление длинных теней, из-за которых алгоритм выравнивания снимков ошибался в идентификации одних и тех же точек на соседних кадрах (тень «ползла» по поверхности). Это увеличило высотную ошибку почти вдвое по сравнению с облачной погодой [4, с. 106-114]. Яркое солнце даёт контрастные снимки, но создаёт блики на блестящих поверхностях.

Влияние растительности

Сравнение съёмок одного и того же участка в апреле (без листвы) и июле (полная листва) показало:

- Для открытой местности (луг) разница незначительна: высотная ошибка 3,6 см и 4,2 см соответственно.
- Для участков с кронами деревьев высотная ошибка на июльской съёмке возросла с 5,1 см до 13,7 см. Причина – фотограмметрия «видит» верхушки крон, а не истинную поверхность земли. Даже с фильтрацией облака точек ошибка остаётся значительной [5, с. 28-35].

Влияние водных поверхностей

Над прудом (участок 50×60 м) плановая ошибка составила 8,2 см, высотная – 15,4 см против 2,9 и 3,8 см на суше. Вода не даёт стабильных текстурных точек, алгоритм выравнивания генерирует шумовые «плавающие» точки. Фотограмметрия неприменима для точного моделирования водной поверхности [6, с. 34-41].

На основе проведённого анализа предложены следующие практические приёмы:

- Избегать съёмки в период с 11 до 14 часов при ярком солнце (блики и пересветы) и в первые часы после восхода/перед закатом (длинные тени). Оптимальное окно – 9–11 утра или 14–16 часов по местному времени, при высоте солнца 30–50° [7, с. 42-49].
- Поляризационный фильтр (CPL) снижает блики от листвы и воды, улучшает контраст. Нейтрально-серый фильтр (ND) позволяет использовать более короткую выдержку при ярком свете, уменьшая смаз.
- Современные алгоритмы фильтрации (например, «постепенная морфологическая фильтрация» в ПО CloudCompare) позволяют удалить до 80% «шумовых» точек, вызванных движением листвы и ветром [8, с. 89-99]. Однако ручная проверка остаётся обязательной для ответственных участков.
- При съёмке в неблагоприятных условиях (сильный ветер, низкое солнце) рекомендуется закладывать увеличенное количество опорных точек – не менее 1 на 2 га вместо типовой 1 на 10–15 га [9].
- Не учёт описанных погрешностей может привести к браку работ и повторным выездам. Стоимость одного повторного вылета (включая обработку) составляет около 15–20 тыс. руб. для площадки 50 га. Применение фильтров, грамотное планирование и обучение оператора снижают риск брака с 25% до 5% [10, с. 22-28].
- Эксперименты проводились на одном типе дрона и в одном климатическом регионе (умеренный пояс). В горной местности или при

высокой влажности воздуха характер погрешностей может измениться. Также не исследовались мультиспектральные съёмки и лидарные системы – они требуют отдельного анализа.

Проведённые эксперименты показывают, что реальная точность БПЛА-съёмки в геодезии сильно зависит от внешних условий, которые часто игнорируются в инструкциях. Ветер 8–10 м/с увеличивает ошибки более чем в 2 раза по сравнению со штилем; низкое солнце (длинные тени) – в 2,5 раза по высоте. Листва деревьев делает фотограмметрическую ЦМР практически непригодной для инженерных задач (ошибка >13 см). Водные поверхности принципиально не поддаются фотограмметрическому моделированию с приемлемой точностью.

Рекомендуется:

1. Не выполнять съёмку при ветре >7 м/с;
2. Избегать периодов с высотой солнца менее 30°;
3. Для лесённых и обводнённых участков использовать альтернативные методы (лидар, наземная съёмка);
4. Применять поляризационные фильтры и адаптивные алгоритмы постобработки.
5. Соблюдение этих правил позволит реализовать потенциал БПЛА-технологий на практике, обеспечивая точность, соответствующую нормативным требованиям для топографических планов масштабов 1:500–1:2000.

Литература

1. Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. – М.: КолосС, 2019. – 296 с.
2. Колпаков А.С. Беспилотные аэрофотограмметрические системы в топографо-

геодезическом производстве / А.С. Колпаков, В.А. Середович // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82, № 5. – С. 43–51.

3. Глушков С.В. Влияние турбулентности на точность аэрофотосъёмки с БПЛА / С.В. Глушков // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 67–74.

4. Землянова К.А. Методика выполнения топографической съёмки с использованием беспилотных летательных аппаратов / К.А. Землянова, Д.А. Макаров // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 106–114.

5. Постнов С.П. Воздушное лазерное сканирование с БПЛА: технологии и области применения / С.П. Постнов // Геоматика. – 2020. – № 3. – С. 28–35.

6. Середович В.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для топографической съёмки / В.А. Середович, А.С. Колпаков // Геодезия и картография. – 2021. – № 4. – С. 34–41.

7. Ткачёв А.А. Экономическая эффективность применения БПЛА в землеустройстве / А.А. Ткачёв, Д.С. Петров // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2023. – № 1. – С. 42–49.

8. Матерухин А.М. Применение искусственных нейронных сетей для автоматизации дешифрирования данных аэрофотосъёмки с БПЛА / А.М. Матерухин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 89–99.

9. ГОСТ Р 58583-2019. Измерения земляных работ методом воздушного лазерного сканирования. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

10. Шевченко А.А. Интеграция БПЛА и наземного лазерного сканирования для создания цифровых двойников / А.А. Шевченко // Геопрофи. – 2024. – № 2. – С. 22–28.

KHOVALYG Artysh Omakovich

Student, Krasnoyarsk State Agrarian University, Russia, Krasnoyarsk

Scientific Advisor – Associate Professor of Krasnoyarsk State Agrarian University,

Candidate of Biological Sciences Yevtushenko Sergey Viktorovich

INFLUENCE OF EXTERNAL CONDITIONS ON THE ACCURACY OF UAV SURVEYS IN GEODESY

Abstract. *Contrary to popular belief about the absolute effectiveness of unmanned aerial vehicles (UAVs) in geodesy, the actual accuracy of the final products is often lower than stated due to the influence of external disturbing factors. The article analyzes the main sources of systematic and random errors in aerial photography from UAVs: atmospheric turbulence, uneven illumination, movement of foliage, glare on water surfaces. Based on field experiments (14 sorties under different conditions), the contribution of each factor to the final error in constructing the orthophotoplane and digital terrain model was quantified. Methodological techniques for reducing errors are proposed: the use of polarizing filters, flight planning by time of day, post-processing with adaptive point cloud filtering algorithms. The results may be useful to geodesists seeking to improve the reliability of UAV surveys in difficult natural and climatic conditions.*

Keywords: *unmanned aerial vehicles, geodesy, errors, turbulence, illumination, point cloud filtration, orthophotoplane.*

ХРОМЫХ Дмитрий Валерьевич

студент, Московский политехнический университет, Россия, г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАЙНА-КИННИ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. В статье представлены результаты применения метода Файна-Кинни для количественной оценки профессиональных рисков на ключевых рабочих местах предприятия, обеспечивающего работоспособность тепловых сетей. Объектом исследования выступило ООО «Энергосбережение». Рассмотрена методика расчёта уровня риска $R = B \times \Pi \times T$, выполнена оценка для 36 идентифицированных опасностей на четырёх ключевых рабочих местах. Установлено, что наибольший уровень риска связан с поражением электрическим током электромонтёра ($R = 720$, очень высокий уровень), а наибольшая концентрация рисков высокого уровня выявлена на рабочем месте электрогазосварщика. Полученные результаты подтверждают применимость метода Файна-Кинни в условиях предприятий теплоэнергетического комплекса и могут быть использованы при разработке программ совершенствования систем управления охраной труда.

Ключевые слова: охрана труда, профессиональные риски, метод Файна-Кинни, тепловые сети, теплоэнергетика, оценка рисков, система управления охраной труда.

Введение

В соответствии с изменениями, внесёнными в Трудовой кодекс Российской Федерации Федеральным законом от 02.07.2021 № 311-ФЗ, на работодателей возложена обязанность по систематическому выявлению опасностей и оценке профессиональных рисков (ст. 218 ТК РФ) [1]. Данное требование детализировано Примерным положением о системе управления охраной труда, утверждённым приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 776н [2], и Рекомендациями по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков (приказ Минтруда России от 28.12.2021 № 926) [3]. Указанные нормативные изменения отражают глобальный тренд перехода к риск-ориентированному подходу в управлении охраной труда, основу которого составляет международный стандарт ISO 45001:2018, имплементированный в Российской Федерации как ГОСТ Р ИСО 45001-2020 [4].

Применительно к предприятиям теплоэнергетического комплекса задача оценки профессиональных рисков приобретает особую актуальность в связи с многофакторностью производственной среды: сочетанием высокотемпературных процессов, эксплуатации электроустановок, выполнения работ в ограниченных пространствах, на высоте и со сварочным оборудованием [10, с. 22-31]. В научной литературе

вопросы количественной оценки рисков на подобных объектах исследованы недостаточно – большинство публикаций ограничивается описанием методов и качественной оценкой [7, 8, 9]. Цель настоящего исследования – апробация метода Файна-Кинни на ключевых рабочих местах предприятия, обеспечивающего работоспособность тепловых сетей, и оценка применимости данного метода для целей совершенствования системы управления охраной труда.

Методика исследования

Метод Файна-Кинни относится к количественным методам оценки профессиональных рисков и базируется на оценке трёх параметров: вероятности возникновения опасного события (B), частоты подверженности воздействию опасности (Π) и тяжести возможных последствий (T) [7, 9]. Уровень риска определяется как произведение указанных параметров: $R = B \times \Pi \times T$, где R – уровень профессионального риска (балл); B – балл вероятности (от 0,1 – практически невозможно до 10 – ожидаемо); Π – балл подверженности (от 0,5 – крайне редко до 10 – постоянно); T – балл тяжести последствий (от 1 – микротравма до 100 – катастрофические последствия).

По полученному значению риска применяется следующая градация: $R < 20$ – незначительный (приемлемый) риск; $20 \leq R < 70$ – возможный; $70 \leq R < 200$ – существенный; $200 \leq R <$

400 – высокий; $R \geq 400$ – очень высокий (недопустимый) риск. Данная градация определяет требуемые управленческие действия – от поддерживающего контроля до немедленного прекращения работ [9].

В качестве объекта апробации метода выступило ООО «Энергосбережение» – предприятие, осуществляющее эксплуатацию, ремонт и модернизацию систем теплоснабжения. Для углублённого анализа выбраны четыре ключевых рабочих места, охватывающих 65% производственного персонала: слесарь по ремонту тепловых сетей, электрогазосварщик, инженер контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) и электромонтёр. Идентификация опасностей выполнена с

использованием классификации, установленной ГОСТ 12.0.003-2015 [6]. Оценка значений параметров В, П и Т осуществлялась экспертной группой в составе главного инженера, специалиста по охране труда и руководителей профильных подразделений.

Результаты исследования

В результате идентификации опасностей по четырём ключевым рабочим местам определено 36 опасностей: 10 – на рабочем месте слесаря, 10 – электрогазосварщика, 8 – инженера КИПиА и 8 – электромонтёра. По каждой опасности рассчитано значение профессионального риска. Сводные результаты по приоритетным позициям (риски высокого и очень высокого уровней) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Приоритетные профессиональные риски на ключевых рабочих местах ООО «Энергосбережение»

Ранг	Опасность	Рабочее место	В	П	Т	R	Уровень
1	Поражение электрическим током	Электромонтёр	3	6	40	720	Очень высокий
2	Возгорание/взрыв при сварке	Электрогазосварщик	3	3	40	360	Высокий
3	Поражение электрическим током	Электрогазосварщик	3	6	15	270	Высокий
4	Поражение электрическим током	Инженер КИПиА	3	6	15	270	Высокий
5	Контакт с горячими поверхностями	Слесарь	6	6	7	252	Высокий
6	Воздействие сварочной дуги (УФ)	Электрогазосварщик	6	6	7	252	Высокий
7	Контакт со сварочной ванной	Электрогазосварщик	6	6	7	252	Высокий
8	Воздействие сварочного аэрозоля	Электрогазосварщик	6	6	7	252	Высокий
9	Дефицит кислорода в ограниченных пространствах	Слесарь	3	2	40	240	Высокий
10	Дефицит кислорода / газовое отравление	Электрогазосварщик	3	2	40	240	Высокий

Распределение всех 36 идентифицированных рисков по уровням представлено в таблице 2.

Таблица 2

Распределение профессиональных рисков по уровням и рабочим местам

Рабочее место	Незначительный	Возможный	Существенный	Высокий	Очень высокий	Всего
Слесарь по ремонту тепловых сетей	0	1	7	2	0	10
Электрогазосварщик	0	2	2	6	0	10
Инженер КИПиА	1	3	3	1	0	8
Электромонтёр	1	2	4	0	1	8
Итого	2	8	16	9	1	36

Из общего числа идентифицированных рисков 27,8% (10 рисков) отнесены к категориям высокого и очень высокого уровней, что определяет необходимость разработки приоритетных мер по их снижению. Лишь 5,6% рисков отнесены к незначительному уровню, не требующему специальных мер.

Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют сделать ряд практически значимых выводов.

Во-первых, метод Файна-Кинни демонстрирует высокую дифференцирующую способность, обеспечивая разделение 36 рисков на пять уровней значимости. Это создаёт основу для ранжирования рисков и определения приоритетности управленческих мер, что является ключевым преимуществом метода по сравнению с качественными подходами [9].

Во-вторых, выявлен ключевой риск – поражение электрическим током электромонтёра ($R = 720$), отнесённый к категории недопустимого уровня. Такое значение обусловлено сочетанием ежедневной подверженности воздействию опасности ($\Pi = 6$) и катастрофической тяжести возможных последствий ($T = 40$, один смертельный случай). Данный результат согласуется с отраслевой статистикой, согласно которой электротравматизм остаётся одной из ведущих причин смертельных несчастных случаев в энергетике [10, с. 22-31]. Выявление недопустимого риска по методу Файна-Кинни выступает количественным основанием для безотлагательной реализации компенсирующих мер.

В-третьих, наибольшая концентрация рисков высокого уровня выявлена на рабочем месте электрогазосварщика – 6 из 10 идентифицированных рисков. Это обусловлено комплексным воздействием специфических факторов сварочного процесса (УФ-излучение, брызги металла, сварочный аэрозоль, риск

возгорания) при ежедневном характере работ. Данный результат подтверждает целесообразность отнесения сварочных операций к работам повышенной опасности с применением системы нарядов-допусков.

В-четвёртых, сопоставление приоритетных рисков с фактической структурой производственного травматизма ООО «Энергосбережение» за 2021–2025 гг. показало значительное совпадение: ожоги (29% несчастных случаев) соотносятся с высокими рисками контакта с горячими поверхностями и сварочными факторами; механические травмы (43%) – с существенным риском воздействия инструмента; поражение электрическим током (14%) – с очень высоким риском электромонтёра. Согласованность результатов оценки с эмпирическими данными по травматизму подтверждает достоверность применённого методического подхода.

Вместе с тем выявлены и ограничения метода: сохраняется определённая субъективность экспертной оценки параметров В, П и Т, что обуславливает целесообразность сочетания метода Файна-Кинни с матричным методом и иными подходами в составе комбинированной процедуры оценки рисков [5, 8].

Заключение

Апробация метода Файна-Кинни на ключевых рабочих местах ООО «Энергосбережение» подтвердила его применимость для количественной оценки профессиональных рисков на предприятиях теплоэнергетического комплекса. Метод обеспечивает дифференцированную оценку рисков, согласованную с фактической структурой производственного травматизма, и позволяет выделять приоритетные направления для разработки мер по снижению профессиональных рисков. Главным практическим результатом исследования является выявление недопустимого уровня риска

поражения электрическим током электромон-тёра, требующего безотлагательной реализа-ции технических и организационных мер. Ме-тод Файна-Кинни рекомендуется к использова-нию в составе процедур систем управления охраной труда предприятий, эксплуатирующих тепловые сети, в комбинации с матричным ме-тодом для повышения наглядности представ-ления результатов.

Литература

1. Трудовой кодекс Российской Федера-ции: Федер. закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ: в действующей редакции // Собр. законодатель-ства Рос. Федерации. – 2002. – № 1 (ч. I). – Ст. 3.
2. Об утверждении Примерного положе-ния о системе управления охраной труда: При-каз Минтруда России от 29.10.2021 № 776н. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 23.05.2026).
3. Об утверждении Рекомендаций по вы-бору методов оценки уровней профессиональ-ных рисков и по снижению уровней таких рис-ков: Приказ Минтруда России от 28.12.2021 № 926. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обраще-ния: 23.05.2026).
4. ГОСТ Р ИСО 45001-2020. Системы ме-неджмента безопасности труда и охраны здо-ровья. Требования и руководство по примене-нию. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 53 с.
5. ГОСТ Р 12.0.010-2009. Система стандар-тов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 24 с.
6. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандар-тов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 16 с.
7. Файнбург Г.З. Управление профессио-нальными рисками: учебно-методическое по-сobie / Г.З. Файнбург. – Пермь: ПНИПУ, 2020. – 268 с.
8. Сугак Е.В. Управление профессиональ-ными рисками: учебное пособие / Е.В. Сугак. – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнёва, 2019. – 196 с.
9. Минько В.М. Методы оценки и управле-ния профессиональными рисками: учебное по-сobie / В.М. Минько. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2017. – 156 с.
10. Тимофеева С.С. Современные подходы к оценке профессиональных рисков на пред-приятиях теплоэнергетики / С.С. Тимофеева, О.В. Тюменцева // Охрана труда и техника без-опасности на промышленных предприятиях. – 2023. – № 4. – С. 22-31.

KHROMYKH Dmitry Valerievich

Student, Moscow Polytechnic University, Russia, Moscow

APPLICATION OF THE FINE-KINNEY METHOD FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL RISKS OF EMPLOYEES OF THERMAL POWER ENTERPRISES

Abstract. *The article presents the results of applying the Fine-Kinney method for quantitative assessment of occupational risks at key workplaces of an enterprise providing the operation of thermal networks. The object of the study was LLC «Energoberezhenie». The risk assessment methodology $R = P \times E \times C$ is considered, and the assess-ment is performed for 36 identified hazards at four key workplaces. It was found that the highest risk level is asso-ciated with electric shock of an electrician ($R = 720$, very high level), while the highest concentration of high-level risks is identified at the workplace of an electric and gas welder. The obtained results confirm the applicability of the Fine-Kinney method in the conditions of thermal power enterprises and can be used in the development of pro-grams to improve occupational health and safety management systems.*

Keywords: *occupational safety, occupational risks, Fine-Kinney method, thermal networks, thermal power en- gineering, risk assessment, occupational health and safety management system.*

ГЕОЛОГИЯ

ПОНКРАЩЕНКОВ Давид Романович

студент, Российский университет дружбы народов, Россия, г. Москва

БЕЛЯКОВ Андрей Дмитриевич

студент, Российский университет дружбы народов, Россия, г. Москва

БЕЛЕСКУ Иван Андреевич

студент, Российский университет дружбы народов, Россия, г. Москва

ШАБОЯН Роман Теймуразович

студент, Российский университет дружбы народов, Россия, г. Москва

ДИЕТАРУВВЕ Джеордже Огхенемаро

студент, Российский университет дружбы народов, Россия, г. Москва

ТВЁРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ НИГЕРИИ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ЗАПАСОВ И ПЕРСПЕКТИВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА

Аннотация. Статья посвящена анализу потенциала горнодобывающей промышленности Нигерии как инструмента диверсификации экономики страны. В работе систематизированы данные о более чем 40 видах твёрдых полезных ископаемых Нигерии, общая стоимость запасов которых оценивается в 750 млрд долларов. Особое внимание уделяется текущим проектам развития сектора и его роли в экономике после 2025 года. Рассматриваются минерально-сырьевые базы страны, включая провинции и бассейны с запасами олова, колумбита, свинца, цинка, барита, золота, железной руды, угля и других ресурсов. Анализируются экономические показатели отрасли, препятствия для её развития (кустарная добыча, недостаток геологоразведочных данных, инфраструктурные проблемы, конфликты) и перспективы до 2030 года в рамках правительственной программы развития горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: Нигерия, горнодобывающая промышленность, полезные ископаемые, диверсификация экономики, минерально-сырьевая база.

Введение

Нигерия обладает одними из самых богатых, но наименее изученных запасов полезных ископаемых в Африке. В отличие от нефтегазового сектора, твердые полезные ископаемые до недавнего времени не добывались. В данной работе представлен всесторонний анализ более 40 видов минерального сырья, запасы которого оцениваются более чем в 750 миллиардов долларов. Особое внимание уделяется перспективным проектам и роли сектора в диверсификации экономики Нигерии после 2025 года.

Нигерия является крупнейшей экономикой Африки, однако ее база твердых ископаемых полезных ископаемых и сырья используется менее чем на 10% от потенциала. Страна занимает лидирующие позиции по запасам олова, колумбита, свинца, цинка и барита, но добыча ведется в основном кустарным способом. С 2020 года правительство реализует программу развития горнодобывающей промышленности до 2030 года, которая направлена на увеличение вклада отрасли в ВВП с 0,6% до 5%.

Целью работы является систематизация данных о месторождениях, запасах и

перспективах развития добывающего сектора Нигерии на основе презентационных материалов.

1. Минеральные базы и сырьё в Нигерии

В Нигерии выделяются следующие металлогенические провинции, а также минеральные базы и сырьё:

- Провинция Плат;
- Бассейн реки Бенуэ – свинец, цинк, барит, известняк, уголь;

- Северо-Западный щит – золото (коренные и россыпные месторождения);
- Юго-Восточный бассейн – уголь, железная руда, нефтеносные пески;
- Прибрежная равнина – тяжелые минеральные пески (циркон, ильменит, рутил).

Всего в стране выявлено более 40 видов твердых полезных ископаемых, из которых 17 имеют промышленное значение.

Таблица 1

Основные виды твердых полезных ископаемых Нигерии

Но-мер	Полезные ископаемые	Запасы (оценка)	Содержание в руде	Основные штаты
1	Олово	500 тыс. т. (SnO ₂)	0,1–0,8%	Плато, Кадуно, Насарава
2	Колумбит	200 тыс. т.	0,05–0,3% Nb ₂ O ₅	Плато, Коги
3	Золото	100 млн унций	2–15 г/т	Зимфара, Сокото, Кадуна
4	Свинец/Цинк	10 млн т. (Pb+Zn)	Pb 5–12%, Zn 4–10%	Эбоньи, Плато, Коги
5	Железная руда	2.5 млрд т. (гематит)	35–48% Fe	Коги, Нигер, Энугу
6	Уголь	2.0 млрд т	теплотворность 25–30 МДж/кг	Энуги, Коги, Бенуэ
7	Барит	30 млн т (BaSO ₄)	85–95%	Насарава, Тараба, Бенуэ
8	Литий	20 млн т LCE	0,5–2% Li ₂ O	Коги, Плато, Экипи
9	Тантал	40 тыс. т	0,01–0,1% Ta ₂ O ₅	Плато, Кадуно
10	Каолин	2 млрд. т.	чистота 75–90%	Эдо, Огун, Кадуна

LCE – это эквивалент карбоната лития.

2. Диаграммы и графики (реконструкция по типичной презентации)



Рис. 1. Доля полезных ископаемых в общей стоимости запасов

- Железная руда – 38% (\$285 млрд);
- Золото – 21% (\$157,5 млрд);
- Уголь – 12% (\$90 млрд);
- Свинец + цинк – 10% (\$75 млрд);
- Литий – 9% (67,5 млрд долл.);
- Олово + колумбит – 5% (37,5 млрд долл.);
- Барит – 3% (22,5 млрд долл.);

- Прочие (тантал, каолин, циркон, гипс, слюда, драгоценные камни) - 2% (15 млрд долл.)

Вывод: более половины затрат (59%) приходится на железную руду и золото, что обусловлено высокими мировыми ценами и большими разведанными ресурсами.

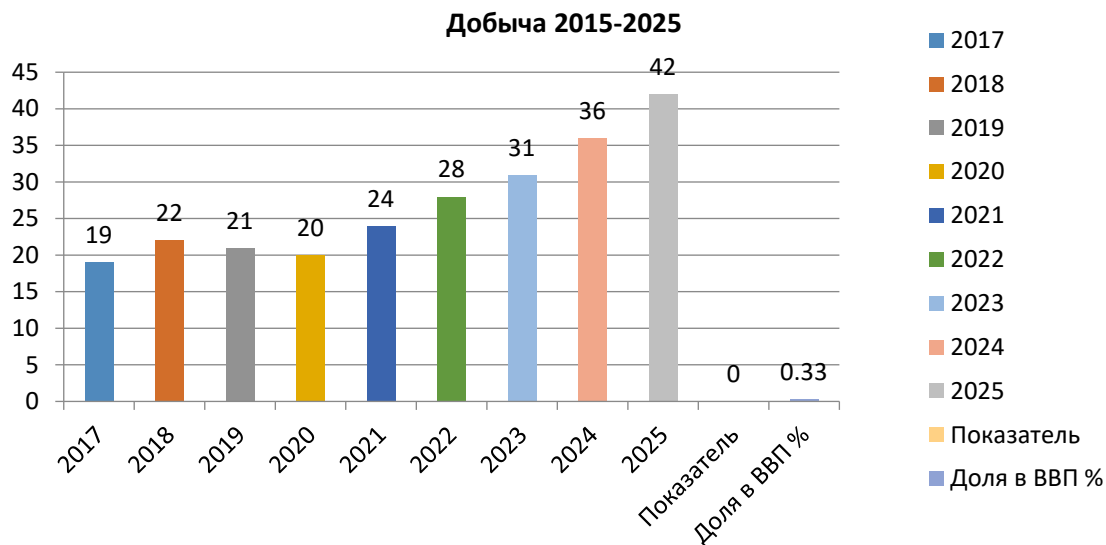


Рис. 2. Динамика добычи полезных ископаемых (прогноз на 2015–2025 годы)

Наблюдение: с 2021 года наблюдается устойчивый рост (+15–20% в год) благодаря новым концессиям и иностранным инвестициям.

Таблица 2

10 лучших месторождений Нигерии по запасам

Топ-месторождения	Штат	Запасы
Itakpe	Kogi	1.5 млрд т
Ajaokuta	Kogi	600 млн т
Ogbete	Enugu	350 млн т
Ezza	Ebonyi	9 млн т
Oroare	Kwara	15 млн унций
Nkakalu	Enugu	200 млн т
Jos Plateau	Plateau	80 тыс т Sn
Azara	Nasarawa	Барит
Oke-Ode	Kogi	1.2 млн т/год
Экспорт	%	
Золото	42	
Олово	18	
Цинк/свинец	15	
Литий	12	
Колумбит	7	
Прочие	6	

3. Экономические показатели отрасли

Таблица 3

Вклад горнодобывающей промышленности в экономику Нигерии

Показатель	2015	2020	2023	2025
Доля в ВВП %	0,33	0,48	0,64	1,2
Занятость тыс	150	210	320	500
Экспорт млн\$	120	230	480	800
Налоги млн\$	45	80	165	300

Количество лицензий на добычу полезных ископаемых 287,410,556,700.

Несмотря на рост, этот сектор остается скромным по сравнению с нефтяным (>90%

экспорта). Целевой показатель доли в ВВП на 2030 год составляет 5%, что потребует инвестиций в размере 10–15 миллиардов долларов.

4. Карта месторождений

Таблица 4

Регион	Штаты	Основные полезные ископаемые
Северо-запад	Замфара, Сокото, Катсина, Кадуна	Золото, каолин, мел
Северо-восток	Баучи, Гомбе, Адамава	Различные металлы и минералы
Центральный регион	Плато, Насарава	Олово, колумбит, барит
Юго-восток	Энугу, Эбони	Уголь, железная руда
Юг	Эдо, Дельта, Риверс	Тяжелые минеральные пески, стекольные пески

5. Препятствия и риски

Особенности воздействия на отрасль:

- 1. Кустарная и незаконная добыча полезных ископаемых до 80% золота и 90% олова добывается вручную без лицензий, потери бюджета, загрязнение окружающей среды, детский труд;
- 2. Отсутствие детально изученных геологоразведочных работ <10% перспективных участков риска для инвесторов, завышенные оценки;

- 3. Плохая железнодорожная инфраструктура, отсутствие электричества в районах добычи полезных ископаемых, высокая себестоимость производства;
- 4. Конфликты и нарушения безопасности, бандитизм в Замфаре, межобщинные столкновения, перебои в добыче полезных ископаемых, отток инвесторов;
- 5. Сырье для переработки не экспортируется в необработанном виде (Китай, Индия), что приводит к потере добавленной стоимости.

Структура экспорта твердых полезных ископаемых (2023)

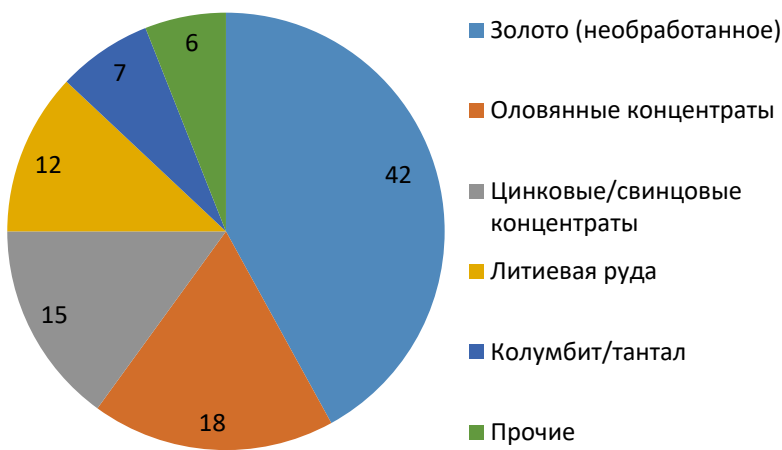


Рис. 3. Структура экспорта твердых ископаемых (в стоимостном выражении, 2023 год)

Важно: 97% экспорта приходится на необработанные минералы и концентраты. Доля вторичной переработки в стране составляет менее 3% (только местные ювелирные изделия и кирпич).

6. Перспективы и стратегия развития

Правительство Нигерии утвердило дорожную карту развития горнодобывающей промышленности (2024–2030):

Таблица 5

Целевые отраслевые показатели до 2030 года			
Показатель	2023 (факт)	2027 (план)	2030 (план)
Доля в ВВП (%)	0,64	2,5	5
Занятость (тыс. чел.)	320	420	700
Экспорт (млн \$)	480	650	1200
Налоговые поступления (млн \$)	165	230	400

Ключевые проекты:

1. Строительство металлургического комплекса в Аджии;
2. Логистический коридор Итапке-арри;
3. Создание биржи полезных ископаемых и сырья в Абу-Даби;
4. Запуск Национальной геологической службы аер с аэромагнитной съемкой (к 2026 году будет охвачено 70% территории);
5. Программа легализации искателей ремесел (получение кооперативных лицензий).

Литература

1. Нигерийское управление горного кадастра (NMCO) – Годовой отчет за 2024 год.

2. Министр по разработке твердых полезных ископаемых – Стратегический план на 2024–2027 годы.
3. Геологическая служба США 2.
4. Обзор горнодобывающего сектора Нигерии от Всемирного банка (2024).
5. Обзор развития горнодобывающей промышленности Нигерии до 2025 года.
6. КПИМГ – Инвестиции в горнодобывающую промышленность Нигерии: возможности и риски.
7. Геологическая служба Нигерии (NGSA) – Карта минеральных ресурсов на 2024 год.
8. Африканский банк развития-East.

PONKRASHCHENKOV David Romanovich

Student, Peoples' Friendship University of Russia, Russia, Moscow

BELYAKOV Andrey Dmitrievich

Student, Peoples' Friendship University of Russia, Russia, Moscow

BELESCU Ivan Andreevich

Student, Peoples' Friendship University of Russia, Russia, Moscow

SHABOYAN Roman Teymurazovich

Student, Peoples' Friendship University of Russia, Russia, Moscow

DIETARUVVE Geordje Oghenemaro

Student, Peoples' Friendship University of Russia, Russia, Moscow

SOLID MINERALS OF NIGERIA: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF DEPOSITS, RESERVES AND PROSPECTS OF THE MINING SECTOR

Abstract. The article is devoted to the analysis of the potential of the mining industry in Nigeria as a tool for diversifying the country's economy. The paper systematizes data on more than 40 types of solid minerals in Nigeria, the total value of which is estimated at \$ 750 billion. Special attention is paid to current projects for the development of the sector and its role in the economy after 2025. The country's mineral resources are considered, including provinces and basins with reserves of tin, columbite, lead, zinc, barite, gold, iron ore, coal and other resources. The economic indicators of the industry, obstacles to its development (artisanal mining, lack of exploration data, infrastructural problems, conflicts) and prospects until 2030 within the framework of the government program for the development of the mining industry are analyzed.

Keywords: Nigeria, mining industry, minerals, economic diversification, mineral resource base.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЕРЕМЕНКО Ярослав Сергеевич

студент, Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж

*Научный руководитель – доцент Воронежского государственного технического университета,
кандидат филологических наук Козлова Виктория Вячеславовна*

КАК ПОДГОТОВИТЬСЯ К СОБЕСЕДОВАНИЮ В ИТ-КОМПАНИЮ

Аннотация. В статье мы рассматриваем ключевые этапы и системные механизмы подготовки соискателей к прохождению отбора в технологические компании. На основе анализа пятидесяти актуальных вакансий и проведения анкетирования среди студентов первого курса факультета информационных технологий и компьютерной безопасности ВГТУ нами установлены критические факторы, влияющие на получение оффера. В ходе работы мы разработали математическую модель оценки готовности кандидата. Особое внимание уделено необходимости синергии между технической базой программирования и навыками вербализации проектных решений в реальном времени.

Ключевые слова: ИТ-компания, собеседование, техническое интервью, индекс соответствия, подготовка резюме.

Сейчас, когда цифровые технологии развиваются очень быстро, а конкуренция на рынке труда высокая, подготовка к собеседованию в ИТ-компанию становится особенно важной. ИТ – это уже не просто работа за компьютером. Здесь нужны не только технические знания, но и умение рассуждать, объяснять свои решения, общаться и работать с другими. Работодатели ищут не просто людей, которые умеют пользоваться программами, а специалистов, способных разбираться со сложными задачами. К кандидатам предъявляют серьезные требования: нужно понимать, как устроены алгоритмы, языки программирования, системы безопасности. Важны и коммуникативные навыки, умение работать в команде, способность быстро подстраиваться под новые условия. Например, если кандидат пишет, что он что-то делал, важно уточнить, что именно и какой был результат.

В этой работе мы решили рассмотреть процесс подготовки к собеседованию в ИТ-компанию и определить, что влияет на успешный результат. Мы анализировали вакансии, требования работодателей, структуру интервью и частые ошибки кандидатов. Ниже выделим ключевые этапы подготовки.

Изучение требований работодателя

Первое, на что стоит обратить внимание, требования работодателя. Вакансия – это не только объявление, но и конкретный список ожиданий. Мы просмотрели множество вакансий и заметили, что многие кандидаты совершают одну ошибку: не сравнивают свои навыки с тем, что указано в требованиях. Проще говоря, нужно взять список из вакансии и честно ответить себе, умеете вы это или нет. Если нет – это не повод отказываться, но это сигнал: стоит подтянуть нужные навыки. Наш анализ показал, что даже базовые знания можно освоить довольно быстро, если заниматься именно тем, что требуется работодателю.

Когда смотришь на рынок труда, видно, что требования к кандидатам часто завышены. Описания вакансий иногда напоминают портрет идеального сотрудника. Необязательно соответствовать каждому пункту, но важно быть уверенным в базовых и ключевых инструментах. Мы советуем делить стек технологий на основной и дополнительный, так проще распределить время на подготовку.

Подготовка резюме и портфолио

Дальше идет работа с резюме и портфолио. Мы выяснили, что на просмотр резюме уходит совсем немного времени, поэтому оно должно

быть понятным и лаконичным. Важно указывать конкретные факты, а не просто писать, что вы ответственный или быстро учитесь. Работодателя интересуют реальные действия и результаты. Если вы что-то делали, уточните, что именно и к какому результату это привело.

Для математической оценки готовности кандидата к выходу на рынок и его соответствия конкретной позиции мы вывели формулу интегрального индекса соответствия (K_m):

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * W_i}{n}, \quad (1)$$

Где:

- S_i – балльная оценка интенсивности владения конкретным навыком из требований вакансии по шкале от 1 до 10;
- W_i – коэффициент важности и критичности данного навыка для целевой роли (от 0.1 до 1.0);
- n – общее количество анализируемых ключевых требований вакансии.

Значение индекса выше 7.5 указывает на высокий уровень готовности соискателя к прохождению технического отбора. Значение ниже 5.0 сигнализирует о необходимости точечной доработки компетенций.

Выбор компании

Далее мы проанализировали этап выбора компании. Многие кандидаты не уделяют этому внимания, однако в ходе исследования мы пришли к выводу, что это тоже важная часть подготовки. Разные компании используют разные технологии и создают разные продукты. Если кандидат заранее изучит, чем занимается компания, ему будет гораздо проще отвечать на вопросы и понимать, чего от него ждут на собеседовании. Кроме того, это помогает ответить на один из самых частых вопросов на собеседовании – почему вы хотите работать именно здесь.

Понимание специфики бизнеса нанимающей стороны позволяет адаптировать свои ответы. Например, в продуктовых ИТ-компаниях ценят долгосрочный интерес к развитию конкретной системы и внимание к качеству кода. В заказной разработке или ИТ-консалтинге приоритетом часто выступает скорость освоения новых инструментов и готовность переключаться между разнородными задачами. Сбор предварительной информации через открытые источники формирует у соискателя осознанную позицию, которая позитивно оценивается интервьюерами.

Развитие коммуникативных навыков и анкетирование

Особое внимание мы уделили развитию коммуникативных навыков. В ходе исследования мы пришли к выводу, что умение говорить и объяснять – это не менее важно, чем знание программирования. Кандидат должен уметь спокойно отвечать на вопросы, не перебивать собеседника и логично выстраивать свои ответы. Также важно уметь признать, что ты чего-то не знаешь, и при этом показать, как ты будешь искать решение и выход из поставленной ситуации.

Для проверки теоретических гипотез нами было проведено анкетирование среди студентов первого курса факультета информационных технологий и компьютерной безопасности ВГТУ. Результаты показали высокий теоретический уровень подготовки соискателей, однако выявили серьезные пробелы в практической коммуникации. Мы установили, что среднее значение индекса готовности по технической части составляет 7.8 из 10. При этом навыки самопрезентации и прохождения скрининга оценены значительно ниже. На основе полученных данных мы зафиксировали прямую зависимость между успешностью прохождения технического интервью и умением кандидата вербализовать алгоритмическую логику в реальном времени.

Типичные ошибки кандидатов

Мы также проанализировали поведение кандидатов на собеседовании и выявили типичные ошибки. Одной из самых распространенных является излишнее волнение, связанное с убеждением, что нужно знать абсолютно всё. Это приводит к тому, что человек теряется даже на простых вопросах. Другой ошибкой является попытка компенсировать недостаток знаний общими словами без конкретики. Также часто встречается пассивное поведение, когда кандидат отвечает коротко и не объясняет свои мысли. В ходе анализа мы пришли к выводу, что такие ошибки значительно снижают шансы на успешное прохождение интервью.

Устранение пассивности достигается тренировкой метода «рассуждения вслух». Интервьюер не может прочитать мысли соискателя, поэтому траектория движения к решению задачи должна озвучиваться. Попытки угадать ответ или замаскировать незнание терминов общими фразами считаются техническими специалистами мгновенно. Честное признание

ограничений своих знаний в сочетании с демонстрацией инженерной логики всегда оценивается выше, чем бессодержательное маневрирование вокруг терминов.

Этап после собеседования

Наконец, мы рассмотрели этап после собеседования и выяснили, что ответ от работодателя может приходить не сразу, и это является нормальной практикой. Отказ также не следует воспринимать как окончательный результат. Это показатель того, что в подготовке есть слабые места. Их необходимо выявить и доработать перед следующим собеседованием. Регулярный сбор развернутой обратной связи от компаний позволяет точно ликвидировать пробелы в техническом стеке.

Выводы исследования

Таким образом, проведенное исследование показало, что подготовка к собеседованию в IT-компанию представляет собой последовательный процесс. Он включает в себя анализ требований, развитие базовых знаний, подготовку резюме, изучение компании и развитие коммуникативных навыков. Мы выяснили, что успешность прохождения собеседования зависит не от идеальных знаний, а от способности кандидата понимать основы, общаться с людьми и ясно объяснять свои мысли, без нервов и паники. Также в ходе исследования было

установлено, что ключевым фактором безусловно является практика, поскольку именно она позволяет сформировать уверенность и улучшить навыки прохождения интервью.

Литература

1. Кормен Т.Х. Алгоритмы: построение и анализ: учебник: монография – Текст: электронный / Т.Х. Кормен, Ч.И. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. – Москва. Вильямс, 2021. – 1328 с.
2. Макдауэлл Г.К. Карьера программиста: как устроиться на работу в Google, Microsoft и другие компании: учеб. пособие: монография – Текст: электронный / Г.К. Макдауэлл. – Москва. Эксмо, 2019. – 416 с.
3. Лакман М. Подготовка к техническому интервью: практическое руководство: монография – Текст: электронный / М. Лакман. – Москва, 2021. – 256 с.
4. Робертс К. Успешное собеседование в IT: стратегия и практика: учеб. пособие: монография – Текст: электронный / К. Робертс. – Санкт-Петербург. Питер, 2022. – 304 с.
5. Как составить резюме: образец документа: научная статья – Текст: электронный / М. Паньян. – HH.ru. – 2024. – № 1. – С. 1-5. URL: <https://hh.ru/article/kak-sostavit-rezyume> (дата обращения: 25.05.2026).

EREMENKO Yaroslav Sergeevich

Student, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh

*Scientific Advisor – Associate Professor of Voronezh State Technical University,
Candidate of Philological Sciences Kozlova Victoria Vyacheslavovna*

HOW TO PREPARE FOR A JOB INTERVIEW IN AN IT COMPANY

Abstract. The article, we examine the key stages and systemic mechanisms of preparing applicants for the selection process in technological companies. Based on the analysis of fifty current job vacancies and a survey conducted among first-year students of the Faculty of Information Technology and Cyber Security at VSTU, we have identified the critical factors influencing the receipt of a job offer. In the course of the work, we developed a mathematical model for assessing candidate readiness. Special attention is paid to the need for synergy between the technical foundation of programming and the skills of verbalizing project solutions in real time.

Keywords: IT company, interview, technical interview, compliance index, resume preparation.

ЖДОНЧИК Алисия Павловна

студентка, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
Республика Беларусь, г. Гродно

«ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР» В СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ: НОВЫЕ СЦЕНАРИИ АТАК ЧЕРЕЗ НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ДИПФЕЙКИ ГОЛОСА

Аннотация. В статье рассматриваются современные атаки социальной инженерии, использующие технологию дипфейков голоса. Показано, что доступность нейросетевых инструментов клонирования речи в сочетании с традиционной уязвимостью человека к авторитету знакомого голоса порождает принципиально новые сценарии мошенничества. Анализируются реальные инциденты, психологические механизмы обмана и комплексные методы противодействия.

Ключевые слова: дипфейк голоса, социальная инженерия, человеческий фактор, клонирование голоса, нейросетевые атаки, информационная безопасность.

1. Введение

На протяжении последних двух лет технологии искусственного интеллекта совершили качественный скачок в области синтеза речи. Если раньше создание убедительной копии чужого голоса требовало часов чистых записей и вычислительных мощностей, доступных лишь крупным лабораториям, то сегодня эту операцию может выполнить любой злоумышленник за считанные минуты с помощью бесплатных онлайн-сервисов. Дипфейки голоса перестали быть гипотетической угрозой из футурологических отчётов – они стали реальным, массовым и крайне эффективным оружием социальных инженеров.

По данным BI.ZONE, в 2024 году число атак с использованием аудиодипфейков выросло на 350% по сравнению с предыдущим годом. Глобальные ежегодные потери от такого рода мошенничества достигли 10 млрд долларов США, а в России – около 1,1 млрд рублей. Особую тревогу вызывает тот факт, что жертвами становятся даже квалифицированные ИТ-специалисты, прошедшие курсы по информационной безопасности. Традиционные методы обучения, направленные на распознавание подозрительных ссылок или орфографических ошибок в письмах, оказываются бессильны перед атакой, в которой злоумышленник говорит голосом вашего непосредственного руководителя или плачущего в трубку ребёнка.

Цель настоящей статьи – систематизировать современные сведения о технологии создания голосовых дипфейков, описать новые сценарии

атак социальной инженерии, выявить психологические уязвимости, на которые эти атаки опираются, и предложить комплексный подход к защите.

2. Технологические основы создания голосовых дипфейков

Доступность и простота использования инструментов для клонирования речи – ключевой фактор, превративший дипфейки в массовую угрозу. Рассмотрим, как именно злоумышленники добывают биометрический материал и какие нейросетевые архитектуры используют.

2.1. Источники получения голосовых образцов

Первый этап любой атаки – сбор аудиозаписей жертвы. Современный цифровой ландшафт предоставляет для этого практически неограниченные возможности. Основные источники:

- Публичные выступления и медиа – подкасты, интервью, лекции, вебинары, стримы. Многие люди сами публикуют часы своих голосовых записей в открытом доступе.
- Взломанные аккаунты в мессенджерах – злоумышленники получают доступ к переписке и извлекают голосовые сообщения жертвы.
- Короткие телефонные разговоры – мошенник звонит под видом социологического опроса или службы технической поддержки. Всего нескольких минут разговора достаточно для создания качественного дипфейка.
- Видео в социальных сетях – TikTok, Instagram, YouTube содержат огромные массивы записей голосов миллионов людей.

2.2. Ключевые нейросетевые архитектуры

Современные системы клонирования голоса базируются на глубоком обучении. Наиболее распространённые подходы:

1. Tortoise-TTS – многоступенчатая модель, требующая от нескольких секунд до нескольких минут чистого аудио для клонирования. Способна имитировать не только тембр, но и интонации, манеру речи.

2. Real-Time Voice Cloning (RTVC) – система, работающая в режиме реального времени. Использует предобученные речевые представления (например, Wav2Vec 2.0) и позволяет синтезировать фразы практически мгновенно.

3. Bark – генеративная модель от компании Suno, способная воспроизводить не только голос, но и эмоциональную окраску, паузы, смех, даже шёпот.

Все эти инструменты доступны либо бесплатно (с открытым исходным кодом), либо за символическую плату. Для их использования не требуется специальных знаний в области искусственного интеллекта – достаточно загрузить несколько образцов голоса и нажать кнопку «синтезировать».

3. Новые сценарии атак

Технологическая доступность клонирования голоса породила целый спектр новых, чрезвычайно опасных сценариев социальной инженерии. Ниже представлены наиболее распространённые и разрушительные схемы, подтверждённые реальными инцидентами 2024-2025 годов.

3.1. Атака «фейковый руководитель»

Наиболее дорогостоящий сценарий. Мошенники, используя дипфейк голоса генерального директора или финансового директора, звонят сотруднику бухгалтерии, отдела закупок или юридического департамента. Легенда всегда связана с крайней срочностью – «контрагент ждёт предоплату», «нужно срочно перевести деньги для закрытия сделки», «ошибка в отчётности, требуются штрафные санкции». Жертва, слыша знакомый голос и узнавая манеру речи руководителя, теряет бдительность и совершает перевод на подставные счета.

Реальный случай: в феврале 2024 года злоумышленники организовали дипфейк видеозвонка в гонконгском офисе компании Agur. В конференции участвовали сгенерированные нейросетью двойники финансового директора и других руководителей. Сотрудник,

полностью убеждённый в подлинности встречи, перевёл мошенникам 25,6 млн долларов. Аналогичные инциденты фиксируются и в России: в одном из случаев финансовый директор получил голосовое сообщение от «генерального директора» с просьбой перевести 15 млн рублей на счёт «важного партнёра».

3.2. Семейные и «родительские» атаки

Второй по массовости сценарий – звонки родителям или пожилым родственникам с использованием дипфейка голоса ребёнка или внука. Типичная легенда: «я попал в аварию», «меня задержала полиция», «мне срочно нужна операция», «я должен крупную сумму чужим людям». Злоумышленники давят на жалость, страх, чувство вины. Эмоциональный шок настолько силён, что жертва переводит деньги, не пытаясь перезвонить по другому номеру.

Реальный случай: в Барнауле мошенники взломали аккаунт девушки в мессенджере, скопировали её голос из сохранённых сообщений, после чего от её имени разослали друзьям просьбы о займе «на срочные нужды». Несколько человек, услышав знакомый голос в голосовых сообщениях, перевели в общей сложности около 100 тысяч рублей.

3.3. Обход биометрической аутентификации

Банки и финансовые организации всё активнее внедряют голосовую биометрию для удалённой идентификации клиентов. Злоумышленники научились обходить эти системы с помощью дипфейков. Эксперименты показывают, что современные синтезаторы речи позволяют обмануть голосовую аутентификацию с вероятностью до 99%. Для атаки достаточно нескольких секунд записи голоса жертвы, которые можно получить из любого публичного источника.

3.4. Крупномасштабные организованные схемы

Технология дипфейков позволяет создавать промышленные мошеннические колл-центры. Яркий пример – канадская преступная группировка, действовавшая в 2021–2024 годах. Злоумышленники звонили пожилым американцам, используя клонированные голоса их внуков, и сообщали, что внук арестован и требуется залог. Голос «внука» звучал абсолютно реалистично, включая характерные слова-паразиты и интонации. Ущерб от деятельности группы превысил 21 млн долларов, пострадало более сотни пенсионеров.

В Южной Корее за первую половину 2025 года вишинг (голосовой фишинг) с использованием ИИ нанёс ущерб в размере 642 млрд вон (около 470 млн долларов). Корейские эксперты отмечают, что технология эволюционировала до воспроизведения не только голоса, но и личности человека – его речевых паттернов, темпа, эмоциональных реакций.

4. Уязвимости человеческого фактора

Почему образованные, критически мыслящие люди попадают на дипфейки? Ответ лежит в глубинных психологических механизмах, которые злоумышленники целенаправленно эксплуатируют.

4.1. Эволюционное доверие к голосу

На протяжении сотен тысяч лет человеческий голос был одним из самых надёжных идентификаторов личности. Если человек слышал знакомый голос, он с высокой степенью уверенности мог полагать, что говорит именно тот, за кого себя выдаёт. Наш мозг не имеет встроенных механизмов для скептического анализа идеальной имитации речи – это эволюционная новинка, к которой психика ещё не адаптировалась. Когда вы слышите голос начальника или ребёнка, критическое мышление автоматически притупляется.

4.2. Эксплуатация стресса и дефицита времени

Все описанные сценарии объединяет одна характеристика: искусственное создание ситуации острого эмоционального напряжения и нехватки времени на размышления. «Ребёнок в беде, переводы деньги немедленно, иначе будет поздно». «Срочный перевод контрагенту, иначе сорвётся сделка». В состоянии стресса миндалевидное тело мозга подавляет работу префронтальной коры, отвечающей за рациональный анализ и контроль импульсов. Человек переходит в автоматический режим реагирования и совершает необдуманные действия.

4.3. Низкая осведомлённость о возможностях ИИ

Многие люди, включая ИТ-специалистов, до сих пор считают голос уникальным биометрическим признаком, который практически невозможно подделать. Это убеждение, закреплённое десятилетиями успешной работы систем голосовой аутентификации, создаёт ложное чувство безопасности. Жертва просто не допускает мысли, что голос в трубке может быть синтезирован и поэтому не проверяет информацию по другим каналам.

5. Методы противодействия

Эффективная защита от атак с использованием голосовых дипфейков требует комбинации технических средств, организационных мер и выработки новых поведенческих привычек.

5.1. Технические средства детекции

Современные нейросетевые детекторы способны выявлять синтезированную речь по микроскопическим артефактам, незаметным для человека: нарушения естественного ритма дыхательных пауз, микро-нестабильности частотных характеристик, специфические искажения на границах фонем. Лучшие системы детекции достигают точности выше 95%. В России уже существуют публичные инструменты – например, Telegram-бот «Стопфейк» от Департамента информационных технологий Москвы, позволяющий загрузить аудиофайл и получить оценку вероятности того, что голос синтезирован.

Перспективное направление – технологии «состязательных патчей». Учёные из AIRI, МТУСИ, Сбера разработали метод добавления в публичные аудиозаписи незаметных для человека искажений, которые делают невозможным автоматическое извлечение голосового отпечатка. Если вы заранее «зашумляете» свои публичные записи таким образом, мошенники не смогут использовать их для клонирования.

5.2. Организационные меры

Главное практическое правило, которое должно стать рефлексом: любой финансовый или конфиденциальный запрос, поступивший по голосовому каналу, необходимо перепроверять по независимому каналу связи. Услышали голос руководителя с просьбой перевести деньги? Перезвоните ему сами на его официальный номер (не на тот, с которого поступил звонок). Получили голосовое сообщение от «ребёнка» с мольбой о помощи? Позвоните ему по видеосвязи или попросите ответить на вопрос, известный только вам двоим.

В корпоративной среде необходимы регулярные тренировки персонала с моделированием атак с использованием дипфейков. Сотрудники должны на практике научиться распознавать признаки подозрительной коммуникации (искусственная срочность, давление на эмоции, невозможность перезвонить) и отработать алгоритм перепроверки.

5.3. Цифровая гигиена

Рекомендуется минимизировать объём публично доступных аудиозаписей своего голоса. Если вы ведёте подкаст, участвуете в вебинарах

или даёте интервью – осознавайте, что эти записи могут быть использованы для клонирования вашего голоса. Также стоит использовать разные мессенджеры для работы и личного общения и регулярно менять пароли, чтобы снизить риск взлома аккаунта.

6. Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать несколько ключевых выводов. Во-первых, дипфейки голоса стали массовым и высокоэффективным инструментом социальной инженерии благодаря доступности технологий клонирования речи и обилию биометрического материала в открытых источниках. Во-вторых, эти атаки целенаправленно эксплуатируют фундаментальные психологические уязвимости человека – эволюционное доверие к голосу, подверженность стрессу и дефициту времени, низкую осведомлённость о возможностях ИИ. В-третьих, традиционные меры информационной безопасности и простая бдительность недостаточны для защиты.

Эффективное противодействие возможно только в рамках комплексного подхода, включающего:

1. Внедрение технических систем детекции синтезированной речи и методов пассивной защиты голосовых данных;
2. Выработку у пользователей новых цифровых привычек – прежде всего обязательной перепроверки запросов по независимым каналам связи;
3. Регулярные корпоративные тренировки на смоделированных сценариях атак.

Без принятия этих мер ущерб от голосовых дипфейков будет продолжать экспоненциально расти, а доверие к голосовым каналам коммуникации – необратимо подрываться.

Литература

1. BI.ZONE. Отчёт об инцидентах информационной безопасности за 2024 год.
2. Исследовательская группа AIRI, МТУСИ, Сбер, VeinCV. Универсальные состязательные патчи для защиты голосовой биометрии. Interspeech 2025.
3. Pindrop. Deepfake Voice Detection: Technology and Implementation, 2025.
4. Deloitte Center for Financial Services. GenAI and the Future of Banking Fraud, 2024.

ZHDONCHIK Alicia Pavlovna

Student, Yanka Kupala Grodno State University, Republic of Belarus, Grodno

THE "HUMAN FACTOR" IN SOCIAL ENGINEERING: NEW ATTACK SCENARIOS THROUGH NEURAL NETWORK DEEPPAKES OF VOICE

Abstract. *The article discusses modern social engineering attacks using deepfake technology of voice. It is shown that the availability of neural network speech cloning tools combined with a person's traditional vulnerability to the authority of a familiar voice generates fundamentally new fraud scenarios. The real incidents, psychological mechanisms of deception and complex methods of counteraction are analyzed.*

Keywords: *deepfake of voice, social engineering, human factor, voice cloning, neural network attacks, information security.*

КАНТИМИРОВА Диана Марселевна

студентка,

Московский государственный университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Москва

ГИМАЛЕТДИНОВА Карина Низаметдиновна

студентка,

Московский государственный университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Москва

Научный руководитель – старший преподаватель Московского государственного университета технологий и управления имени К. Г. Разумовского Хисамутдинова Гузаль Римовна

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕСТОРАННЫМ БИЗНЕСОМ

Аннотация. В статье рассматриваются цифровые программы контроля и управления ресторанным бизнесом. Описаны функции учета продаж, складских остатков, движения продуктов, работы персонала и отчетности. Отдельное внимание уделено системам автоматизации «iiko», «r_keeper», «Tillyrad», «Контур.Маркет», применение которых повышает прозрачность операций, снижает число ошибок, ускоряет обслуживание гостей и усиливает финансовый контроль. Программные решения связаны с кассовым учетом, маркировкой продукции и ЕГАИС. Для ресторанного бизнеса это важно при работе с оплатой, алкоголем, водой, молочной продукцией и другими товарными группами. Цифровая система делает управление заведением ресторанным бизнесом точнее, удобнее и понятнее для руководителя.

Ключевые слова: ресторанный бизнес, программное обеспечение, автоматизация, iiko, r_keeper, Tillyrad, Контур.Маркет, складской учет, онлайн-касса, управление персоналом, контроль продаж.

Современные предприятия ресторанного бизнеса ежедневно осуществляют десятки операций. Существует необходимость отслеживать продажи, закупки, остатки на складе, себестоимость блюд, работу сотрудников, движение денег и качество сервиса. Ручной учет усложняет работу заведения. Возрастает риск ошибок в расчетах, потерь сырья, неверного списания продуктов и задержек при принятии решений. Цифровые программы стали рабочим инструментом предприятий ресторанного бизнеса. Они связывают кассу, склад, кухню, технологические карты, аналитику и персонал в единую систему.

1. Значение цифровых программ в ресторанном бизнесе

Ресторан имеет сложную внутреннюю структуру. В ежедневной работе участвуют кухня, зал, бар, склад, бухгалтерия, служба доставки и администрация. Каждое подразделение создает данные, нужные руководителю. Автоматизированная система фиксирует операции в режиме реального времени. Руководитель видит продажи, остатки, списания, работу сотрудников и финансовые показатели. Данные становятся основой для точного контроля и планирования.

Основные функции цифровой системы представлены в таблице.

Таблица

Основные функции цифровой системы управления рестораном

№	Наименование	Практическое содержание
1	Учет продаж	Фиксация заказов и оплат в режиме реального времени
2	Контроль остатков	Отслеживание наличия продуктов и напитков на складе
3	Расчет себестоимости	Определение затрат на приготовление блюд
4	Ведение технологических карт	Хранение данных о составе блюд и нормах расхода сырья
5	Анализ спроса	Оценка популярности позиций меню
6	Контроль персонала	Мониторинг работы официантов, кассиров, поваров и администраторов
7	Формирование отчетности	Подготовка сведений по выручке, списаниям, закупкам и прибыли
8	Снижение потерь	Предупреждение хищений и неучтенных операций

2. Основные виды программ для предприятий ресторанного бизнеса

Программы для ресторанного бизнеса делятся по назначению. Каждая группа отвечает за конкретный участок работы. Кассовые решения нужны для оформления заказов, печати чеков, приема оплаты и передачи сведений в налоговые органы. Их применение связано с требованиями Федерального закона № 54-ФЗ «О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации».

Складские модули ведут учет поступления, хранения и списания продуктов. С их помощью проще отследить путь сырья от закупки до готового блюда. Кухонные экраны и производственные модули передают заказы поварам. Информация распределяется по цехам, что сокращает путаницу при приготовлении. CRM-сервисы и программы лояльности работают с гостевой базой. Они сохраняют историю посещений, предпочтения клиентов, бонусы и персональные предложения. Аналитические разделы формируют отчеты о продажах, маржинальности блюд, загрузке сотрудников, эффективности акций и динамике выручки.

3. Популярные системы автоматизации предприятий ресторанного бизнеса

На российском рынке представлены разные системы автоматизации предприятий общественного питания.

iiiko используется в ресторанах, кафе и сетевых заведениях, где требуется связать кассовые операции, склад, технологические карты, закупки и финансовую аналитику.

r_keeper востребован в организациях общественного питания с активной кассовой нагрузкой.

Tillypad объединяет работу зала, кухни, склада и административного блока.

Контур.Маркет ориентирован на учет товаров, ингредиентов и блюд.

А первый взгляд, программы могут показаться схожими, но на деле, они различаются по набору функций, глубине учета и удобству применения в заведениях разного масштаба.

4. Контроль складских остатков и себестоимости

Учет сырья имеет прямое значение для финансового результата предприятия общественного питания. Продукты имеют ограниченный срок хранения. Часть ингредиентов расходуется каждый день. Ошибки в списании ведут к потерям и искажению себестоимости. Автоматизированный учет связывает продажи с технологическими картами. После реализации блюда ингредиенты списываются со склада по установленным нормам. Руководитель сравнивает плановый и фактический расход. Регулярные расхождения указывают на конкретные проблемы. Среди них ошибки персонала, нарушение рецептуры, недостатки, неправильная приемка товара или завышенные нормы списания.

Себестоимость требует постоянного контроля из-за изменения закупочных цен. Программа пересчитывает стоимость блюда и показывает его маржинальность. На основе данных руководитель корректирует меню, цены и условия работы с поставщиками.

5. Управление персоналом с помощью цифровых систем

Качество работы предприятий ресторанного бизнеса во многом зависит от согласованности работы сотрудников:

- официанты принимают заказы;

- повара готовят блюда;
- администраторы следят за залом;
- кассиры проводят оплату;
- кладовщики принимают товар.

Ошибка одного работника влияет на сервис и финансовый показатель. Поэтому важны права доступа и фиксация действий.

6. Интеграция с онлайн-кассами, маркировкой и ЕГАИС

Система «Честный ЗНАК» применяется при работе с маркированными товарами. В ресторанном бизнесе это касается молочной продукции, упакованной воды, безалкогольных напитков и других товарных групп. При продаже алкоголя ресторан работает с ЕГАИС.



Рис. 1. Интеграция цифровой системы ресторана с государственными сервисами

Данная государственная система учитывает производство и оборот этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции. Программа должна корректно фиксировать приемку, документы и списание алкоголя.

7. Преимущества внедрения цифровых программ

Внедрение специализированной системы дает ресторанному бизнесу практические преимущества. Заказ быстрее поступает на кухню. Уменьшается количество устных ошибок. Официант видит статус приготовления и быстрее отвечает гостю. Финансовый контроль становится точнее. Руководитель отслеживает выручку, средний чек, популярные блюда, скидки, списания и возвраты. Складской учет

снижает потери. Система выявляет недостатки, лишние закупки, просроченные продукты и нарушения норм расхода.

Аналитика делает управление точнее. Данные показывают эффективность меню, сотрудников, рекламных акций и поставщиков. Интеграция с онлайн-кассами, маркировкой и ЕГАИС снижает риск нарушений при расчетах и обороте отдельных товарных групп.

8. Проблемы внедрения программного обеспечения

Внедрение цифровой системы требует подготовки. Основные трудности связаны с затратами, обучением персонала и настройкой учета. Проблемные зоны при внедрении представлены на рисунке 2.

№	Проблемная зона	Содержание проблемы
1	Лицензии и оборудование	Затраты на покупку программы, кассовой техники, терминалов и дополнительного оборудования
2	Обучение сотрудников	Необходимость объяснить персоналу порядок работы с новой системой
3	Адаптация персонала	Привыкание сотрудников к новым правилам, интерфейсу и распределению обязанностей
4	Ввод номенклатуры	Ошибки при занесении блюд, ингредиентов, единиц измерения и цен
5	Технологические карты	Неточные рецептуры и нормы расхода сырья
6	Техническая зависимость	Связь работы программы с интернетом, оборудованием и службой поддержки
7	Обновление системы	Регулярная установка новых версий и настройка изменений в программе

Рис. 2. Основные проблемы

Самым сложным этапом часто становится настройка склада. Ошибки в технологических картах и нормах расхода быстро отражаются на учете. Если в программе неверно указано количество ингредиентов, сырье будет списываться неправильно. Из-за этого остатки на складе перестают совпадать с фактическим наличием, а себестоимость блюд рассчитывается неточно. Поэтому перед полноценным запуском системы нужно внимательно проверить рецептуры, карточки продуктов и доступ сотрудников к разным операциям.

Автоматизация ресторана помогает только тогда, когда с ней действительно работают. Недостаточно просто установить программу и внести в нее меню. Необходимо регулярно смотреть отчеты, проверять списания, сравнивать данные склада с реальной ситуацией и вовремя исправлять ошибки. В этом случае POS-система становится не просто кассовым инструментом, а удобным способом контроля за работой заведения.

Таким образом, программное обеспечение помогает руководителю видеть работу ресторана яснее и быстрее замечать проблемы. Оно упрощает контроль продаж, склада, себестоимости и действий персонала, но хороший результат зависит от правильной настройки системы и внимательной работы с данными.

Литература

1. Федеральный закон от 22.05.2003 № 54-ФЗ «О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в

Российской Федерации» // Федеральная налоговая служба России. – URL: https://www.nalog.gov.ru/rn77/about_fts/docs/3909988/ (Дата обращения: 30.04.2026).

2. Реестр контрольно-кассовой техники // Федеральная налоговая служба России. – URL: https://www.nalog.gov.ru/rn77/related_activities/registries/reestrkkt/ (Дата обращения: 30.04.2026).

3. Бореико Вячеслав Николаевич Роль цифровых технологий в управлении ресторанным бизнесом // КЭ. 2024. № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tsifrovyyh-tehnologiy-v-upravlenii-restorannym-biznesom>.

4. Ершов Д.А. Цифровые инструменты контроля качества в общественном питании: модель управления без постоянного присутствия владельца / Д.А. Ершов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2026. – № 18 (621). – С. 166-170. – URL: <https://moluch.ru/archive/621/135849>.

5. iiko – автоматизация ресторанов и кафе. Официальный сайт. – URL: <https://iiko.ru/> (Дата обращения: 30.04.2026).

6. r_keeper – автоматизация кафе, ресторанов, баров и предприятий общественного питания. Официальный сайт. – URL: <https://rkeeper.ru/> (Дата обращения: 30.04.2026).

7. Tillypad XL – система автоматизации ресторана, кафе, бара или сети заведений общественного питания. Официальный сайт. – URL: <https://tillypad.ru/system> (Дата обращения: 30.04.2026).

8. Контур.Маркет. Программа для учета в общепите. – URL: <https://kontur.ru/market/obshepit-loyalnost> (Дата обращения: 30.04.2026).

9. Контур.Маркет. Как выбрать программу для автоматизации общепита. – URL: https://kontur.ru/market/spravka/37908-avtomatizaciya_zavedeniya_obshchepita (Дата обращения: 30.04.2026).

10. Честный ЗНАК. Как HoReCa и госучреждениям работать с маркировкой. – URL: <https://markirovka.ru/community/horeca-/kak-restoranam-rabotat-s-markirovannoy->

[upakovannoy-vodoou](#) (Дата обращения: 30.04.2026).

11. ЕГАИС – Единая государственная автоматизированная информационная система учета объема производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции. – URL: <https://egais.ru/> (Дата обращения: 30.04.2026).

12. Федеральная служба по контролю за алкогольным и табачным рынками. Официальный сайт. – URL: <https://fsrar.gov.ru/> (Дата обращения: 30.04.2026).

KANTIMIROVA Diana Marselevna

Student, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky, Russia, Moscow

HIMALETDINOVA Karina Nizametdinovna

Student, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky, Russia, Moscow

Scientific Advisor – Senior lecturer at the Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky Khisamutdinova Guzal Rimovna

SOFTWARE FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF RESTAURANT BUSINESS

Abstract. The article discusses digital control and management programs for the restaurant business. The functions of accounting for sales, inventory balances, product movement, staff work, and reporting are described. Special attention is paid to automation systems "iiko", "r_keeper", "Tillypad", "Contour.Market", the use of which increases the transparency of operations, reduces the number of errors, speeds up guest service and strengthens financial control. Software solutions are related to cash accounting, product labeling and USAIS. This is important for the restaurant business when dealing with food, alcohol, water, dairy products and other product groups. The digital system makes the management of the restaurant business more accurate, more convenient and clearer for the manager.

Keywords: restaurant business, software, automation, iiko, r_keeper, Tillypad, Contour.Market, warehouse accounting, online sales register, personnel management, sales control.

ХАНАФИЕВ Нафис Айратович

студент,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева,
Россия, г. Казань

Научный руководитель – доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева, кандидат технических наук Бикмуллина Ильдсияр Ильдаровна

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА СНИМКАХ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация. В статье проведён сравнительный анализ методов компьютерного зрения для автоматического обнаружения чрезвычайных ситуаций на аэрофотоснимках подстилающей поверхности. Рассмотрены пороговые методы, классические алгоритмы машинного обучения, объектно-ориентированный анализ изображений и современные архитектуры глубокого обучения – детекторы семейства YOLO и сегментационные модели U-Net, DeepLab. Представлена сравнительная таблица по ключевым критериям применительно к мониторингу с БПЛА. Обоснован выбор YOLOv8x для разработки системы обнаружения пожаров, дыма и затоплений, описана математическая модель оценки уровня угрозы и приведён контрольный пример детектирования.

Ключевые слова: компьютерное зрение, детектирование объектов, YOLOv8x, чрезвычайные ситуации, аэрофотоснимки, БПЛА, глубокое обучение, сегментация изображений.

1. Введение

Наращение частоты природных и техногенных катастроф ставит перед системами мониторинга задачу оперативного обнаружения чрезвычайных ситуаций. По данным Всемирной метеорологической организации, в 1970–2021 годах зафиксировано 11778 природных катаклизмов с совокупным экономическим ущербом свыше 4,3 трлн долларов, а ООН констатирует удвоение числа стихийных бедствий за последние двадцать лет [1].

Широкое распространение беспилотных летательных аппаратов открывает новые возможности для мониторинга труднодоступных территорий. Вместе с тем традиционные методы ручного дешифрирования аэрофотоснимков не обеспечивают необходимой оперативности при обработке больших объёмов данных [2]. Методы компьютерного зрения и глубокого обучения предоставляют принципиально новые возможности для автоматизации данного процесса.

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ методов компьютерного зрения применительно к задаче обнаружения ЧС на аэрофотоснимках с БПЛА и обоснование

выбора оптимального подхода для практической реализации интеллектуальной системы мониторинга.

2. Классификация методов обнаружения аномалий

Для автоматического обнаружения ЧС на снимках подстилающей поверхности применяются методы нескольких классов.

Пороговые и спектральные методы основаны на анализе яркостных характеристик пикселей и спектральных индексов (BAI – для пожаров, NDWI – для затоплений). Они просты в реализации, однако чувствительны к условиям освещения и атмосферным помехам, что приводит к значительному числу ложных срабатываний.

Классические методы машинного обучения (SVM, Random Forest) работают с вручную сформированными признаками. Показывают приемлемую точность при работе с мультиспектральными данными, однако пространственная локализация объектов остаётся затруднённой.

Объектно-ориентированный анализ изображений (OBIA) предполагает сегментацию изображения на объекты с последующей

классификацией по спектральным, геометрическим и текстурным характеристикам. Ограничением является необходимость ручной настройки параметров под конкретный тип снимка.

Методы глубокого обучения на основе свёрточных нейронных сетей обеспечивают наилучшие характеристики точности: многоуровневые CNN демонстрируют точность классификации природных катастроф на уровне 99,92% [3], а контекстно-ориентированные архитектуры эффективно обнаруживают изменения даже при ограниченном объёме размеченных данных [4].

3. Анализ алгоритмов детектирования и сегментации

В задачах обнаружения ЧС на аэрофотоснимках применяются два основных класса алгоритмов глубокого обучения: детекторы объектов и архитектуры семантической сегментации.

Двухэтапные детекторы (Faster R-CNN) обеспечивают высокую точность, однако уступают по скорости. Одноэтапные детекторы семейства YOLO выполняют детектирование за

один проход сети. Архитектура YOLOv8x обеспечивает точность свыше 90% при обнаружении дыма лесных пожаров на снимках с БПЛА, что подтверждает её применимость к задаче мониторинга ЧС.

Архитектуры семантической сегментации (U-Net, DeepLab) выполняют попиксельную классификацию и позволяют точно определить границы поражённых зон. Модели U-Net достигают коэффициента Каппа до 90% при сегментации выгоревших территорий [4]. Вместе с тем сегментация требует попиксельной разметки данных и значительно уступает YOLO по скорости инференса.

Методы обнаружения изменений на основе сиамских сетей и трансформеров достигают IoU = 0,815 на датасете Sen1Floods11, однако требуют наличия одновременных снимков одной территории, что ограничивает их применение в оперативных условиях.

4. Сравнительный анализ методов

В таблице представлено сравнение рассмотренных методов по ключевым критериям применительно к задаче обнаружения ЧС на аэрофотоснимках с БПЛА.

Таблица

Сравнение методов анализа изображений подстилающей поверхности

Критерий	Пороговые методы	Классич. ML	ОВИА	Детектирование (YOLO)	Сегментация (U-Net)
Точность обнаружения ЧС	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая (>90%)	Высокая
Локализация объектов	Нет	Частичная	Да	bbox	Маска пикселей
Скорость инференса	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Средняя
Ручная настройка	Да	Да	Да	Нет	Нет
Объём обучающих данных	Не нужен	Малый	Малый	Средний	Большой
Работа в реальном времени	Да	Да	Нет	Да	Нет
Применимость к БПЛА	Ограниченная	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя

Из таблицы следует, что методы глубокого обучения превосходят классические подходы по всем ключевым критериям. Детектирование (YOLOv8x) обеспечивает высокую точность при высокой скорости инференса, тогда как сегментация (U-Net) даёт более точную локализацию зон поражения, но требует большего объёма размеченных данных и вычислительных ресурсов.

Выбор YOLOv8x для задачи оперативного мониторинга ЧС обусловлен: достаточной

точностью для формирования оперативных рекомендаций; высокой скоростью инференса, в том числе на CPU; наличием открытых датасетов bbox-разметки для трёх целевых классов ЧС; простотой интеграции через API библиотеки ultralytics.

5. Заключение

Проведённый сравнительный анализ показал, что методы глубокого обучения превосходят классические подходы по совокупности критериев точности, скорости и применимости

к задаче оперативного обнаружения ЧС на аэрофотоснимках с БПЛА. Среди рассмотренных алгоритмов архитектура YOLOv8x обеспечивает оптимальное соотношение точности и скорости инференса для десктопных систем мониторинга.

На её основе разработана интеллектуальная система, реализующая полный цикл анализа аэрофотоснимка – от предобработки до формирования рекомендаций по реагированию – и обеспечивающая автоматическую оценку уровня угрозы по оригинальной математической модели.

Направлениями дальнейших исследований являются расширение числа поддерживаемых классов ЧС, интеграция с бортовым компьютером БПЛА для анализа в реальном времени, а также поддержка мультиспектральных и тепловизионных данных.

Литература

1. Организация Объединённых Наций. ООН: число природных катастроф выросло в два раза за 20 лет // НАНГС. – 2020. – URL: <https://nangs.org/news/ecology/oon-chislo-prirodnih-katastrof-vyroslo-v-dva-raza-za-20-let-i-eto-ne-predel>.
2. Seidlova A. et al. Interpretation of Remote Sensing Imagery // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 906. – Art. 012070. – DOI: 10.1088/1755-1315/906/1/012070.
3. Aamir M. et al. Natural Disasters Intensity Analysis and Classification Based on Multispectral Images Using Multi-Layered Deep Convolutional Neural Network // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 8. – Art. 2648. – DOI: 10.3390/s21082648.
4. Liu Z. et al. Context-Aware Change Detection With Semi-Supervised Learning. – arXiv:2306.08935. – 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2306.08935>.

KHANAFIEV Nafis Ayratovich

Student, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Russia, Kazan

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Automated Information Processing and Management Systems of Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,
Candidate of Technical Sciences Bikmullina Ilsiyyar Ildarovna*

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTER VISION METHODS FOR AUTOMATIC EMERGENCY DETECTION IN IMAGES OF THE UNDERLYING SURFACE

Abstract. The article provides a comparative analysis of computer vision methods for automatic emergency detection on aerial photographs of the underlying surface. Threshold methods, classical machine learning algorithms, object-oriented image analysis, and modern deep learning architectures such as YOLO family detectors and U-Net and DeepLab segmentation models are considered. A comparative table is presented on key criteria in relation to monitoring from UAVs. The choice of YOLOv8x for the development of a fire, smoke and flood detection system is justified, a mathematical model for assessing the threat level is described, and a control example of detection is given.

Keywords: computer vision, object detection, YOLOv8x, emergencies, aerial photography, UAVs, deep learning, image segmentation.

ХАНИНА Анастасия Игоревна

системный архитектор,

Российский государственный технологический университет имени К. Э. Циолковского,
Россия, г. Москва

ПЛАТФОРМЫ LOW-CODE И NO-CODE

Аннотация. Развитие сферы программирования приводит к появлению новых технологий, поскольку при классической разработке программного обеспечения требуются значительные затраты, в том числе и временные. Платформы Low-code и no-code можно рассматривать как следующий логический шаг в развитии техники программирования. Если раньше разработчик сам разрабатывал интерфейс, логику, структуру базы данных и т. д., используя язык программирования, то теперь многие из этих задач взяли на себя такие фреймворки для разработчиков, как Bootstrap или Laravel. No-code и low-code идет на шаг дальше и значительно сокращает усилия по разработке, позволяя пользователю полностью сосредоточиться на решении проблем и разрабатываемых процессах.

В данной статье рассматриваются эти технологии с разных точек зрения, их преимущества и недостатки, в каком контексте они могут быть наиболее эффективно использованы, описывается использование платформ low-code и no-code определенными компаниями.

Ключевые слова: программирование, код, low-code, no-code, разработка, языки программирования.

Программирование является сложным занятием, требующим достаточно длительного времени и усилий для овладения им с профессиональной точки зрения. В последние годы появились технологии, которые обещают сделать программирование намного проще. Некоторые из этих платформ позволяют разрабатывать приложения с минимальным объемом кода, другие позволяют делать то же самое без необходимости написания кода вообще [1].

No-code и low-code – это сравнительно новые методы разработки, которые позволяют людям разрабатывать собственные приложения или процессы. Как следует из названий, основная идея заключается в том, что это должно быть возможно для людей с небольшим опытом программирования или вообще без него, и что для разработки требуется лишь малая часть обычного времени.

Некоторые считают, что за ними будущее программирования, другие утверждают, что эти платформы могут быть полезны, только если речь идет о разработке некоторых базовых однообразных приложений, но они ограничены, когда речь идет о написании сложных программ, и из-за этого традиционный способ написания программного обеспечения не может быть заменен, по крайней мере, в ближайшее время [1].

Программирование посредством no-code – это способ написания программного

обеспечения без фактического написания кода. Это позволяет людям без опыта программирования возможность разрабатывать приложения, которые традиционно разрабатывались путем написания кода. Это достигается с помощью визуального программирования, где пользователям предоставляется графический пользовательский интерфейс, позволяющий им перетаскивать компоненты для манипулирования кодом [2].

Таким образом, No-code обещает, что разработка программного обеспечения в будущем станет проще и быстрее. Если технически заинтересованные сотрудники смогут самостоятельно оцифровывать процессы без знания программирования, это приведет к сокращению сроков разработки и снизит нагрузку на ИТ-отдел. В будущем роль ИТ-отдела значительно изменится благодаря No-Code, поскольку ему не придется так много беспокоиться о закупке и сопровождении программного обеспечения, а вместо этого он сможет взять на себя контролирующую и стратегическую роль.

В то время как No-Code подразумевает отсутствие необходимости в знаниях программирования, Low-Code позволяет вам частично программировать собственные компоненты, чтобы получить дополнительные строительные блоки для вашего собственного решения.

Оба подхода имеют свои преимущества и недостатки, при том, что и преследуют одну и ту же цель - ускорить и облегчить разработку программного обеспечения.

Можно привести следующие их отличительные особенности:

1. No-Code стремится быть доступным для всех. Low-Code, с другой стороны, в первую очередь ориентирован на разработчиков и людей с базовыми знаниями языка программирования.

2. No-Code работает в основном с drag-and-drop и веб-формами для поддержки пользователя в создании дизайна и программной логики. Low-Code также может использовать рукописный код или пользовательские функции.

3. No-Code определяет большие части конструкции для упрощения работы. С одной стороны, это ограничивает, но с другой - позволяет быстро освоиться. Low-code обеспечивает большую гибкость при проектировании пользовательского интерфейса. В некоторых случаях вы можете добавлять новые элементы или редактировать элементы с помощью собственного кода.

Однако совершенно их разделить невозможно, поскольку различные решения предлагают инструменты как из области low-code, так и no-code.

В целом, даже можно сказать, что платформы no-code – это специализированный тип платформ low-code, в которых необходимые визуальные компоненты выполняют отраслевые функции, определенное направление бизнеса или поддерживают корпоративный бренд конкретной компании.

Платформы low-code, однако, могут потребовать помощи собственных разработчиков для внесения небольших изменений в код бэкенда, чтобы новое приложение соответствовало другим бизнес-программам [3].

Инструменты low-code также нацелены на то, чтобы решить проблему нехватки разработчиков, привлекая людей с нетехническим образованием, которые могут иметь небольшой опыт в программировании.

Low-code описывает использование различных визуальных, гибких и основанных на правилах инструментов разработки и предварительно настроенных элементов для ускорения процесса разработки приложений и прототипирования. Многие аспекты разработки системы могут быть приведены в действие

посредством low-code для устранения избыточности и затрат.

Благодаря инструментам low-code разработчики больше не должны индивидуально кодировать каждый пользовательский интерфейс, рабочий процесс или процедуру нового приложения. Системы могут быть построены с меньшим риском написания кода, и самые опытные разработчики могут сосредоточиться на более сложных задачах [4].

Рассматривая популярность платформ low-code и no-code, можно привести следующие примеры их использования на практике.

Salesforce имеет долгую историю внедрения платформ, ориентированных исключительно на нетехнических бизнес-пользователей, и её решения low-code и no-code не являются исключением. Платформа Salesforce теперь включает в себя ряд инструментов компании, предназначенных для помощи в разработке бизнес-приложений, включая Salesforce Lightning, Force.com, и облачная платформа приложений Salesforce. Мобильный издатель компании позволяет разработчикам публиковать приложения в магазинах приложений Apple и Google [5].

OutSystems рассматривает растущий спрос на непрерывную разработку, предлагая решение, в котором используется искусственный интеллект, чтобы помочь разработчикам создавать приложения с помощью визуальной среды разработки, основанной на моделях. Доступ пользователей основан на персоне, что позволяет разрабатывать на уровне комфорта пользователей, начиная от профессиональных и заканчивая начинающими разработчиками. Сервисы платформы, улучшенные с помощью искусственного интеллекта, обеспечивают автоматизацию для улучшения жизненного цикла приложений. Платформа использует шаблоны, а также настраиваемые приложения [5].

Microsoft Power Apps - основная платформа разработки low-code и no-code от компании Microsoft, предназначена для того, чтобы помочь пользователям создавать мобильные и веб-приложения. Это решение тесно интегрировано с рядом продуктов Microsoft, построенных на Common Data Service, которая подключается к бизнес-данным, хранящимся либо в базовой платформе данных (Microsoft Dataverse), либо в различных сетевых и локальных источниках данных (SharePoint, Microsoft 365, Dynamics 365, SQL Server) [5].

Платформы low-code и no-code имеют много преимуществ, к основным из которых можно отнести:

- Экономия средств;
- Быстрое создание и развертывание приложений;
- Может быть реализована программистами-непрофессионалами или технически заинтересованными людьми;
- Межкомандное сотрудничество;
- Простая интеграция с другими платформами через API;
- Фокус на решении проблем, меньше на дизайне и поверхностях.

Вместе с тем эти платформы имеют и недостатки. При традиционном программировании существует огромный опыт и надежные сообщества. Во многих отношениях платформы low-code/no-code находятся в зачаточном состоянии, хоть разработка, управляемая моделями, и существует уже давно, особенно с платформами по управлению бизнес-процессами [6].

Следует отметить такие основные проблемы для low-code и no-code:

1. Изменение культуры организации: платформы low-code и no-code требуют изменения культуры организации, будь то крупное предприятие или стартап, а это требует видения и одобрения со стороны руководства [7].

2. Изучение платформ требует времени и усилий: no-code и low-code повышают скорость и производительность, но это нелегко. Эти платформы не являются тривиальными, и развитие определенного уровня знаний требует времени. Сложные конструкции программирования, такие как вложенные циклы, не являются простыми на любой платформе [7].

3. Ресурсы и поддержка сообщества ограничены: многие платформы являются относительно незрелыми. Существуют миллионы разработчиков – иногда десятки миллионов – для обычных языков программирования. Многие курсы, книги и материалы легко доступны для таких языков, как Java или C#. Совершенно другой сценарий для платформ low-code и no-code – особенно для более поздних платформ [7].

4. Ценообразование может сбивать с толку: корпоративные платформы low-code и no-code, как правило, неоправданно дороги. Платформы среднего и малого рынка менее затратные, но, как правило, менее масштабируемые. Привлечение нескольких платформ для

комплексного решения еще больше усложняет вопросы ценообразования [7].

Заключение

Платформы без кода предлагают захватывающие возможности для предприятий и команд любого размера. Правильно выбранная платформа дает вашей команде возможность быстро и легко разрабатывать собственные бизнес-процессы. Они помогают повысить инновационность и снизить нагрузку на ваш ИТ-отдел. Можно выделить четыре важные характеристики, которым должна соответствовать платформа no-code:

No-Code – это визуальный метод разработки на основе моделей для моделей данных, бизнес-логики или пользовательских интерфейсов. Так, если в классических языках программирования, например, вы в равной степени начинаете с нуля, то в No-Code вам не нужно об этом думать.

No-Code фокусируется на возможности повторного использования благодаря использованию готовых шаблонов, виджетов, плагинов и компонентов. Они доступны в виде строительных блоков и могут быть использованы напрямую.

No-Code охватывает весь жизненный цикл разработки программного обеспечения. То есть, от разработки и развертывания до последующего расширения приложения.

Последней особенностью является автоматическое предоставление и управление приложением через облако или непосредственно в виде локальной системы. Вместо того чтобы создавать новый сервер для каждого приложения, приложения работают непосредственно на соответствующей платформе.

Платформы, в основе которых лежит концепция low-code, объединяют ИТ и бизнес, обеспечивая быструю разработку и внедрение изменений. Они содержат инструменты визуального моделирования, значительно упрощающие разработку приложений и сокращающие объем кода, необходимого для их создания.

Конечно, low-code и no-code не заменят традиционную разработку приложений, но делают этот процесс проще и доступнее для нетехнических людей. Разработчики всегда будут востребованы, но с платформами low-code и no-code любой, у кого есть хорошая идея, сможет выполнить ее самостоятельно. Эти платформы изменяют разработку приложений в более широкой схеме, позволив процессу работать более эффективно. Не стоит недооценивать такие

основные преимущества данных платформ, как снижение времени на цикл разработки, легкость модификации, прозрачность, наглядность, низкая итоговая стоимость.

Литература

1. Рыков И.А. Что такое low-code/no-code платформа и CRM, CRM+, ERP [Электронный ресурс] / И.А. Рыков // Хабр. – 2019. – URL: <https://habr.com/ru/post/456710/> (дата обращения: 24.04.2021).
2. Иванов С. Что такое no-code и как он устроен [Электронный ресурс] / С. Иванов // Хекслет. – 2020. – URL: <https://ru.hexlet.io/blog/posts/что-такое-no-code-i-kak-on-ustroen> (дата обращения: 24.04.2021).
3. Гутрова О. Нехватку программистов закроют low-code платформы? [Электронный ресурс] / О. Гутрова // CNews Клуб. – 2021. – URL: https://club.cnews.ru/blogs/entry/nehvatku_programmistov_zakroyut_lowcode_platformy_ (дата обращения: 24.04.2021).
4. Глащенко А. Low-code платформы: панацея или рискованная ставка? [Электронный ресурс] / А. Глащенко // Cuba.platform. – 2019. – URL: <https://www.cuba-platform.ru/blog/low-code-platforms-a-dangerous-bet/> (дата обращения: 24.04.2021).

KHANINA Anastasia Igorevna

System Architect,

Russian State Technological University named after K. E. Tsiolkovsky, Russia, Moscow

LOW-CODE AND NO-CODE PLATFORMS

Abstract. *The development of the programming field leads to the emergence of new technologies, since classical software development requires significant costs, including time. Low-code and no-code platforms can be seen as the next logical step in the development of programming techniques. If earlier the developer himself developed the interface, logic, database structure, etc. using a programming language, now many of these tasks have been taken over by developer frameworks such as Bootstrap or Laravel. No-code and low-code go one step further and significantly reduce development efforts, allowing the user to fully focus on problem solving and development processes.*

This article discusses these technologies from different points of view, their advantages and disadvantages, in what context they can be most effectively used, describes the use of low-code and no-code platforms by certain companies.

Keywords: *programming, code, low-code, no-code, development, programming languages.*

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

ГАЛИМОВ Карим Наильевич

магистрант, Красноярский государственный аграрный университет,
Россия, г. Красноярск

*Научный руководитель – доцент Красноярского государственного аграрного университета,
кандидат биологических наук Евтушенко Сергей Викторович*

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ БЛАГОУСТРОЙСТВЕ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. Статья посвящена анализу применения технологий лазерного сканирования при благоустройстве территорий. Рассмотрены современные методы получения пространственных данных, особенности применения наземного, мобильного и воздушного лазерного сканирования, а также преимущества использования данной технологии при проектировании и реконструкции объектов городской среды. Проведён анализ основных этапов выполнения работ и перспектив развития технологий лазерного сканирования в сфере благоустройства территорий.

Ключевые слова: лазерное сканирование, благоустройство территорий, геоинформационные системы, пространственные данные, цифровая модель местности, геодезия.

Благоустройство территорий является одним из ключевых направлений развития современной городской среды. В условиях активной урбанизации, роста плотности застройки и увеличения требований к качеству общественных пространств возрастает необходимость применения современных технологий, обеспечивающих высокую точность и оперативность выполнения инженерно-геодезических работ. Одной из наиболее эффективных технологий получения пространственной информации является лазерное сканирование [4, с. 38-44].

Лазерное сканирование представляет собой метод дистанционного измерения пространственных координат объектов с помощью лазерного луча. В процессе работы специальное оборудование фиксирует расстояния до объектов и формирует облако точек, содержащее подробную информацию о геометрии территории. Полученные данные используются для создания цифровых моделей местности, проектирования объектов благоустройства и мониторинга состояния городской инфраструктуры.

Применение лазерного сканирования при благоустройстве территорий позволяет значительно повысить качество проектных решений.

В отличие от традиционных методов геодезической съёмки технология обеспечивает получение максимально детализированной информации о рельефе местности, расположении зданий, инженерных коммуникаций, зелёных насаждений и других объектов. Это особенно важно при реконструкции существующих территорий, где необходимо учитывать большое количество факторов и ограничений [2, с. 15-22].

В настоящее время выделяют несколько основных видов лазерного сканирования: наземное, мобильное и воздушное. Наземное лазерное сканирование используется преимущественно для обследования парков, скверов, дворовых территорий и инженерных сооружений. Оно обеспечивает высокую точность измерений и позволяет получать детализированные трёхмерные модели объектов.

Мобильное лазерное сканирование применяется для обследования линейных объектов, таких как автомобильные дороги, улицы, пешеходные зоны и транспортная инфраструктура. Сканирующее оборудование устанавливается на транспортное средство, что позволяет выполнять измерения в процессе движения и

значительно сокращать сроки выполнения работ [1].

Воздушное лазерное сканирование выполняется с использованием беспилотных летательных аппаратов или авиационных систем. Данная технология применяется для обследования крупных территорий, создания цифровых моделей рельефа и анализа изменений местности. Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет получать данные в труднодоступных местах и снижать затраты на выполнение геодезических работ.

Одним из главных преимуществ лазерного сканирования является высокая точность пространственных измерений. Технология позволяет фиксировать мельчайшие особенности рельефа и объектов инфраструктуры, что существенно повышает качество проектирования объектов благоустройства. Кроме того, лазерное сканирование обеспечивает высокую скорость получения данных, что особенно важно при выполнении работ в условиях городской застройки [5, с. 41-49].

Большое значение имеет возможность создания цифровых трёхмерных моделей территории. Такие модели используются при разработке проектов благоустройства, реконструкции общественных пространств и организации транспортной инфраструктуры. Трёхмерное моделирование позволяет выполнять визуализацию проектных решений, анализировать размещение объектов и оценивать эффективность использования территории.

Важным направлением применения лазерного сканирования является мониторинг состояния объектов благоустройства. Повторное выполнение сканирования позволяет анализировать изменения территории, выявлять деформации инженерных сооружений и контролировать состояние дорожного покрытия, зелёных насаждений и элементов городской инфраструктуры.

Процесс выполнения лазерного сканирования включает несколько этапов. На подготовительном этапе осуществляется анализ территории, выбор оборудования и определение методов съёмки. Полевой этап предполагает непосредственное выполнение сканирования и получение облака точек. Камеральный этап включает обработку полученных данных, удаление шумов, создание цифровых моделей и подготовку графических материалов.

Несмотря на значительные преимущества технологии, применение лазерного

сканирования связано с рядом трудностей. Одной из основных проблем является обработка больших объёмов данных, требующая использования специализированного программного обеспечения и мощной вычислительной техники. Кроме того, стоимость оборудования и программных комплексов остаётся достаточно высокой.

Важным фактором эффективного применения лазерного сканирования является наличие квалифицированных специалистов, обладающих навыками работы с современными геодезическими приборами, геоинформационными системами и программами обработки пространственных данных. Повышение уровня подготовки специалистов способствует более широкому внедрению современных технологий в сферу благоустройства территорий [3].

Перспективы развития лазерного сканирования связаны с дальнейшей цифровизацией градостроительной деятельности. Интеграция лазерного сканирования с технологиями информационного моделирования и геоинформационными системами позволяет создавать единое цифровое пространство для управления городской средой. Это способствует повышению эффективности проектирования и эксплуатации объектов благоустройства.

Дополнительным преимуществом лазерного сканирования является возможность интеграции полученных данных с технологиями BIM-моделирования (Building Information Modeling). Использование BIM совместно с геоинформационными системами позволяет формировать комплексные цифровые модели городской среды, учитывать особенности рельефа, инженерных сетей и объектов благоустройства ещё на стадии проектирования. Это способствует снижению вероятности проектных ошибок и повышению эффективности реализации строительных и ландшафтных работ.

В последние годы активно развивается применение искусственного интеллекта и автоматизированных алгоритмов обработки облаков точек. Современное программное обеспечение позволяет автоматически распознавать элементы городской инфраструктуры, классифицировать объекты и выполнять анализ состояния территорий. Использование нейросетевых технологий ускоряет обработку данных лазерного сканирования и повышает точность формирования цифровых моделей местности.

Перспективным направлением является использование лазерного сканирования при

создании концепции «умного города». Интеграция данных дистанционного зондирования, систем мониторинга и цифровых платформ управления позволяет оперативно анализировать состояние городской среды, планировать развитие общественных пространств и повышать уровень безопасности городской инфраструктуры. Благодаря высокой детализации пространственных данных органы местного самоуправления получают возможность более эффективно управлять процессами благоустройства и эксплуатации территорий.

Таким образом, лазерное сканирование является современным и эффективным инструментом получения пространственных данных при благоустройстве территорий. Применение данной технологии обеспечивает высокую точность измерений, сокращение сроков выполнения работ, создание детализированных цифровых моделей и повышение качества проектных решений. Дальнейшее развитие технологий лазерного сканирования будет способствовать совершенствованию процессов благоустройства и устойчивому развитию городской среды.

Литература

1. Алексеев А.В. Геодезия и дистанционное зондирование территорий. – М.: Академический проект, 2021. – 312 с.
2. Бойков В.Н., Соловьёв И.П. Лазерное сканирование в инженерных изысканиях // Геодезия и картография. – 2022. – № 4. – С. 15-22.
3. Верещагин С.А. Современные методы трёхмерного моделирования городской среды. – СПб.: Питер, 2020. – 256 с.
4. Гаврилов Д.Ю. Применение ГИС-технологий в благоустройстве территорий // Инженерные изыскания. – 2021. – № 7. – С. 38-44.
5. Жуков Н.И. Информационное моделирование городской среды с применением BIM-технологий // Градостроительство. – 2022. – № 5. – С. 41-49.
6. Иванов А.М., Киселёв П.С. Технологии мобильного лазерного сканирования автомобильных дорог // Вестник СГУТиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 74-82.
7. Петров Е.В., Орлова Т.А. Автоматизация обработки облаков точек в геоинформационных системах // Геоматика. – 2023. – № 2. – С. 27-35.

GALIMOV Karim Nailevich

Master's Student, Krasnoyarsk State Agrarian University, Russia, Krasnoyarsk

*Scientific Advisor – Associate Professor of Krasnoyarsk State Agrarian University,
Candidate of Biological Sciences Evtushenko Sergey Viktorovich*

ANALYSIS OF THE USE OF LASER SCANNING IN LANDSCAPING

Abstract. The article is devoted to the analysis of the use of laser scanning technologies in landscaping. Modern methods of obtaining spatial data, the specifics of using ground, mobile and aerial laser scanning, as well as the advantages of using this technology in the design and reconstruction of urban facilities are considered. The analysis of the main stages of work and prospects for the development of laser scanning technologies in the field of landscaping is carried out.

Keywords: laser scanning, landscaping, geoinformation systems, spatial data, digital terrain model, geodesy.

ГАЛИМОВ Карим Наильевичмагистрант, Красноярский государственный аграрный университет,
Россия, г. Красноярск*Научный руководитель – доцент Красноярского государственного аграрного университета,
кандидат биологических наук Евтушенко Сергей Викторович*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. В статье проведён сравнительный анализ основных видов лазерного сканирования территорий. Рассмотрены особенности наземного, мобильного и воздушного лазерного сканирования, их технические характеристики, точность измерений, производительность, преимущества, недостатки и области применения. Особое внимание уделено сравнительной оценке эффективности использования различных технологий при выполнении инженерно-геодезических изысканий, мониторинге территорий и создании цифровых моделей местности.

Ключевые слова: лазерное сканирование, наземное сканирование, мобильное сканирование, воздушное сканирование, геодезия, цифровая модель местности.

В современных условиях цифровизации инженерных и геодезических работ лазерное сканирование становится одной из наиболее востребованных технологий получения пространственных данных. Высокая точность измерений, скорость выполнения работ и возможность создания детализированных трёхмерных моделей делают данную технологию эффективным инструментом при инженерных изысканиях, строительстве, мониторинге территорий и кадастровых работах [1].

Принцип работы лазерного сканирования основан на измерении расстояния до объекта

при помощи лазерного луча. В процессе измерений формируется облако точек, содержащее пространственные координаты объектов местности. Полученные данные используются для построения цифровых моделей рельефа, трёхмерных моделей зданий и инженерных сооружений.

В настоящее время выделяют три основных вида лазерного сканирования: наземное, мобильное и воздушное. Каждый из них имеет собственные особенности и применяется в зависимости от условий выполнения работ и поставленных задач.

Таблица 1

Сравнение основных видов лазерного сканирования

Параметр	Наземное	Мобильное	Воздушное
Точность	1–5 мм	2–5 см	5–20 см
Производительность	Низкая	Высокая	Очень высокая
Площадь съёмки	Небольшая	Средняя	Крупная
Стоимость работ	Средняя	Высокая	Высокая
Основные объекты	Здания, сооружения	Дороги, улицы	Территории, рельеф
Скорость сбора данных	Средняя	Высокая	Очень высокая

Наземное лазерное сканирование обеспечивает наиболее высокую точность измерений. Оборудование устанавливается на штативе и выполняет последовательное сканирование объектов. Данный метод широко применяется при обследовании фасадов зданий, архитектурных памятников, инженерных сооружений и объектов промышленной инфраструктуры.

Преимуществом наземного сканирования является высокая детализация данных. Полученные облака точек позволяют фиксировать мельчайшие элементы конструкций, деформации и геометрические особенности объектов. Однако данный метод требует значительного времени на выполнение работ и большого количества станций сканирования.

Мобильное лазерное сканирование основано на размещении сканирующего оборудования на транспортных средствах. В процессе движения осуществляется непрерывный сбор пространственных данных. Такая технология особенно эффективна при обследовании автомобильных дорог, железнодорожных путей и городской инфраструктуры [3].

Одним из ключевых преимуществ мобильного сканирования является высокая производительность. За короткий промежуток времени возможно обследование значительных линейных объектов. Однако точность измерений ниже по сравнению с наземным методом из-за вибраций и динамики движения транспортного средства.

Воздушное лазерное сканирование выполняется с использованием авиационных комплексов или беспилотных летательных аппаратов. Технология применяется для обследования крупных территорий, создания цифровых моделей рельефа и мониторинга природных объектов [4, с. 74-82].

Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет существенно снизить затраты на выполнение работ и проводить съёмку в труднодоступных районах. Воздушное сканирование эффективно применяется в лесном хозяйстве, сельском хозяйстве, горнодобывающей промышленности и экологическом мониторинге [5, с. 41-48].

Таблица 2

Преимущества и недостатки различных видов сканирования

Вид сканирования	Преимущества	Недостатки
Наземное	Высокая точность и детализация	Низкая скорость работ
Мобильное	Быстрое обследование линейных объектов	Снижение точности при движении
Воздушное	Съёмка больших территорий	Зависимость от погодных условий

Сравнительный анализ показывает, что выбор метода лазерного сканирования должен осуществляться с учётом требуемой точности, площади обследуемой территории, сроков выполнения работ и экономической эффективности. Для детального обследования объектов наиболее эффективным является наземное сканирование, тогда как мобильные и воздушные системы обеспечивают высокую производительность при работе на крупных территориях.

Перспективы развития технологий лазерного сканирования связаны с совершенствованием программного обеспечения обработки облаков точек, развитием беспилотных авиационных систем и интеграцией технологий с геоинформационными системами и BIM-моделированием [2, с. 15-22].

Современные системы лазерного сканирования активно интегрируются с технологиями искусственного интеллекта и автоматизированной обработки данных. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет ускорить классификацию объектов в облаках точек, автоматически выделять элементы инфраструктуры, растительность, инженерные сети и объекты капитального строительства.

Важным направлением развития лазерного сканирования является интеграция

полученных данных с BIM-технологиями и геоинформационными системами. Использование облаков точек при создании BIM-моделей позволяет значительно повысить точность проектирования и реконструкции объектов капитального строительства. В геоинформационных системах данные лазерного сканирования используются для создания цифровых карт, мониторинга изменений рельефа и анализа пространственных процессов.

Несмотря на высокую стоимость оборудования, применение лазерного сканирования позволяет существенно сократить сроки выполнения инженерно-геодезических работ и снизить количество ошибок при обработке данных. Использование мобильных и воздушных систем особенно эффективно при обследовании протяжённых и труднодоступных территорий, где традиционные методы съёмки требуют значительных трудовых и временных затрат.

Таким образом, различные виды лазерного сканирования обладают собственными техническими особенностями, преимуществами и ограничениями. Комплексное использование данных технологий позволяет значительно повысить эффективность инженерно-геодезических работ и качество пространственных данных.

Литература

1. Алексеев А.В. Геодезия и дистанционное зондирование территорий. – М.: Академический проект, 2021. – 312 с.
2. Бойков В.Н., Соловьёв И.П. Лазерное сканирование в инженерных изысканиях // Геодезия и картография. – 2022. – № 4. – С. 15-22.
3. Верещагин С.А. Современные методы трёхмерного моделирования городской среды. – СПб.: Питер, 2020. – 256 с.
4. Иванов А.М., Киселёв П.С. Технологии мобильного лазерного сканирования автомобильных дорог // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 74-82.
5. Смирнов Е.Л. Применение воздушного лазерного сканирования в инженерных изысканиях // Инженерные исследования. – 2021. – № 6. – С. 41-48.

GALIMOV Karim Nailevich

Master's Student, Krasnoyarsk State Agrarian University, Russia, Krasnoyarsk

*Scientific Advisor – Associate Professor of Krasnoyarsk State Agrarian University,
Candidate of Biological Sciences Evtushenko Sergey Viktorovich*

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF TYPES
OF LASER SCANNING OF TERRITORIES**

Abstract. *The article provides a detailed comparative analysis of the main types of laser scanning of territories. The features of terrestrial, mobile and aerial laser scanning, their technical characteristics, measurement accuracy, productivity, advantages, disadvantages and application areas are considered.*

Keywords: *laser scanning, terrestrial scanning, mobile scanning, aerial scanning, geodesy, digital terrain model.*

КОРОТКОВ Андрей Дмитриевич

магистрант,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург

ТЕПЛООБМЕННИКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА В МАШИННЫХ ЗАЛАХ ЭНЕРГОЦЕНТРОВ: ТИПЫ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ

Аннотация. В статье представлен обзор теплообменного оборудования, применяемого для утилизации тепла вентиляционных выбросов в машинных залах энергоцентров. Рассмотрены три основных типа утилизаторов: пластинчатые рекуператоры, роторные рекуператоры и гликолевые промежуточные контуры. Описаны их устройство, принцип действия, достоинства и недостатки. Проанализированы особенности эксплуатации в условиях машинного зала с газотурбинными установками: высокие температуры уходящего воздуха, наличие масляных аэрозолей, риск обмерзания. Даны практические рекомендации по выбору типа теплообменника в зависимости от режима работы, требований к разделению потоков и экономической целесообразности. Статья предназначена для инженеров-проектировщиков и магистрантов, специализирующихся в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: теплообменник, рекуператор, утилизация тепла, машинный зал, энергоцентр, пластинчатый рекуператор, роторный рекуператор, гликолевый контур, вентиляция, энергосбережение.

1. Введение

Машинные залы энергоцентров, особенно на базе газотурбинных установок (ГТУ), являются мощными источниками тепловыделений. Температура воздуха под перекрытием таких помещений в холодный период может достигать 35–40°C, а расход удаляемого воздуха – десятков тысяч кубометров в час. При этом приточный воздух, подаваемый с улицы, требует подогрева до санитарных норм (не менее +16...+20°C). Традиционно эти два процесса – удаление тепла и нагрев притока – осуществляются раздельно, что ведёт к нерациональному расходу топлива.

Установка теплообменников-утилизаторов позволяет передать часть тепла от вытяжного воздуха к приточному, снижая нагрузку на калориферы. Однако выбор подходящего типа теплообменника – непростая задача, так как машинные залы имеют свою специфику: высокие температуры, переменный режим работы, возможное присутствие масел и других загрязнений, а также жёсткие требования к пожарной безопасности.

Цель данной статьи – систематизировать информацию об основных типах теплообменников, используемых в системах вентиляции машинных залов, и дать практические рекомендации для проектирования.

2. Общая характеристика теплообменников-утилизаторов

Все утилизаторы делятся на две большие группы:

- Рекуперативные – тепло передаётся через разделительную стенку (пластину, трубку) без контакта потоков;
- Регенеративные – тепло аккумулируется в насадке, которая попеременно омывается то вытяжным, то приточным воздухом (роторные рекуператоры).

В машинных залах энергоцентров применяются в основном три типа аппаратов:

1. Пластинчатые (перекрестноточные) рекуператоры;
2. Роторные (регенеративные) рекуператоры;
3. Гликолевые промежуточные контуры (Run-Around Coil).

Каждый из них имеет свою область применения, преимущества и недостатки, которые будут рассмотрены ниже.

3. Пластинчатые рекуператоры

3.1. Устройство и принцип работы

Пластинчатый рекуператор представляет собой пакет из тонких металлических (обычно алюминиевых) или полимерных пластин, между которыми чередуются каналы для приточного и вытяжного воздуха. Пластины могут

быть гладкими или гофрированными. Потоки движутся перекрёстно (реже – противотоком) и не смешиваются. Тепло передаётся через стенку пластины.

В машинных залах такие рекуператоры обычно устанавливают в вытяжном канале перед выбросом на улицу, а приточный канал подключают параллельно. Для защиты от загрязнений предусматривают фильтры перед рекуператором.

3.2. Преимущества:

- Отсутствие перетоков воздуха – полная герметичность, что важно при наличии вредных выбросов (например, утечек газа или масел).
- Нет движущихся частей – высокая надёжность, минимальное обслуживание (только периодическая очистка пластин).
- Низкая стоимость по сравнению с роторными и гликолевыми аналогами.
- Компактность – при достаточно высокой эффективности.

3.3. Недостатки и ограничения:

- Обмерзание при температурах наружного воздуха ниже $-10\ldots-15^{\circ}\text{C}$. Образующийся иней блокирует каналы, резко увеличивая сопротивление и снижая эффективность. Требуется системы удаления льда (байпас или подогрев).
- Невозможность передачи влаги – только явное тепло, что в ряде случаев приводит к излишней сухости приточного воздуха.
- Фиксированная эффективность – её нельзя оперативно регулировать (только байпасированием).
- Чувствительность к загрязнению – масляные аэрозоли могут заклеивать каналы.

3.4. Применение в машинных залах

Пластиначатые рекуператоры рекомендуют для машинных залов, где:

- Вытяжной воздух не содержит агрессивных или токсичных примесей (допускаются масляные аэрозоли в небольших количествах);
- Зимние температуры не опускаются ниже -15°C (или имеется возможность организовать подогрев притока);
- Важно минимальное капитальное вложение.

4. Роторные рекуператоры

4.1. Устройство и принцип работы

Роторный рекуператор (или регенеративный теплообменник) состоит из вращающегося цилиндрического ротора, заполненного

гофрированной металлической насадкой. Ротор разделён на два сектора – проход для приточного и вытяжного воздуха. При вращении (обычно 10–20 об/мин) насадка нагревается вытяжным воздухом, затем переносится в секцию притока и отдаёт тепло.

Ротор может быть изготовлен из алюминия, стали или специального гигроскопичного материала (для передачи влаги – энтальпийные роторы).

4.2. Преимущества:

- Высокая эффективность – достигает 75–85%, что значительно снижает затраты на догрев.
- Возможность передачи влаги (при использовании энтальпийной насадки) – улучшает микроклимат зимой, снижая сухость воздуха.
- Регулируемая эффективность – изменением скорости вращения можно адаптироваться к разным режимам.
- Компактность – при той же производительности ротор занимает меньше места, чем пластиначатый рекуператор.
- Стойкость к обмерзанию – поскольку ротор постоянно вращается, лёд не успевает нарастать; при сильных морозах достаточно снизить скорость.

4.3. Недостатки и ограничения:

- Частичное смешение потоков – до 3–5% воздуха перетекает из вытяжки в приток. Это критично, если вытяжной воздух содержит токсичные вещества (газ, аммиак, органические растворители).
- Движущиеся части требуют периодического обслуживания (подшипники, ремень, электродвигатель), увеличивают эксплуатационные расходы.
- Более высокая стоимость по сравнению с пластиначатыми аналогами.
- Потребление электроэнергии на вращение (обычно 0,5–2 кВт).

4.4. Применение в машинных залах:

- Роторные рекуператоры – оптимальный выбор для энергоцентров с ГТУ, если:
- Вытяжной воздух не содержит опасных;
- Требуется максимальная экономия тепла;
- Допустимо небольшое смешение потоков (менее 5%);
- Есть возможность регулярного технического обслуживания.

5. Гликолевые промежуточные контуры (Run-Around Coil)

5.1. Устройство и принцип работы

Система состоит из двух воздушных теплообменников (калориферного типа) – один устанавливается в вытяжном канале, другой – в приточном. Они соединены замкнутым трубопроводом с циркуляционным насосом и расширительным баком. В качестве теплоносителя используется водный раствор этиленгликоля или пропиленгликоля (незамерзающая жидкость). Тепло от вытяжного воздуха передаётся гликолю, который затем отдаёт его приточному воздуху.

5.2. Преимущества:

- Полное разделение потоков – воздух не контактирует с теплоносителем, перетоки полностью отсутствуют.
- Гибкость монтажа – приточный и вытяжной блоки могут быть удалены друг от друга на десятки метров (например, в разных крыльях здания).
- Отсутствие обмерзания – гликоль имеет низкую температуру замерзания, поэтому каналы не будут забиваться льдом.
- Простота автоматизации – регулирование можно осуществлять отключением насоса или направлением части жидкости в обход теплообменника через байпас.
- Возможность подключения нескольких вытяжных и приточных агрегатов к одному контуру.

5.3. Недостатки и ограничения:

- Очень низкая эффективность – иногда достигает 40% из-за двойной теплопередачи (воздух-гликоль-воздух).
- Дополнительные потери давления в двух теплообменниках.
- Потребление электроэнергии насосом.
- Необходимость обслуживания (контроль уровня и состава гликоля, проверка насоса, удаление воздуха из системы).
- Более высокие капитальные затраты (два теплообменника, насос, трубы, расширительный бак).

5.4. Применение в машинных залах

Гликолевый контур рекомендуется в следующих случаях:

- Вытяжной воздух содержит агрессивные вещества (пары кислот, масляный туман, газ), и смешение с притоком недопустимо;
- Приточная и вытяжная установки расположены далеко друг от друга (более 10 м) или между ними есть капитальные стены;

- Холодный климат (ниже -20°C) и пластинчатый рекуператор будет постоянно обмерзать;

- Требуется минимальные вмешательства в существующую систему воздуховодов.

- Например, подойдет для машинного зала компрессорной станции, где вытяжка содержит остатки смазочных масел.

6. Особенности эксплуатации в машинных залах энергоцентров

6.1. Высокая температура вытяжного воздуха

В машинных залах с ГТУ температура воздуха рядом с установками может достигать $35-40^{\circ}\text{C}$ даже зимой. Это повышает полезный температурный напор и увеличивает эффективность утилизаторов, особенно роторных и пластинчатых.

6.2. Наличие масляных аэрозолей

Газотурбинные установки часто имеют системы смазки, которые выделяют мелкодисперсный масляный туман. Масло может оседать на пластинах рекуператоров или на роторной насадке, снижая теплопередачу и увеличивая сопротивление. Рекомендуется устанавливать фильтры тонкой очистки перед теплообменником, а также предусматривать возможность регулярной промывки.

6.3. Периодический режим работы

Вентиляция машинного зала может работать не круглосуточно, а только в часы присутствия персонала или при определённых тепловых нагрузках. Для таких режимов лучше подходят рекуператоры с быстрым выходом на режим рекуперации тепла (роторные или пластинчатые), поскольку гликолевый контур имеет тепловую инерцию.

6.4. Пожарная безопасность

При выборе материала теплообменника необходимо учитывать требования пожарной безопасности. Алюминиевые пластины и стальные роторы устойчивы к возгораниям. Полимерные пластины (для агрессивных сред) могут быть менее огнестойкими.

7. Рекомендации по выбору

Исходя из анализа, можно предложить следующий алгоритм выбора типа утилизатора для машинного зала энергоцентра:

- Оцените состав вытяжного воздуха. Если присутствуют токсичные или агрессивные вещества – выбирайте пластинчатый рекуператор (при отсутствии сильных морозов) или гликолевый контур. Если воздух чистый – рассмотрите роторный как самый эффективный.

- Учитывайте климат. При частых отрицательных температурах пластинчатый рекуператор будет требовать дорогой системы удаление льда с рекуператора – лучше предпочесть роторный или гликолевый.

- Оцените расстояние между приточным и вытяжным агрегатами. Если есть стена или расстояние слишком большое между вентиляционными установками – гликолевый контур практически не имеет альтернатив.

- Сравните стоимость. При равных условиях пластинчатый рекуператор даёт самую быструю окупаемость, но роторный – большую абсолютную экономию энергии в долгосрочной перспективе.

- Проверьте возможность обслуживания. Если на объекте нет квалифицированного персонала – предпочтите пластинчатый или гликолевый с минимумом движущихся частей.

8. Выводы

Теплообменники-утилизаторы являются эффективным средством снижения энергопотребления систем вентиляции машинных залов энергоцентров. Каждый из рассмотренных типов – пластинчатый, роторный и гликолевый – имеет свою область применения.

Пластинчатые рекуператоры хороши для умеренного климата, чистого воздуха и ограниченного бюджета.

Роторные рекуператоры обеспечивают максимальную экономию тепла и подходят для

холодных регионов при отсутствии токсичных примесей.

Гликолевые контуры незаменимы при необходимости полного разделения потоков или при удалённом расположении агрегатов.

При проектировании следует учитывать не только эффективность, но и эксплуатационные затраты, риск обмерзания, требования к обслуживанию и пожарную безопасность. Правильно выбранный теплообменник позволяет снизить годовое потребление тепла на 60–80 % и окупается в течение 1–3 лет.

Литература

1. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Минстрой России, 2020.
2. Крупнов Б.А. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2021.
3. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. – Atlanta: ASHRAE, 2020. – Chapter 26: Heat Recovery.
4. Рекомендации по применению роторных рекуператоров в системах вентиляции промышленных зданий. – М.: НИИ Сантехники, 2019.
5. Кузнецов Н.И., Свистунов В.М. Энергоэффективность утилизации тепла вентиляционных выбросов машинных залов // Энергосбережение. – 2022. – № 4. – С. 22–29.

KOROTKOV Andrey Dmitrievich

Master's Student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, St. Petersburg

HEAT EXCHANGERS FOR HEAT RECOVERY IN THE MACHINE ROOMS OF ENERGY CENTERS: TYPES, PRINCIPLES OF OPERATION, AND SELECTION RECOMMENDATIONS

Abstract. The article provides an overview of heat exchange equipment used for heat recovery of ventilation emissions in the engine rooms of energy centers. Three main types of reclaimers are considered: plate recuperators, rotary recuperators, and glycol gap circuits. Their structure, principle of operation, advantages and disadvantages are described. The features of operation in the conditions of a gas turbine engine room are analyzed: high exhaust air temperatures, the presence of oil aerosols, and the risk of freezing. Practical recommendations are given on choosing the type of heat exchanger depending on the operating mode, flow separation requirements and economic feasibility. The article is intended for design engineers and undergraduates specializing in heating, ventilation and air conditioning.

Keywords: heat exchanger, heat recovery, engine room, energy center, plate heat recovery, rotary heat recovery, glycol circuit, ventilation, energy saving.

МАЛЫЦЕВ Алексей Евгеньевич

магистрант,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург

РАСЧЕТ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗДУШНОГО РЕЖИМА КРЫТОГО ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАСЕЙНА

Аннотация. В статье рассматривается расчет теплового баланса на основе тепло- и влагопоступлений и тепловых потерь, а также определение расчетного расхода воздуха на ассимиляцию вредностей для двух периодов года. По известному расходу воздуха подбираются воздухораспределительные устройства (ВР), затем определяется скорость истечения воздуха через живое сечение каждого ВР.

Ключевые слова: крытые плавательные бассейны, ассимиляция вредностей, CFD-моделирование, воздухораспределитель, тепловой баланс, воздухообмен, тепловоздушный режим, скорость истечения воздуха.

Введение

В качестве метода исследования тепловоздушного режима крытого плавательного бассейна следует применить численное моделирование реальных физических процессов, происходящих в помещении во время эксплуатации в холодный период года, как наиболее важный с точки зрения возникновения сквозняков.

Для CFD-моделирования необходимо построить геометрическую 3D модель реального помещения крытого плавательного бассейна, например, в программном комплексе для автоматизированного проектирования CAD.

Для получения численного решения необходимо задаться условиями на границах расчетных областей помещения бассейна. Под граничными условиями понимаются гидродинамические и теплофизические параметры, например скорость истечения воздуха из воздухораспределителя, его относительная влажность, температура, коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций, температуры поверхности обходных дорожек, зеркала воды и другие параметры. Модель, полученная методом численного моделирования, является цифровым образом физических процессов.

Задачей исследования является определение истинного значения скорости движения воздуха в рабочей зоне плавательного бассейна при применении схемы воздухораспределения

«снизу-вверх» через щелевые диффузоры, установленные вдоль остекления.

В связи с вышеизложенным, необходимо определить тепло- и влагопоступления в помещении бассейна, учесть тепловые потери и составить тепловой баланс помещения для дальнейшего определения расхода и температуры приточного воздуха через каждый щелевой диффузор и скорость истечения воздуха через него.

Построение геометрической модели

Для построения виртуальной геометрической модели использован программный комплекс SolidWorks.

При построении геометрии учтены следующие условия:

1. Количество пловцов принимается 10 человек;
2. Площадь помещения бассейна 207,9 м²;
3. Площадь зеркала воды 68,9 м²;
4. Площадь обходных дорожек 139 м²;
5. Количество световых проемов и их геометрические характеристики по каждой стороне света;
6. Переменная отметка скатной кровли.

После построения геометрической модели плавательного бассейна в программном комплексе SolidWorks (рис. 1) необходимо определить исходные данные для дальнейшего моделирования.

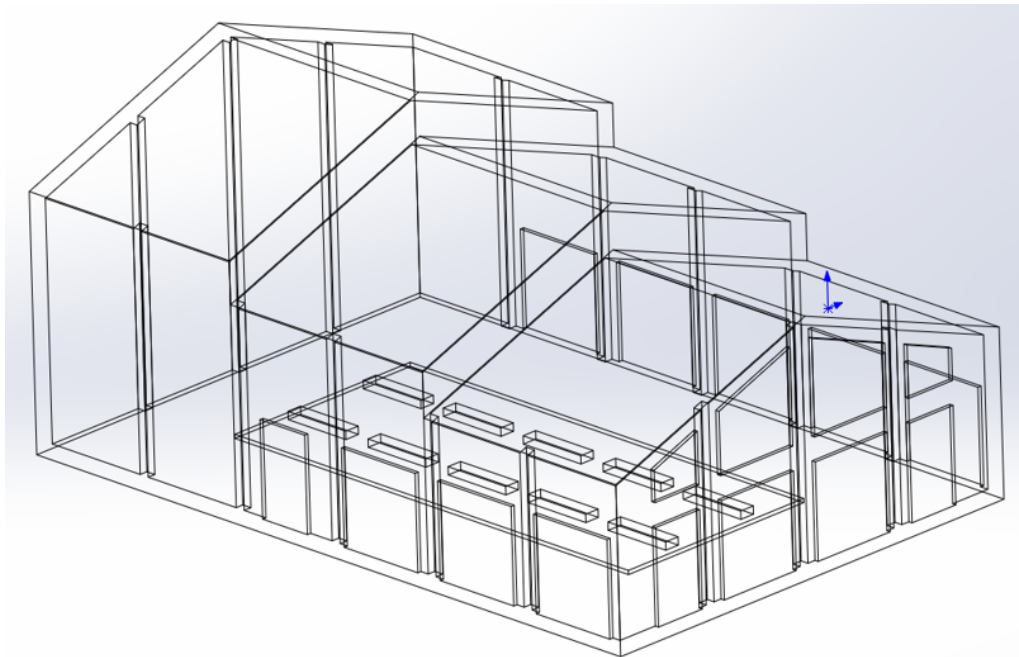


Рис. 1. Геометрическая модель объекта исследования

Баланс вредностей

В балансе вредностей необходимо учесть все тепло- и влагопоступления в теплый и холодный периоды года, а также учесть тепловые потери через ограждающие конструкции для

холодного периода. Тепловой поток от поверхностного обогрева обходных дорожек покрывает тепловые потери через ограждающие конструкции только на 40% и составляет 4170 Вт из 10492 Вт требуемого (рис. 2).

Строительный материал №	Обозначение слоев	Толщина м	Ширина м	Лямбда Вт/(м·К)
	Цементная стяжка	0.0700		1.200
	RAUTHERM S 17 x 2.0	0.0170		
	REHAU-Тепло и звукоизоляционные маты 30-2 мм PSTK	0.0300		0.040
	Обычный бетон	0.1800		2.100

Рис. 2. Материалы конструкции обходных дорожек

- В тепловой баланс помещения бассейна входят следующие теплопоступления:
- 1. От осветительных приборов в холодный период года $Q_{осв}$;
 - 2. От солнечной радиации через световые проемы для расчетного часа в теплый период года Q_p ;
 - 3. Через покрытие кровли в теплый период года Q_n ;
 - 4. Поступления явной теплоты от обходных дорожек в теплый и холодный периоды года $q_{я.о.д.}$;

- 5. Поступления явной теплоты от пловцов в теплый и холодный периоды года $Q_{пл}$;
- 6. Поступления скрытой теплоты с поверхности зеркала воды в теплый и холодный периоды года $Q_{скр.б.}$;
- 7. Поступления скрытой теплоты от обходных дорожек в теплый и холодный периоды года $Q_{скр.о.д.}$;
- 8. Поступления скрытой теплоты пловцов в теплый и холодный периоды года $Q_{скр.пл.}$.

Для определения поступления скрытой теплоты необходимо определить следующие влаговыделения в помещении бассейна:

1. От пловцов для теплого и холодного периодов года $W_{пл}$;
2. С поверхности зеркала воды для теплого и холодного периодов года W_6 ;
3. С обходных дорожек для теплого и холодного периодов года $W_{од}$.

В качестве тепловых потерь рассматриваются следующие величины:

1. Явные теплопотери через ограждающие конструкции $Q_{о.к.}$;
2. Явные теплопотери на нагрев ванны бассейна $q_{я.в.}$.

После расчета вредностей для дальнейшего определения расхода воздуха необходимо найти тепло-влажностное отношение ε для каждого периода года. Результат расчета баланса вредностей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Баланс вредностей в расчетном помещении

Наименование помещения	Периоды года	Теплоизбытки			Влаговыделе- ния, кг/ч	Угловой ко- эффициент, ε кДж/кг
		Явные		Полные, Вт		
		Вт	Вт/м²			
1	3	4	5	6	7	8
Плавательный бассейн	Теплый	9913	48	21490	16,41	4715
	Холодный	-6144	-30	9533	22,45	1529

Как можно заметить из таблицы 1, в теплый период года преобладают теплоизбытки, а в холодный период – влагоизбытки, т. к. происходит более интенсивное испарение воды. К тому же, следует отметить, что в холодный период имеют место недостатки явной теплоты, поэтому зимой климатическая установка будет работать в режиме воздушного отопления.

Расчет воздухообмена

Согласно [2] удельный расход воздуха составляет 80 м³/ч на одного занимающегося, отсюда минимальный расход наружного воздуха $L_H = 80 \cdot 10 = 800$ м³/ч.

Параметры наружного воздуха принимаются согласно [3], а внутреннего воздуха в помещении бассейна согласно [2].

Параметры приточного и вытяжного воздуха для теплого и холодного периодов года представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

В результате расчета воздухообмена объемный расход воздуха в теплый период равен $L_{тп} = 5509$ м³/ч, а в холодный период $L_{хп} = 1653$ м³/ч.

Как можно заметить, нормативный расход воздуха почти в 7 раз меньше расчетного расхода для теплого периода и в 2 раза меньше расхода для холодного.

Таблица 2

Параметры воздуха в теплый период года

Точки	Температура t , °C	Удельная энтальпия i , кДж/кг	Влагосодержание d , г/кг	Относительная влажность φ , %
В	28	64,58	14,25	60,0
У	29	66,80	14,71	58,41
П	24	55,0	12,11	64,83
Н	27	67,0	15,60	69,50

Таблица 3

Параметры воздуха в холодный период года

Точки	Температура t , °C	Удельная энтальпия i , кДж/кг	Влагосодержание d , г/кг	Относительная влажность φ , %
В	28,0	58,42	11,83	50
У	26,1	61,46	13,80	65
П	38,8	43,09	1,52	3,57
Н	-7,0	-3,30	1,52	73

Расчет скорости истечения воздуха

Согласно [1], выбрана конструкция воздухо-распределителей при их размещении вдоль остекления. Суммарная длина составляет 27,2 м, из 13 щелевых диффузоров 10 имеют длину 2,3 м и 3 диффузора длиной 1,4 м.

По расчетному расходу в теплый период $L_{\text{тп}} = 5509 \text{ м}^3/\text{ч}$, согласно [1], принимается диффузор с двумя щелями шириной 10 мм с

расходом воздуха на 1 м длины $L_d = 216 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$. После выбора воздухо-распределительного устройства (ВР) и определения расхода воздуха на 1 м его длины, следует вычислить расходы воздуха для двух периодов года для диффузоров с длинами 2,3 м и 1,4 м и определить скорость истечения воздуха через них (табл. 4).

Таблица 4

Результаты расчета

Период года	Длина ВР, м	Площадь живого сечения, м^2	Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	Скорость истечения воздуха, м/с
Теплый	2,3 м	0,046	466	2,8
	1,4 м	0,028	284	2,8
Холодный	2,3 м	0,046	140	0,85
	1,4 м	0,028	85	0,85

Как можно заметить, вид щелевых диффузоров подобран для теплого периода, как по наибольшему расходу, однако моделирование будет выполняться для холодного. По причине того, что в холодный период года требуется расход воздуха для ассимиляции вредных в 3 раза меньше, чем в теплый период, скорость истечения воздуха через ВР по расчету оказалась меньше 1 м/с. После численного моделирования может выясниться, что при такой скорости обеспечить оптимальный микроклимат в помещении бассейна не является возможным. В таком случае необходимо будет принять меры по модернизации системы.

Заключение

После построения виртуальной геометрической модели реального помещения бассейна, а также, определения баланса вредных и расчетного воздухообмена, стало возможным определение температуры и скорости приточного воздуха для каждого периода года при

истечении из выбранных воздухо-распределителей. Эти параметры являются важной частью граничных условий для CFD-моделирования тепловоздушного режима крытого плавательного бассейна и определения истинного значения скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Литература

1. Р НП «АВОК» 7.5-2020. Нормы проектирования: рекомендации. Обеспечение микроклимата и энергосбережение в крытых плавательных бассейнах. – Москва: АВОК, 2020. URL: [https://ventilyatsiya.info/wp-content/uploads/2023/09/abok_pool.pdf].
2. Бассейны для плавания. Правила проектирования: Свод правил. СП 310.1325800.2017. – Москва: Стандартинформ, 2017.
3. СП 131.13330.2025. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Минстрой России, 2025.

MALTSEV Alexey Evgenievich

Master's Student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, St. Petersburg

CALCULATION OF BOUNDARY CONDITIONS FOR CFD MODELING OF THE THERMAL AIR REGIME OF AN INDOOR SWIMMING POOL

Abstract. The article considers the calculation of the heat balance based on heat and moisture consumption and heat losses, as well as the determination of the estimated air consumption for the assimilation of harmful substances for two periods of the year. According to the known air flow, air distribution devices (VPS) are selected, then the rate of air flow through the living section of each BP is determined.

Keywords: indoor swimming pools, assimilation of hazards, CFD modeling, air distributor, thermal balance, air exchange, thermal air regime, air flow rate.

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 22 (308)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

Учредитель и издатель: ООО «Агентство перспективных научных исследований»

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

Email: info@apni.ru

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 03.06.2026г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40