



НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

Перечень услуг:

- проектирование и расчет: строительных конструкций, оснований и фундаментов, зданий и сооружений любой сложности и назначения, дополнительных этажей и новых объемов, инженерных сетей, предприятий водоподготовки, водоотведения, пневматических ручных и навесных машин ударного действия на любые параметры;
- комплексные натурные исследования оснований, фундаментов, надземных несущих и ограждающих конструкций, разработка рабочей документации по реконструкции и обеспечению дальнейшей надежной и безопасной эксплуатации зданий и сооружений;
- разработка градостроительной документации (генеральных планов, проектов планировки, проектов застройки), выполнение проектов интерьеров зданий, предметной среды, ландшафтного дизайна;
- геодезические работы – съемку подземных, наземных и надземных сооружений, создание специальных геодезических сетей на строительной площадке, геодезический контроль точности выполнения строительных работ, определение осадок и кренов зданий и сооружений;
- разработка мероприятий и технической документации по улучшению акустических характеристик концертных залов, студий, общественных и офисных помещений;
- проведение экспертизы проектной и проектно-сметной документации, качества выполнения строительных работ;
- выявление новых возможностей предприятия в условиях конкуренции, разработка деловых (хозяйственных), экологических паспортов предприятий, бизнес-планов инвестиционных проектов;
- обследование предприятий на соответствие международным стандартам ИСО серии 9000, осуществление подготовки организаций к сертификации; проведение социологических исследований;
- разработка программного обеспечения для решения инженерных задач;
- консультации по вопросам ценообразования и сметного дела, совершенствования управления предприятием, залогового и ипотечного кредитования;
- обучение по всем видам деятельности юрисдикции Госстроя.

**630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
E-mail: ntio@sibstrin.ru
Internet: nauka.sibstrin.ru/trudy/
Телефоны: (383) 266-28-39, 266-25-27
Факс: (383) 266-40-94**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)**

ТРУДЫ НГАСУ

Т. 24, № 1/2 (79/80)

НОВОСИБИРСК 2021

Редакционная коллегия

Главный редактор – д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН
Ю.Л. Сколубович

Заместитель

главного редактора – д-р физ.-мат. наук, доцент Ю.А. Чиркунов

Заместители главного редактора по направлениям:

д-р техн. наук, доцент В.В. Молодин – строительство
д-р техн. наук, доцент В.В. Адищев – точные и естественные науки
д-р техн. наук, профессор Л.В. Ильина – строительные материалы
канд. архитектуры, доцент А.А. Гудков – архитектура
д-р экон. наук, доцент А.Б. Коган – общественные и экономические
науки в строительстве

Ответственный секретарь: А.В. Кругликова

Члены редколлегии:

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (НИУ МГСУ) П.А. Акимов
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (СПбГАСУ) М.И. Алексеев
д-р физ.-мат. наук, профессор, академик РАН (ИГиЛ СО РАН) Б.Д. Аннин
д-р физ.-мат. наук, доцент С.М. Аульченко
д-р физ.-мат. наук, доцент А.А. Белкин
д-р техн. наук, профессор (СГУВТ) Ю.И. Бик
д-р физ.-мат. наук, профессор (ИМ СО РАН) С.К. Водопьянов
д-р техн. наук, доцент Е.Л. Войтов
д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.Е. Воскобойников
д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН (НИИСФ РААСН) В.Г. Гагарин
д-р техн. наук, профессор Г.И. Гребенюк
д-р техн. наук, профессор В.В. Дегтярев
д-р физ.-мат. наук, профессор (ИМ СО РАН) Г.В. Демиденко
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (МГУ им. Н.П. Огарева) В.Т. Ерофеев
д-р ист. наук, профессор Ю.И. Казанцев
д-р физ.-мат. наук, профессор (ИТПМ СО РАН) С.П. Киселев
д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН (БГТУ им. В.Г. Шухова) В.С. Лесовик
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (ТГАСУ) Л.С. Ляхович
д-р филос. наук, профессор И.Г. Митченков
д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН (СПбГАСУ) В.И. Морозов
д-р техн. наук (ИТ СО РАН) М.И. Низовцев
д-р экон. наук, профессор (ИРНИТУ) В.В. Пешков
д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН (НИИСФ РААСН) В.И. Римшин
д-р физ.-мат. наук, профессор В.Я. Рудяк
д-р техн. наук, профессор (ИГД СО РАН) В.М. Серяков
д-р техн. наук, профессор (ТГАСУ) Н.А. Цветков
д-р техн. наук, профессор (ИРНИТУ) В.Р. Чупин

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО

Гармакова М.Е., Пичейкин П.В., Чугаев М.Ю.	
Оценка возможности использования реки Талушки в энергетических целях	5
Гармс Е.В., Горшкова К.Е., Лазарев А.А.	
Метод группового анализа дифференциальных уравнений для прогнозирования режима прогрева бетонных конструкций	12
Котков Р.В., Мороз А.А.	
«Рельсовая» технология монтажа модульных конструкций высотных зданий	22
Столяров Н.Н., Сухих А.Д., Табанюхова М.В.	
Остаточные напряжения в моделях при печати на 3D-принтере	48

АРХИТЕКТУРА

Искра А.С., Акимова М.И.	
Анализ зарубежного и отечественного опыта реконструкции зданий центральных тепловых пунктов	55
Чебакова А.А., Карелин Д.В.	
Влияние параметров плотности застройки на комплексное развитие городских территорий....	69

ТОЧНЫЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Бельмеев Н.Ф.

Подмодели трансверсально-изотропной
упругой среды, описывающие поведение
вечномерзлых грунтов как оснований зданий
и сооружений.....76

Миренков В.Е., Савченко А.В.

Некорректные задачи при расчете сооружений.....93

Соппа М.С.

Вычисление диаграмм рассеяния в обратных
задачах дифракции электромагнитных волн.....100

ОБЩЕСТВЕННЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Алабугин В.В.

Основы оценки эффективности
деятельности управляющих компаний112

Бауэр В.П., Коган А.Б.

Экономические основы разработки
компьютерного дидактического курса
по военной топографии118

Шкредова А.А., Геронимус В.В.

Основные особенности хранения, обработки
и передачи информации в современных
научных библиотеках122

УДК 621.311.21:627.4/.8

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКИ ТАЛУШКИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

М.Е. Гармакова^{*}, П.В. Пичейкин^{}, М.Ю. Чугаев^{**}**

В статье отражены результаты гидрометрических изысканий, проведенных в Искитимском районе в с. Легостаево на р. Талушке и водопаде Бучило. Произведено визуальное обследование р. Талушки, выполнены промерные работы. С помощью поверхностных поплавков измерены скорости течения. В ходе выполнения расчетов установлен гидроэнергетический потенциал р. Талушки.

Ключевые слова: малые реки, гидроэнергетический потенциал, малая гидроэнергетика

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-5-11

Введение

В рамках проекта «Шагаем вместе» были проведены обследования реки Талушки, протекающей в Искитимском районе, с. Легостаево.

Актуальность работы состоит в проведении гидрометрических изысканий ранее не изученного водотока, определении возможности его энергетического потенциала и создании микрогидроэлектростанции (микроГЭС) для выработки электроэнергии. МикроГЭС являются относительно малозатратными при строительстве и последующей эксплуатации, а также экологически менее опасными, чем крупные гидротехнические сооружения. Новизна исследования заключается в расчете гидроэнергетического потенциала ранее не исследованной реки Талушки и доказательстве реальной возможности использования

^{*} Ассистент кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Студент НГАСУ (Сибстрин)

микроГЭС, сооруженных на малых водотоках в сибирских регионах.

1. Постановка задачи

Цель данного исследования – определение энергетического потенциала реки Талушки. Данная река относится к бассейну Оби, является правым притоком реки Берди [1]. Длина Талушки 9 км. На ней есть естественный пруд и водопад. Высота водопада приблизительно 5 м, ширина русла 1,5 м.

Достижение указанной цели обусловило необходимость постановки и решения следующих задач:

- 1) провести полевые работы, которые включают визуальное обследование реки Талушки и водопада Бучило;
- 2) разбить гидрометрические створы;
- 3) измерить уровень воды;
- 4) выполнить промерные работы в створах;
- 5) определить скорость течения.

2. Результаты расчетов

В результате визуального обследования было установлено, что пойма реки Талушки заросла водной растительностью, сорняками (рис. 1, 2). Русло реки сильно заилилось, обнаружено множество поваленных и аварийных деревьев. Безопасные подходы к воде отсутствуют, поскольку берега заилены, заторфованы и недоступны для пеших прогулок.



Рис. 1. Иловые отложения в русле



Рис. 2. Берега, заросшие сорняком

Для выполнения промерных работ было оборудовано 15 временных свайных водомерных постов. В каждом створе

произведены измерения уровня воды с помощью водомерной рейки и построены профили промерных створов (рис. 3).

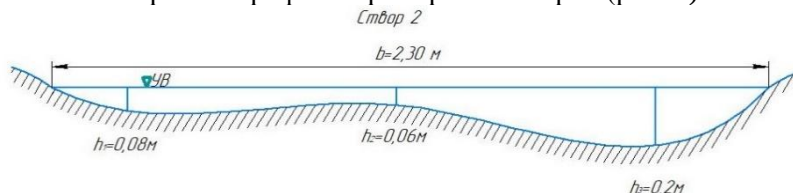


Рис. 3. Профиль реки Талушки для створа 2:
 b – ширина реки в створе; h – глубина реки в створе
на промерных вертикалях

Скорость течения измерялась с помощью поверхностных поплавков, ввиду простоты их применения и небольшой глубины реки. Результаты измерений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Определение средней скорости потока

Поплавок	Место прохождения поплавка от постоянного начала, м		Продолжительность хода, с	Скорость поплавка, м/с
	створ 1	створ 2		
1	5	10	25	0,40
2	5	10	27	0,37
3	5	10	27,1	0,37
Среднее значение				0,38

Так как Талушка относится к неизученным рекам, определение среднегогодового расхода производилось по реке-аналогу [2], в качестве которой выбрана Бердь.

Норму годового стока в виде расхода воды $\bar{Q}$ вычисляют по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{\bar{q} \cdot F}{10^3}, \quad (1)$$

где $\bar{q}$ – среднегогодедный модуль стока, л/с; F – площадь водосбора реки, км².

Величину площади водосбора реки Талушки до расчетного створа $F_{водГУ}$ вычисляют по формуле:

$$F_{водГУ} = \frac{F_{общ}}{L} l, \quad (2)$$

где $F_{общ}$ – общая площадь водосбора, км²; L – общая длина реки, км; l – длина реки до расчетного створа, км.

Годовой объем стока реки:

$$W = Q \cdot T, \quad (3)$$

где Q – расход реки, м³/с; T – время, с.

Для реки Талушки: $F_{водГУ} = 13,96$ км²;

$$\bar{Q} = \frac{4 \cdot 13,96}{10^3} = 0,0557 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Годовой объем стока реки Талушки составляет:
 $W = 1756555,2 \text{ м}^3$.

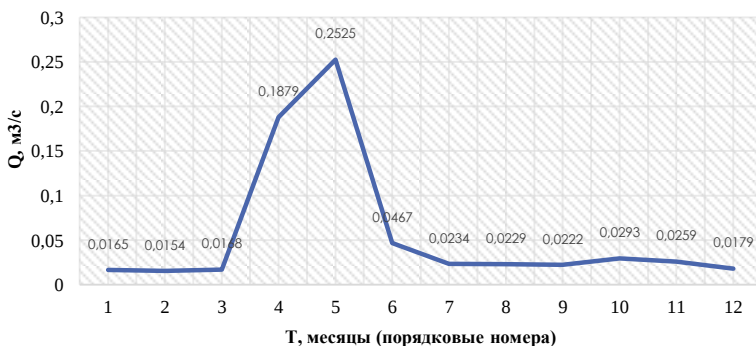


Рис. 4. Гидрограф годового стока реки Талушки

Таким образом, среднемноголетний расход реки равен $0,056 \text{ м}^3/\text{с}$. По данным гидрографа можно сделать вывод, что оптимальное использование микроГЭС будет с мая по август включительно, при этом в маловодные месяцы потребуются использование суточного регулирования.

Из-за нехватки воды в маловодные месяцы с целью устойчивой работы микроГЭС должна иметь бассейн суточного регулирования. При проектировании бассейна необходимо предусмотреть сброс избыточной воды, плавающих предметов в виде сора, льда и шуги, а также удаление отложившихся в бассейне наносов [3; 4, с. 5–11].

Для определения напорных характеристик реки строится кривая связи расходов (Q) и уровня (h) открытого русла (рис. 5).

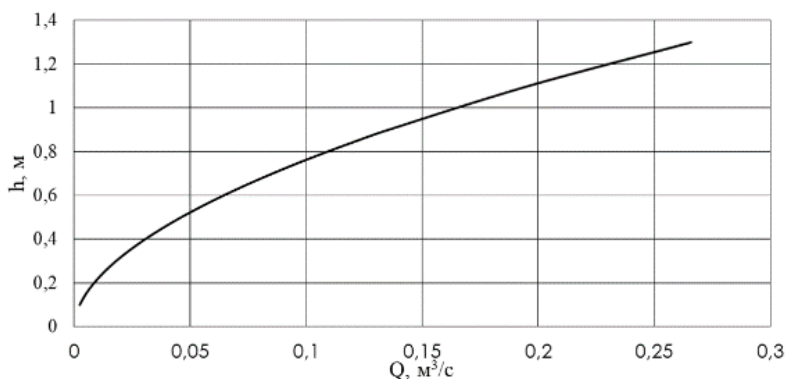


Рис. 5. Кривая связи расходов и уровня открытого русла

По кривой связи расходов с уровнем нижнего бьефа расчетный напор определяется как разница отметок в верхнем и нижнем бьефе. Для обеспечения более высоких значений напора отметка в верхнем бьефе поддерживается постоянной (177 мБС).

После определения характеристики реки следует подобрать оборудование исходя из установленной мощности проектируемой микроГЭС, которая состоит из трех параметров – гаранти-

рованной мощности, дополнительной мощности и резервной мощности:

$$N_{уст} = N_{раб}^{зар} + N_{дон}^{дубл} + N_{рез} = 16,835 \text{ кВт.} \quad (4)$$

Принятая установленная мощность 16,835 кВт.

В результате рассмотрения современных видов оборудования была выбрана микроГЭС с диагональной турбиной D50-Г-20/1500 [5]. В табл. 2 представлены ее технические данные.

Таблица 2

Технические данные турбины D50-Г-20/1500

Напор (нетто), м	8–18
Расход воды, м ³ /с	0,08–0,17
Мощность, кВт	10–20
Частота вращения, об/мин	1500
Диаметр рабочего колеса, мм	200
Направление вращения	Правое

Заключение

В ходе выполнения гидрологических расчетов определена величина среднесуточного расхода реки Талушки, которая составила 0,056 м³/с. По результатам выполненных водохозяйственных и водноэнергетических расчетов определены величина установленной мощности (16,835 кВт) и объем бассейна суточного регулирования (1319,04 м³). Запроектированы шлюз-регулятор, бассейн суточного регулирования, здание микроГЭС деривационного типа, определена пропускная способность напорного водовода.

Список литературы

1. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 2. Средняя Обь* / под ред. Н. А. Паниной. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1972. – 40 с.
2. *Железняков, Г. В., Неговская, Т. А., Овчаров, Е. Е.* Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – Москва : Колос, 1984. – 432 с.
3. *Февралева, Ф. В.* Проектирование гидроэлектростанций на малых реках. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2014. – 181 с.
4. *Гидроэлектростанции малой мощности : учеб. пособие* / под ред. В. В. Елистратова. – Санкт-Петербург : Изд-во политехн. ун-та, 2005. – 400 с.
5. *Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии : справочник* / под ред. В. И. Виссарионова. – Москва : Фирма «ВИЭН», 2004. – 448 с.

МЕТОД ГРУППОВОГО АНАЛИЗА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМА ПРОГРЕВА БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Е.В. Гармс*, К.Е. Горшкова*, А.А. Лазарев**

Монолитное строительство позволяет возводить здания практически любой этажности и сложности. Учитывая климатические особенности местности, необходимо обеспечить набор необходимой прочности бетона при отрицательной температуре наиболее рациональным способом. Целью данной работы является попытка усовершенствовать технологию прогнозирования температурных режимов забетонированных конструкций на основе нелинейной модели распространения тепла в неоднородном стержне при наличии нестационарного источника тепла. Это позволит определять точное время, необходимое для набора бетоном критической прочности.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, расчет температурных режимов, нелинейный процесс распространения тепла, подмодели

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-12-21

Введение

Особенности климатических условий Российской Федерации оказывают существенное влияние на проведение бетонных работ. Одной из основных проблем бетонирования зимой являются низкие температуры, которые отрицательно влияют на твердение цементного камня. Важную роль в технологии зимнего бетонирования играют не только температуры, но и время, при котором происходит набор прочности бетона. Существуют различные методики расчета, демонстрирующие зависимость температуры от времени. Но каждый метод имеет определенные

* Студент НГАСУ (Сибстрин)

** Магистрант кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

недостатки и некорректно отображает распределение температурных полей в действительности.

Цель исследования заключается в усовершенствовании технологии прогнозирования динамики распространения температурных полей внутри монолитных конструкций путем определения параметров подмодели, задаваемой точными решениями нелинейного дифференциального уравнения [1].

Для достижения цели исследования поставлены следующие задачи:

- 1) получение теоретического графика набора температуры методом устоявшегося расчета согласно Руководству по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера [2];

- 2) проверка равномерности прогрева монолитной колонны с помощью моделирования эксперимента в программном комплексе ELCUT;

- 3) получение теоретического графика набора температуры методом группового анализа дифференциальных уравнений;

- 4) получение графика набора температуры забетонированной колонны в реальных условиях;

- 5) сравнение полученных графиков;

- 6) оценка эффективности применения метода группового анализа дифференциальных уравнений для задач зимнего бетонирования.

1. Расчет температурных режимов выдерживания бетона в колонне по методике Руководства [2]

Термообработка бетона колонны включает три этапа: подъем температуры, изотермический прогрев и остывание конструкции. К моменту остывания конструкции до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ требуется обеспечить 70 % прочности от R_{28} для недопущения нарушения цементационных связей вследствие кристаллизации молекул воды.

Подъем температуры. При начальной температуре бетона $T_0 = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$, температуре изотермического прогрева $T_{\text{п}} = +70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и допустимой скорости подъема температуры $10\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ продол-

жительность подъема температуры с помощью греющего провода 3×25 м 1,2 ПНСВ составляет:

$$\frac{60 - 20}{10} = 4 \text{ ч.}$$

Средняя температура подъема:

$$\frac{60 + 20}{2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Прочность за время подъема температуры согласно графику [2, с. 25] составляет примерно 15,0 % R_{28} .

Остывание конструкции. Продолжительность остывания конструкции от температуры изотермического прогрева $T_{\text{п}} = +60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до рекомендуемой для бетонов без противоморозных добавок температуры не ниже $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ согласно [2, с. 23]:

$$t_{\text{б.ср.}} = 10 + \frac{60 - 5}{1,03 + 0,181 \cdot 8,3 + 0,006(60 - 5)} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Продолжительность остывания конструкции согласно [1] при $M_{\text{п}} = \frac{2}{1,2} + \frac{2}{0,3} = 8, (3) \text{ м}^{-1}$, $K_{\text{т}} = \frac{1}{\frac{1}{33,18} + \sum_{0,116}^{0,018}} = 5,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ и температуре наружного воздуха $-12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет:

$$\tau = \frac{1,05 \cdot 2500 \cdot (60 - 10)}{3,6 \cdot 5,4 \cdot 8,3 \cdot (30 - (-12))} = 20 \text{ ч.}$$

Прочность за время остывания конструкции согласно графику [2, с. 25] насчитывает примерно 3,0 % R_{28} .

Прочность при наборе температуры и при остывании суммарно имеет значение:

$$15 + 7 = 22,0 \text{ } \% R_{28}.$$

Изотермический прогрев. Недостающая прочность, которую нужно набрать за период изотермического выдерживания при $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, составляет:

$$70 - 22 = 48,0 \text{ } \% R_{28}$$

Согласно графику [2, с. 25] эта прочность набирается за 12 ч. Из расчета следует, что прочность 70 % R_{28} при заданных условиях достигается за 36 ч.

2. Моделирование температурных режимов бетона в колонне при помощи программы ELCUT

Задачи зимнего бетонирования позволяет решать программа ELCUT. Решение задач основывается на процессах теплообмена и принципах термодинамики. Моделирование выполняется методом конечных элементов двумерных тепловых полей.

Для решения поставленной задачи была создана расчетная модель (рис. 1), в которой соблюдены физические и механические свойства всех материалов, геометрические размеры. При решении задачи программа разбивает твердеющий бетон сеткой дискретизации на блоки с конечно-элементной сеткой, в пределах которых могут быть заданы определенные свойства.

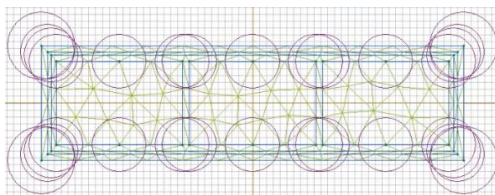


Рис. 1. Расчетная схема в программном комплексе ELCUT

Нулевое время прогрева представляет собой начальную задачу. На основании исходных данных эксперимента получено температурное поле перед началом прогрева (рис. 2).

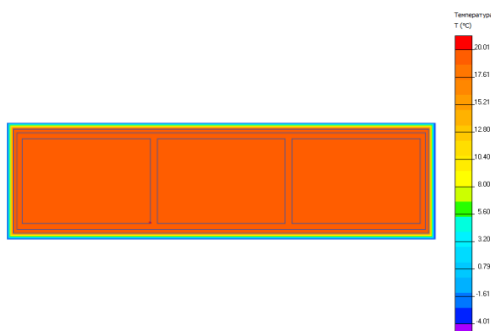


Рис. 2. Температурное поле перед началом прогрева, полученное с помощью программы ELCUT

Шаг решения задачи 2 ч, последующие задачи решаются с выбранным интервалом. Температурное поле на момент снятия опалубки представлено на рис. 3.

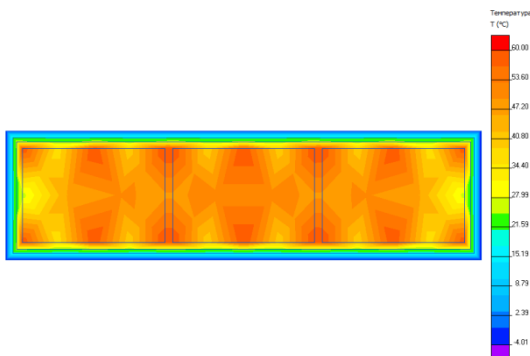


Рис. 3. Распределение тепловых полей, полученное с помощью программы ELCUT

Опираясь на полученную схему распространения тепловых полей, можно сделать вывод о равномерности прогрева монолитной конструкции и, как следствие, о равномерном наборе прочности. Зоны промерзания отсутствуют.

Расчет температуры является приблизительным: он не учитывает экзотермию реакции гидратации бетона. График изменения температуры до снятия опалубки показан на рис. 6.

3. Расчет температурных режимов бетона в колонне по зависимостям, полученным методом группового анализа

Модель, описывающая нелинейный процесс распространения тепла в неоднородном стержне при наличии нестационарного источника тепла, задается уравнением [1]:

$$T_t = (x^\alpha T^\beta T_x)_x + \gamma(t)T, \quad (1)$$

где x – положение точки в пространстве; x^α – то же, но с уточнением неоднородности прогреваемого элемента; T – значение температуры в точке x ; T^β – значение температуры, возведенное в степень β для того, чтобы показать нелинейность распространения теплового поля в стержне; T_x – производная функции температуры от координаты рассматриваемой точки.

Методом группового анализа дифференциальных уравнений были получены 13 различных подмоделей, задаваемых точными решениями нелинейного дифференциального уравнения [1].

Для анализа результатов эксперимента была взята подмодель распределения температуры в колонне, полученная из модели (1), описывающей распространение тепла в неоднородном стержне при наличии нестационарного источника, для которой температура определяется по формуле при $(1 - \alpha)(\beta + 1) \neq 0$:

$$T_{10} = (c_8 x + c_9)^{\frac{1}{\beta+1}} \left(\varepsilon'(t) \right)^{\frac{1}{\beta}}. \quad (2)$$

Данное точное решение, полученное с помощью метода группового анализа [3], заведомо не может аппроксимировать описанные температуры. По этой причине для получения расчетной формулы, аппроксимирующей температуру, в формулу (2) вводятся поправочные аддитивные слагаемые и коэффициенты [4, 5]:

$$T_{10} = \lambda T_{10,exact}(t; 1,35) - \mu, \quad (3)$$

где числа λ и μ принимают конкретные значения.

4. Эксперимент в условиях строительной площадки

Условия проведения эксперимента:

- колонна с размером сечения 300×1200 мм и высотой 2700 мм (схема представлена на рис. 4);
- температура бетонной смеси, уложенной в опалубку, примерно 20,0 °С;
- температура наружного воздуха примерно –4,0 °С;
- опалубка колонны с ламинированной фанерой ФСФ 18 мм, неутепленная;

- греющий провод ПНСВ диаметром 1,6 мм;
- термораствор устраивался в четырех сечениях по высоте на армокаркас из хромель-копелевых термопар с шагом между сечениями (отсчет снизу) 1000, 900 и 800 мм [6];
- в первые 25 часов прогрева напряжение подавалось на ступень ниже 75 В, а затем 85 В.

Снятие опалубки происходило спустя 19 ч. После снятия опалубки прогрев колонны осуществлялся 25 ч.

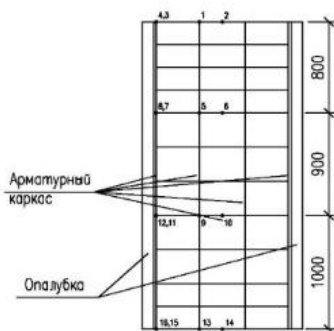


Рис. 4. Схема расположения термодатчиков по высоте колонны

Нагревающий провод располагался по арматурному каркасу и между стержнями таким образом, чтобы достичь равномерного прогрева монолитной конструкции по всему сечению.

Расположение и длина нагревательных элементов подбирались согласно расчету, в котором учитывались объем прогреваемой конструкции, а также необходимое количество тепла (рис. 5).

5. Результаты исследования

В ходе анализа выявлена расчетная формула, показывающая наиболее точную аппроксимацию. Результаты обработки данных эксперимента сведены в таблицу. Сравнительные графики динамики тепловых полей согласно экспериментальным и теоретическим изысканиям представлены на рис. 6.



a



б

Рис 5. Бетонирование опытной колонны:
a – размещение греющего провода и термостворов на арматурном каркасе колонны; *б* – общий вид прогреваемой колонны

Расчетные формулы для прогнозирования температурных режимов

Показатели (рис. 6)		Расчетная формула
α	β	
1,45	4	Прогрев первой колонны до снятия опалубки: $T_{10} = 24,5T_{10,exact}(t; 1,35) - 10$
2,7	2,5	Прогрев первой колонны после снятия опалубки: $T_{10} = -8,5T_{10,exact}(t; 1,35) + 73,5$

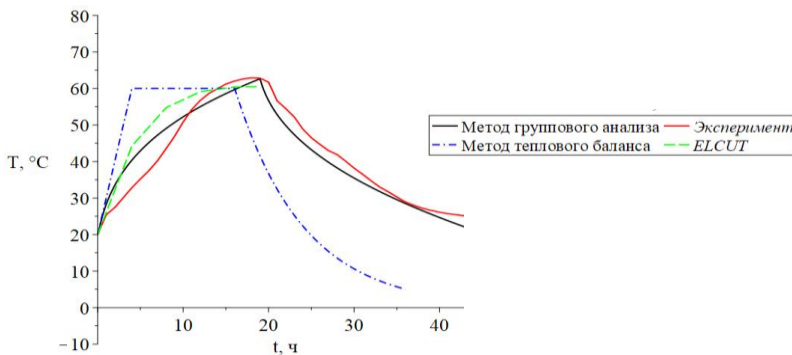


Рис. 6. Сравнение методик прогнозирования температуры

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено:

1. Метод теплового баланса дает приблизительную оценку тепловым полям, которую в обязательном порядке необходимо проверять на строительной площадке путем измерения набранной прочности конструкций неразрушающими методами.

2. Расчетная модель, полученная в программном комплексе ELCUT, показывает равномерность прогрева монолитной конструкции. График зависимости температуры от времени до снятия опалубки достаточно хорошо отражает данные эксперимента на строительной площадке, однако показания по температуре у программного комплекса более высокие, чем в действительности.

3. Принятая для исследования подмодель T_{10} отображает результаты, сопоставимые с экспериментальными данными, и более графически точно описывает характер изменения температуры внутри монолитной конструкции.

4. Разница значений температур в единый момент времени между теоретической кривой набора, полученной с помощью метода группового анализа дифференциальных уравнений, и экспериментальной кривой не превышает 7 %, что говорит о приближении теоретической кривой к экспериментальной. Таким образом, исследования по установлению зависимостей могут быть продолжены.

Список литературы

1. *Чиркунов, Ю. А.* Нелинейное распространение тепла в неоднородном стержне при воздействии нестационарного источника тепла применительно к задачам зимнего бетонирования // Известия вузов. Строительство. – 2018. – № 2. – С. 70–76.
2. *Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР.* – Москва : Стройиздат, 1982. – 213 с.
3. *Чиркунов, Ю. А., Хабиров, С. В.* Элементы симметричного анализа дифференциальных уравнений механики сплошной

среды : монография. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2012. – 659 с.

4. *Molodin, V., Chirkunov, Y., Shpanko, S., Garms, E., Gorshkova, K., Lazarev, A.* Mathematical modeling of winter concreting // *Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 953. – P. 012027.
5. *Молодин, В. В., Чиркунов, Ю. А., Шпанко, С. Н., Гармс, Е. В., Горшкова, К. Е., Касьянова, Д. С., Лазарев, А. А., Сарафян, С. Е.* Нелинейные подмодели, описывающие распределение тепла при зимнем бетонировании колонн при наличии внешнего нестационарного источника тепла // *Известия вузов. Строительство*. – 2019. – № 12. – С. 75–86.
6. *Молодин, В. В., Чиркунов, Ю. А., Бельмещев, Н. Ф., Гармс, Е. В., Горшкова, К. Е., Лазарев, А. А.* Нелинейное моделирование распределения тепла при зимнем бетонировании колонны // *Известия вузов. Строительство*. – 2020. – № 5. – С. 118–131.

«РЕЛЬСОВАЯ» ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА МОДУЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Р.В. Котков^{*}, А.А. Мороз^{}**

В статье описан способ устройства модульных светопрозрачных ограждающих конструкции высотного здания без установки лесов, использования люлек, монтажного крана. Монтаж возможен при любых погодных условиях. Работа монтажников по установке фасадных модулей организуется изнутри здания, без выхода наружу.

Ключевые слова: монтаж светопрозрачного фасада высотного здания, модульная светопрозрачная ограждающая конструкция, монтаж фасада без люлек и лесов, «рельсовый» метод монтажа фасада, безопасные фасадные работы

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-22-47

Введение

Рассматривая новые высотные здания, которые окружают нас в городах по всему миру, мы видим, что в большинстве своем их фасады – это светопрозрачные ограждающие конструкции (витражи). Самые высокие здания мира имеют модульные светопрозрачные фасады. Фактически светопрозрачные конструкции есть во всех жилых и административных зданиях, так как они не могут обойтись без внутреннего естественного освещения.

На современном этапе развития строительной отрасли здания строятся все выше и выше. Во-первых, это диктует экономика, так дешевле. Во-вторых, возводя небоскребы, их владельцы демонстрируют свое превосходство. Высота возводимых зданий кратно увеличивается с каждым годом. Фасады всех со-

^{*} Магистрант кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

временных зданий (рис. 1) имеют светопрозрачное модульное остекление [1].

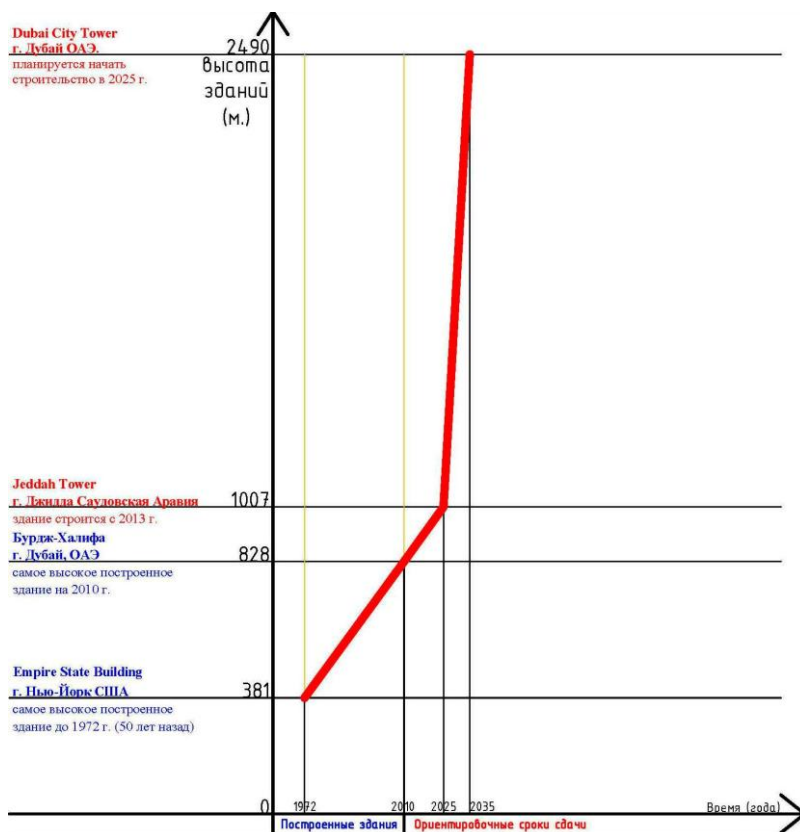


Рис. 1. Самые высокие строящиеся и проектируемые здания за последние 50 лет

Оценивая конструктивные решения ограждающих конструкций высотных зданий, можно констатировать, что светопрозрачные модульные конструкции позволяют:

- выполнять остекление фасадов, не ограниченное по высоте;
- устраивать фасады сложной, криволинейной формы;

- выполнять работы в сжатые сроки;
- обеспечивать фасадами помещения первых этажей зданий и тем самым создавать качественную коммерческую недвижимость;
- возводить привлекательные жилые помещения, в том числе двухъярусные.

Можно констатировать, что в настоящий момент наблюдаются устойчивые тенденции к облицовке высокоэтажных зданий стеклом, поэтому технологии устройства фасадов высотных зданий как никогда актуальны и требуют самого пристального внимания и изучения.

1. Существующие способы монтажа фасадов

Практика современного строительства располагает несколькими способами монтажа фасадов зданий:

1. На небольших высотах работы выполняют с земли, подмостей, лестниц, с помощью автовышек.

2. На высотных зданиях работы выполняются с помощью строительных лесов, которые бывают двух видов – штыревые и хомутовые (см. ГОСТ 27321-2018 [2, п. 4.2.2, табл. 1]). Высота установки лесов имеет ограничение 80 и 100 м. При устройстве фасадов на здания большей высоты леса устанавливают на навесных подмостях в несколько ярусов (рис. 2).



Рис. 2. Установка лесов в два яруса на высотном здании

При монтаже фасадов с лесов имеется ряд сложностей, связанных с подъемом материалов на монтажный горизонт. Подача материала изнутри здания не всегда возможна, так как лифты в строящемся здании, как правило, не работают. Кроме того, необходимо горизонтальное перемещение материала.

При подаче краном материал должен подаваться в небольшом количестве, большая масса на лесах недопустима. Существует проблема с горизонтальным перемещением модулей к месту монтажа, так как леса должны быть через ярус закреплены к несущему каркасу, соответственно, 100 %-ная сборка фасада здания идет сверху вниз.

3. При монтаже фасада с люльки или мачтового подъемника на фасаде устанавливается платформа, способная двигаться вверх и вниз по фасаду здания, что упрощает возможность подъема материала на монтажный горизонт и дает возможность ведения работ как снизу вверх, так и сверху вниз. Недостаток способа – ограничение по высоте, грузоподъемности и скорости подъема. Из-за малой грузоподъемности за материалом приходится многократно перемещаться со скоростью не более 10 м в минуту, таким образом, время строительства существенно возрастает.

При монтаже с мачтового подъемника выполнение работ возможно только сверху вниз, так как нужно убирать крепления подъемника к фасаду. Монтаж усложняется необходимостью переноса подъемника с захватки на захватку или установки на каждую захватку своего подъемника. Целесообразность такого решения нужно проверять путем расчетов.

4. Монтаж фасада при помощи альпинистского снаряжения имеет один важный недостаток – сложность доставки на монтажный горизонт материалов, инструментов и т.д.

5. Монтаж фасадов модульным методом (рис. 3) – самая передовая на сегодняшний день технология остекления фасадов, применяющаяся при масштабном остеклении высотных зданий. Основное преимущество технологии – выполнение работ без устройства наружных приспособлений (лесов, люлек).



Рис. 3. Схема устройства фасадов модульным методом

Установленный таким методом фасад называют элементарным или блочным. Потребность в этом виде остекления возникла в связи с массовым строительством высотных зданий. Ранее действовавшие технологические стандарты и инженерные решения, предполагавшие установку стоечно-ригельных фасадов, уже не удовлетворяли требованиям сроков и технологий строительства.

Архитектурные решения высотных зданий имеют свою специфику, и под их требования были разработаны модульные системы ограждающих конструкций зданий. Отличие элементарного фасада от стоечно-ригельного заключается в том, что на объект поставляются не элементы конструкции (стойки, ригели, стеклопакеты) в разобранном виде, а готовые типовые фасадные блоки в сборе [3–6].

Достоинства модульных фасадов:

1. Высокий уровень индустриального производства.
2. Высокое качество готовых конструкций.
3. Высокая скорость и точность монтажа.
4. Сокращение количества низкоквалифицированных рабочих на объекте.
5. Универсальность сборки.
6. Единообразие.
7. Возможность установки 3D-фасада.

Основными недостатками монтажа модулей снизу вверх являются:

1. Опасность удара поднимаемым модулем по только что смонтированному фасаду при внезапном порыве ветра.

2. Внутренняя отделка, как правило, ведется с верхних этажей вниз. Это обусловлено риском возможного повреждения результатов чистовых работ на этажах, расположенных ниже тех, где осуществляются «мокрые» процессы. В случае с традиционными модульными фасадами это невозможно.

Фасадные модули могут быть как прозрачными, так и непрозрачными, либо объединяют прозрачные и непрозрачные элементы. При необходимости прозрачный фасадный модуль можно сделать матовым или непрозрачным с внутренней стороны, не нарушая единообразия наружной. Максимально исключая импосты и стыки, можно получить идеально ровный фасад.

Можно предложить следующую классификацию существующих способов устройства остекленных фасадов высотных зданий (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики способов монтажа фасадов

Способ монтажа фасада и его особенности	Максимально допустимая высота, м
С земли	2
С подмостей (ГОСТ Р 58755-2019 [7, п. 4.1.1, табл. 1])	14
С лестниц: – лестницы, стремянки – лестницы с площадкой «минус», для перемещения нужна техника	5 18
Со строительных лесов (ГОСТ 27321-2018 [2, п. 4.2.2, табл. 1]): – штыревые леса – хомутовые леса	80 100
С автовышки (высота подъема автовышки Jipwoo 670)	67
Со строительной люльки (ГОСТ 27372-87 [8, п. 1.2.1]). Скорость подъема не более 10 м/мин, зависимость от климатических факторов	150

Окончание табл. 1

Монтаж фасада	Максимально допустимая высота, м
С мачтового подъемника. При монтаже фасада на каждую захватку подъемника нужно установить мачту	100
Промышленный альпинизм. Зависимость от климатических условий, сложный подъем материалов и инструмента	Любая
Модульный метод. Зависимость от грузоподъемных механизмов	Любая

Очевидно, что существующие способы монтажа фасадов имеют следующие основные недостатки:

1. Ограничение по высоте (кроме промышленного альпинизма).
2. Низкая грузоподъемность приспособлений для монтажа.
3. Зависимость от климатических условий: выполнять работы или подъем материалов при сильном ветре, осадках будет невозможно.
4. Сложность и опасность работы на высоте, падение материалов, лесов и люлек.
5. Конусная структура, разноуровневые, спиралевидные, радиальные фасады высотных зданий, выпирающие архитектурные элементы усложняют установку лесов и подвешивание люлек.
6. Сложности при очистке фасада от загрязнений.
7. Работы по установке приспособлений требуют дополнительных трудозатрат и времени.
8. Высокая стоимость приспособлений для монтажа.
9. На высотных зданиях при работе со строительных лесов и люлек второго и последующего ярусов сложно доставлять материалы на монтажный горизонт.
10. Большая длина стыков модульных элементов приводит к продуванию или протеканию.

Учитывая, что большая часть России расположена в умеренном, а также в субарктическом и арктическом климатичес-

ких поясах, можно сказать, что для устройства фасадов высотных зданий наиболее подходят технологии, при которых зависимость от климатических факторов будет минимальной. Из всех методов монтажа наиболее подходящим будет тот, который исключает использование дополнительных приспособлений, строительных лесов и люлек, и это *модульный метод* для устройства светопрозрачных ограждающих конструкций высотных зданий. Исключив недостаток (большую длину стыков), можно получить фасадные модули *максимально большого размера*.

2. Крупноформатное модульное остекление

Большинство заводов по производству стекла в России выпускает стекло с так называемым размером джамбо, 3,21×6,00 м. Размер 3,21 м является абсолютным ограничением (он был выбран как максимально возможный для автоперевозок из-за высоты мостов и ширины автомобилей). Размер 6,00 м – условное ограничение.

В немецком городе Вермсдорфе в данный момент установлена самая длинная в мире линия по производству стеклопакетов (165 м). Обладателем уникальной линии Bystronic стала известная немецкая производственная компания Thiele Glas. Линия получила название В'JUMBO XXL. Главное ее преимущество – производство широкоформатных стеклопакетов длиной до 18 метров (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики стеклопакетов компании Thiele Glas

Максимальный показатель	Значение
Длина, м	18
Высота, м	3,3
Толщина, мм	150
Толщина одного стекла, мм	60
Вес, т	10

С осени 2018 года в Германии компания Sedak запустила линию по производству 20-метровых стеклопакетов марки Lisec [9]. Данный вид остекления открывает новые возможности для создания совершенно необычной архитектуры витрин магазинов

и зданий, а также вносит новизну во внутреннюю отделку интерьеров: горизонтальное, вертикальное и наклонное расположение модулей сократит количество различных стыков и импостов, без которых невозможен монтаж светопрозрачных конструкций при современных технологиях.

В зданиях с глухими модульными фасадами забор воздуха происходит через решетчатые конструкции, которые устанавливаются в углах фасада или в горизонтальных стыках. Для уменьшения влияния ветрового потока в решетчатых конструкциях располагают защитный экран и воздушные клапаны с электроприводом. Вентиляционные установки размещаются на технических этажах с верхним и нижним расположением к обслуживаемым этажам. Это уменьшает сечение вертикальных шахт и влияние переменного гравитационного естественного давления.

Предусматривается установка фенкойлов и активных охлаждающих балок. Воздух в помещении специально увлажняется, для этого применяются камеры орошения. По этой причине *установки открывающихся фрамуг в модульном элементе не требуется.*

Предполагается изготовление модульного фасада джамбо-размера, в котором фасадный модуль из цельного листа стекла имеет размер 6000×3210 мм, площадь 18 м², так как это максимальный размер стекла, производимого на большинстве заводов в России. При изготовлении фасадных модулей данного размера остается минимальное количество отходов от раскройки материала. Для непростого монтажа таких крупноразмерных модулей на высоте потребуются специальная технология.

3. Техническое решение «рельсовой» технологии

Предлагаем «рельсовый» метод монтажа, при котором недостатки – ограничение по высоте, зависимость от климатических факторов, отсутствие безопасности при выполнении работ, подготовка к отделке в первую очередь нижних этажей – устраняются. При этом сохраняется и даже улучшается такой показатель, как скорость монтажа.

Суть «рельсовой» технологии сводится к тому, что на фасаде здания в процессе монтажа каркаса устраиваются специаль-

ные вертикальные фахверки, являющиеся в то же время «вертикальной железной дорогой», которая даст возможность подъема ограждающих конструкций без использования человеческих ресурсов и грузоподъемных механизмов (кранов, люлек, лифтов и др.). На верхнем ярусе здания устанавливается перемещаемая по горизонтали временная лебедка, к тросу которой закреплена подъемная платформа, перемещающаяся по вертикальным рельсам (рис. 4).

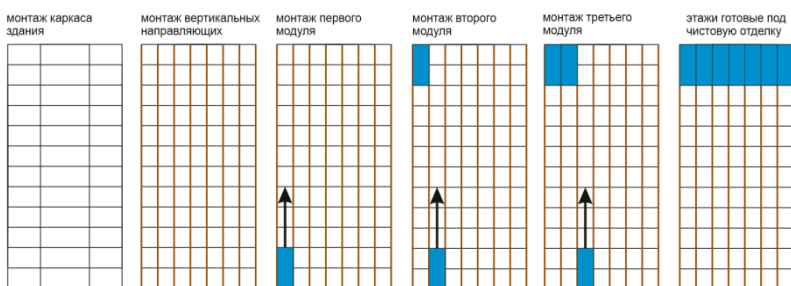


Рис. 4. Последовательность операций «рельсовой» технологии

К каркасу здания закрепляются направляющие профили в вертикальном (возможно, также в наклонном или радиальном) положении, по которым с помощью подъемной платформы, как по рельсам, с нулевой отметки до монтажного горизонта осуществляется подъем фасадных модулей высотного здания.

Основная рама подъемной тележки ставится в распор между параллельно установленными направляющими профилями, колесо основной рамы монтируется в паз профиля, что позволяет подъемной тележке двигаться только вверх или вниз (рис. 5). Механизм распора и страховки позволяет прикрепить подъемную тележку между направляющими профилями и в случае обрыва троса не даст раме упасть вниз. Также основная рама снабжена концевым выключателем. Благодаря этому подъемная тележка не ударится о вышестоящий фасадный модуль и не сорвется с направляющих профилей. Подъемное устройство, размещенное на самом верху здания или на монтажном горизонте, с помощью троса крепится к одной из петель основной рамы

и осуществляет подъем до монтажного горизонта. Монтаж ведется сверху вниз.

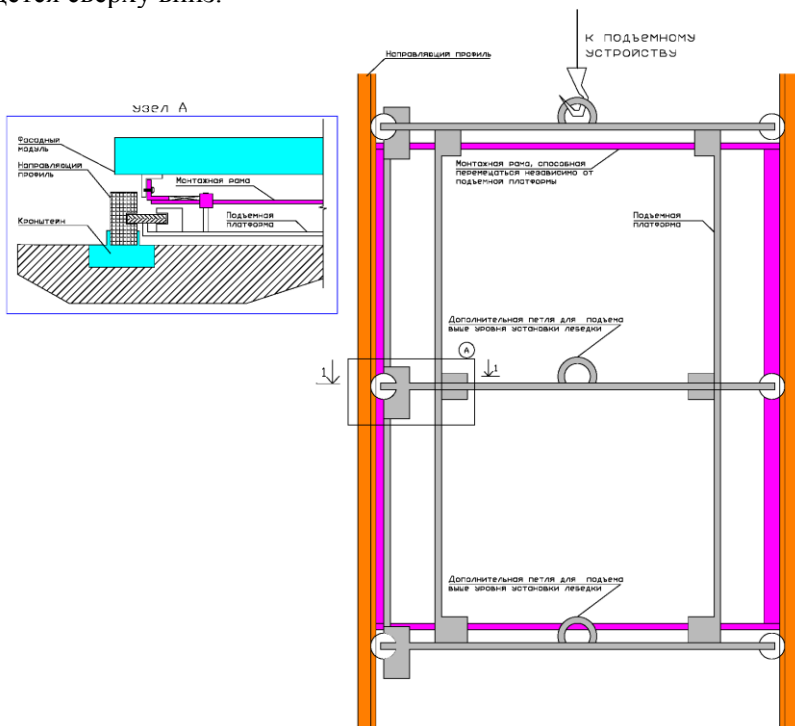


Рис. 5. Схема подъемной платформы «рельсового» метода:
узел А – установка колеса платформы в паз направляющего профиля

Фасадный модуль крепится к монтажной раме подъемной платформы в узле крепления фасадного модуля, к монтажной раме подъемной тележки – с помощью болтов. Монтажная рама крепится к основной раме в подвижном узле, крепление позволяет ей двигаться вправо и влево независимо от основной рамы, а также к зданию и от него. На монтажном горизонте монтажная рама прижимает фасадный модуль к направляющим профилям, а также к ранее установленным модулям сверху и сбоку от них (рис. 6).

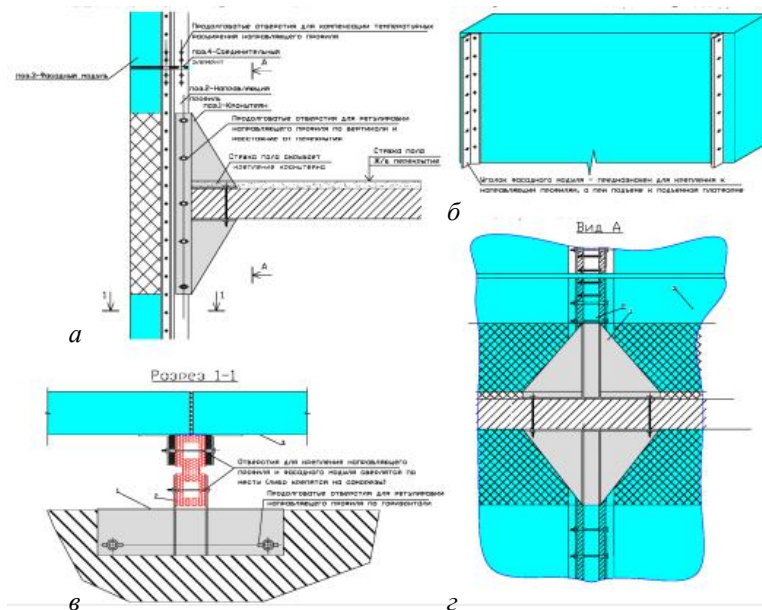


Рис. 6. Техническая составляющая «рельсового» метода:
а – узел крепления фасадных модулей; *б* – фрагмент фасадного модуля; *в* – разрез 1–1; *г* – вид изнутри здания

Фасадная система «рельсового» метода – это полностью унифицированная система, состоящая из минимально возможного количества деталей заводского изготовления, таких как:

1. Кронштейн – крепится к перекрытию с помощью обычных или анкерных болтов. Отверстия под болты имеют продолговатую форму для регулировки вправо и влево. Для крепления к направляющим предусмотрен П-образный элемент с продолговатыми отверстиями для регулировки по вертикали.

2. Направляющий профиль (он же фахверк) – это алюминиевый или стальной профиль специального сечения, предназначенный для подъема и закрепления фасадных модулей.

3. Соединительный элемент – деталь для соединения направляющих профилей, предназначенная для компенсации тепловых линейных расширений.

4. Фасадный модуль – это стеклопакет размером 6000×3210 мм (для каждого региона количество стекол необходимо подтвердить теплотехническим расчетом и расчетом ветровых нагрузок) в раме (материал – алюминий, керамика, многослойное стекло) или без нее. В области соприкосновения с перекрытием фасадный модуль имеет вставки из негорючего материала [10]. Вес одного элемента около 2,5 тонн (согласно теплотехническому расчету для г. Новосибирска) [11, 12].

Данный способ можно использовать на любых формах зданий, конусовидных, спиралевидных, разноуровневых и сложных фасадах.

Подъемная платформа (см. рис. 5) безопасна, она обеспечивает тройную страховку от падения фасадного модуля во время подъема. Механизм распора и страховки, установленный на подъемной платформе:

- 1) не даст фасадному модулю во время подъема колебаться от порывов ветра и разрушаться от удара об здание;
- 2) задержит фасадный модуль на направляющих профилях при обрыве троса лебедки;
- 3) не даст упасть фасадному модулю при разрушении направляющих профилей.

Дополнительная безопасность обеспечивается выполнением работ по монтажу фасадного модуля с перекрытия без выхода за пределы здания, что обезопасит монтажников (в момент монтажа сам модуль исключит возможность падения за пределы здания, так как он будет сам являться ограждением).

Скорость монтажа будет зависеть от скорости лебедки (при стандартной скорости подъема 10 м/мин подъем на высоту 100 м займет 10 мин). За один подъем будет закрываться площадь в 18 м².

После временного закрепления модуля подъемная платформа поедет за следующим модулем (при высоте 100 м 10 мин – вниз за модулем и 10 мин – вверх со следующим модулем). В это время фасадный модуль будет окончательно закреплен, соответственно, скорость монтажа составит 30 мин на 18 м², т.е. 36 м²/ч. Для закрытия захватки фасада высотой 100 м

потребуется установить 16 фасадных модулей в среднем по 30 мин/шт. – 8 ч (одна смена). Если работы выполнять в несколько смен, параллельно на нескольких захватках, то фасад 100-метрового здания можно поставить в течение одних суток.

Для подъема модуля требуется время: чем больше площадь модуля, тем меньше потребуется времени на подъем модулей в целом по объекту. Площадь установленных ограждающих конструкций и, соответственно, производительность увеличатся. При этом трудозатраты возрастут незначительно, так как добавится только количество установленных креплений в тот же промежуток времени. Как следствие, *произойдет сокращение сроков и удешевление строительства.*

Исключая из технологии работы по устройству приспособлений (монтаж/демонтаж строительных лесов, люлек), выполнив унификацию приспособлений и переведя основную часть работ на производство (изготовление модулей), сократим работы, выполняемые на строительной площадке до минимума, т.е. *улучшаем качество работ и уменьшаем трудозатраты (удешевляем) строительство.*

Выполняя работы на фасаде здания сверху вниз, строители избегают повреждения фасада при падении материалов, ударах подъемных механизмов; появляется возможность вести отделочные работы внутри здания сверху вниз; исключается повреждение чистовых работ на верхних этажах и т.д. Устанавливаемая ограждающая конструкция 100 %-ной заводской готовности может быть интегрирована с инженерными системами (силовыми и слаботочными электрическими сетями, вентиляционными системами и пр.). Для монтажа ограждающих конструкций не требуется кран, поэтому после устройства каркаса здания его можно будет убрать.

Достоинства «рельсового» метода:

1. Возможность крепления к несущему каркасу высотного здания различных ограждающих конструкций путем установки направляющих профилей. Ограждающие конструкции могут быть изготовлены из любых материалов, от жестких (стекло,

металлические панели и т.п.) до мягких (ткань, поликарбонат, пластик и т.п.).

2. Возможность установки направляющих профилей за пределами перекрытия, что позволяет увеличить полезную площадь высотного здания. Расчеты показывают, что площадь может увеличиться до 10 %, так как ограждающие конструкции ставятся не на перекрытии, а с отнесом от него.

3. Возможность устройства ограждающих конструкций здания без установки лесов и люлек и привлечения монтажного крана.

4. Возможность монтажа ограждающих конструкций изнутри здания: при подъеме направляющие профили используются в качестве рельсов, происходит установка подъемного устройства в теплом безветренном месте.

5. Возможность поднимать материалы с помощью направляющего профиля, создавая дополнительную страховку.

6. Уменьшение трудоемкости за счет сокращения количества деталей, требующихся для устройства конструкции, и материалоемкости конструкции за счет исключения горизонтальных направляющих.

7. Возможность выполнить крепежную систему профилей в теплой зоне, тем самым уменьшить температурные воздействия на подсистему, исключив сложность устройства профилей, состоящих из двух смежных частей.

8. Минимизация операций на строительной площадке, так как основная их часть выполняется в заводских условиях.

9. Возможность устройства фасада при любых климатических и погодных условиях – исключается влияние ветра и осадков.

10. Возможность применения данной фасадной системы и способа монтажа, благодаря герметичному фасаду и сокращению трудозатрат на строительной площадке, для работы при низких или высоких температурах, например, на Крайнем Севере, в районах с большим количеством ветреных дней.

11. Возможность устройства фасада как с декоративными профилями снаружи, так и без них, т.е. фасада в одной плоскости.

12. Увеличение размера модулей, уменьшение длины швов и, соответственно, вероятности промерзания, продувания и протекания.

13. Использование монтажных направляющих при эксплуатации здания для перемещения платформ для мойки фасадов.

4. Технология монтажа модулей «рельсовым» методом

Монтаж реализуется в два этапа:

первый – доставка фасадных модулей с завода производителя до строящегося здания (горизонтальная транспортировка);
второй – подъем и монтаж фасадных модулей в проектное положение (вертикальная транспортировка).

Первый этап (горизонтальная транспортировка)

1. После изготовления фасадных модулей на заводе их вертикально составляют в палеты по шесть штук, которые оборудованы петлями для транспортировки (рис. 7).

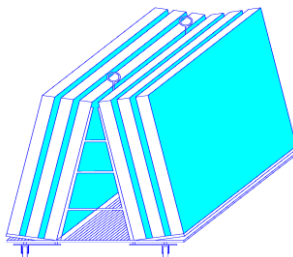


Рис. 7. Палета с фасадными модулями

2. На заводе-изготовителе палеты грузятся в полуприцепы-панелевозы, которые доставляют фасадные модули до склада на строительной площадке (рис. 8).

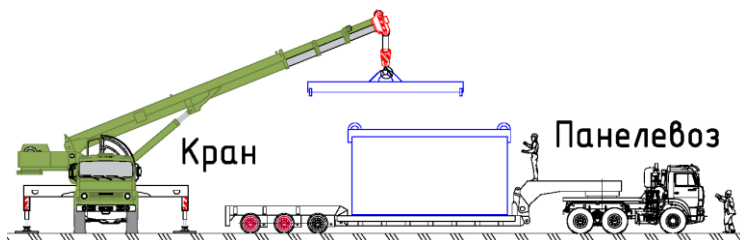


Рис. 8. Погрузка палеты с фасадными модулями

3. На складе с панелевоза кран-балкой палету с фасадными модулями перемещают к месту хранения (рис. 9).

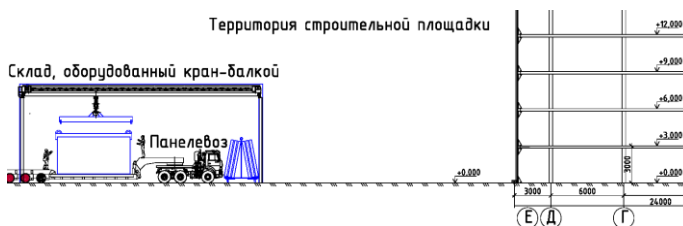


Рис. 9. Разгрузка панелевоза на приобъектном складе

4. От места хранения кран-балкой палета перемещается на *крано-манипуляторное устройство* (далее – КМУ) и доставляется до строящегося здания. Поскольку перемещение осуществляется в пределах строительной площадки, то на складе возможны погрузка в любое другое транспортное средство с необходимой грузоподъемностью и габаритом и разгрузка автомобильным или монтажным краном (рис. 10).

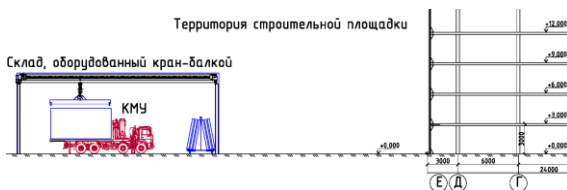


Рис. 10. Погрузка модуля на складе для доставки до строящегося здания

Второй этап (вертикальная транспортировка и монтаж)

5. Параллельно с устройством каркаса здания на перекрытия устанавливаются кронштейны, которые крепятся к нему с помощью анкерных или обычных болтов вертикально или с наклоном снизу до верха здания с шагом до 3000 мм (рис. 11).



Рис. 11. Установка кронштейнов

6. К кронштейну с помощью крепежных болтов (или клепок) крепят профили-направляющие, которые скрепляются по высоте с помощью соединительных элементов. Соединительные элементы жестко монтируются в полость профиля с одной стороны и нежестко крепятся с другой для компенсации температурных расширений и линейных деформаций (рис. 12).

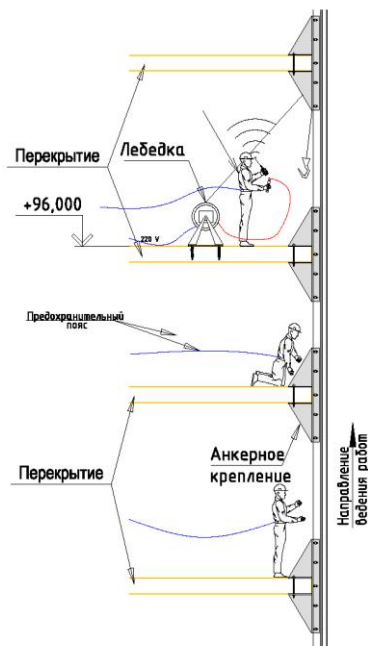


Рис. 12. Установка направляющих профилей

7. КМУ устанавливается на захватке. Манипулятор, оборудованный присосками, переводит фасадные модули из горизонтального положения в вертикальное и перемещает фасадный модуль на подъемную платформу (рис. 13).

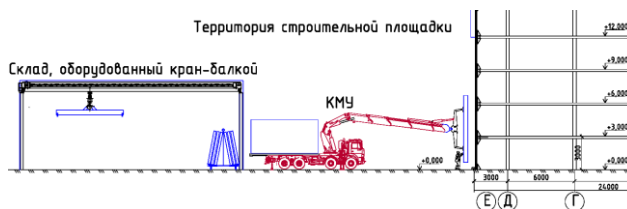


Рис. 13. Установка модуля на подъемную платформу

8. Подъемная платформа предварительно устанавливается колесами в пазы направляющих профилей. Закрепленный на ней

фасадный модуль с помощью лебедки доставляется на монтажный горизонт строящегося здания. Монтаж фасадных модулей в захватке ведется сверху вниз. Горизонтальный стык между фасадными модулями находится в уровне перекрытия или на высоте 800 мм от уровня чистого пола этажа (высота подоконника) (рис. 14).

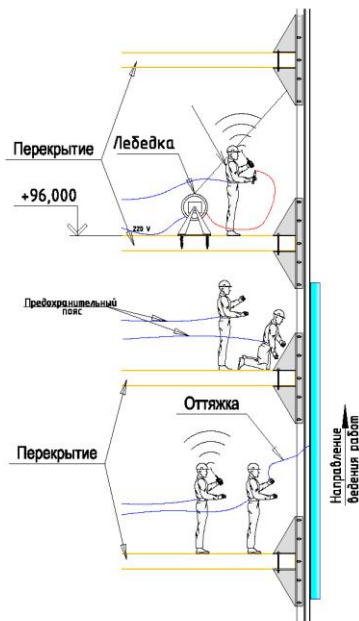


Рис. 14. Подъем и установка фасадного модуля

9. Модуль закрепляется к направляющим с помощью самонарезающих винтов, между модулем и направляющей устанавливаются регулировочные втулки. Образовавшееся пространство заполняется монтажной пеной. При необходимости между модулем и кронштейном дополнительно с двух сторон устанавливают усиливающий уголок для компенсации ветровых нагрузок.

10. Вертикальные и горизонтальные стыки герметизируются.

Проведенный патентный поиск в русскоязычном секторе интеллектуальной собственности показал, что на сегодняшний день существует несколько аналогов [13–17]. В них были найдены и устранены недостатки при разработке предложенного метода.

5. Перспективы развития «рельсовой» технологии

«Рельсовый» метод монтажа модульных фасадных элементов – это целое направление, которое имеет неограниченные перспективы развития и совершенствования. Например, для устройства геометрически сложного фасада, даже с наличием горизонтальных участков, можно использовать *метод «Фасадная вагонетка»*, за основу которого взят способ крепления колесной пары на развлекательном аттракционе «Американские горки». Для возможности крепления под различными углами к перекрытию и увеличения несущей способности кронштейна его необходимо вмонтировать в плиту перекрытия (рис. 15). Регулировка установки направляющего профиля осуществляется путем варьирования глубины вставки в кронштейн.

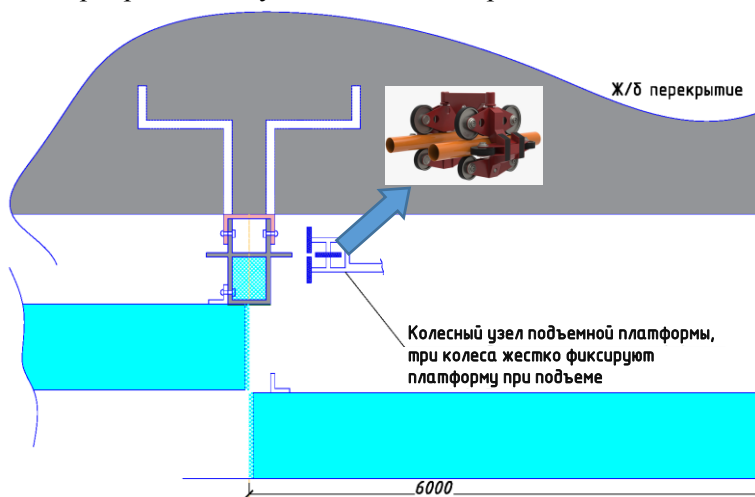


Рис. 15. Метод монтажа модульных фасадных элементов «Фасадная вагонетка»

Отличия от «рельсового» метода:

- 1) изменение колесного крепления подъемной платформы к направляющим профилям;
- 2) изменение направляющего профиля;
- 3) замоноличивание кронштейна в перекрытие.

Метод «Вертикальное метро» – «рельсовая» технология с направлением монтажа снизу вверх. На установленный направляющий профиль через расчетное расстояние крепятся рельсы. При этом способе подъемная платформа будет двигаться снаружи от установленных фасадных модулей (рис. 16). После монтажа фасада рельсы либо снимаются, либо остаются. Оставленные рельсы используются для очистки фасада (по ним передвигается люлька, с которой производится очистка ограждающих конструкций), а также эксплуатации и возможного ремонта вышедших из строя элементов стыка модулей или полной замены ограждающей конструкции.

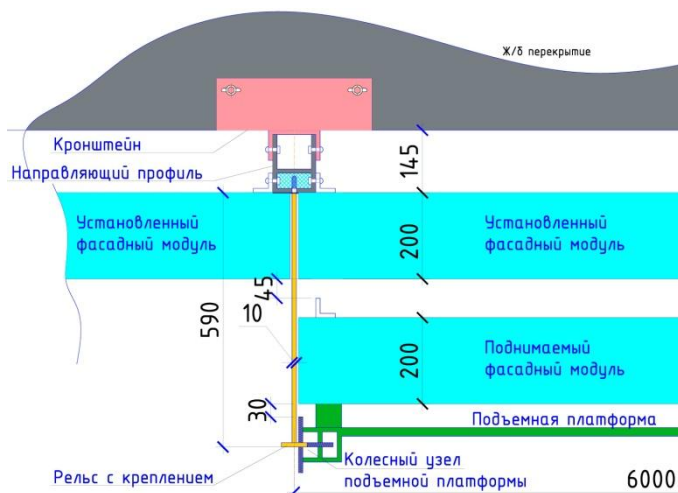


Рис. 16. Метод монтажа модульных фасадных элементов
«Вертикальное метро»

При возведении зданий большой высоты подъем модулей и спуск платформы для повторного подъема будут занимать большое количество времени, возникнет длительный технологический простой. В этом случае на одной захватке необходимо устанавливать две и более подъемные платформы, которые будут перемещаться по принципу конвейера. После закрепления фасадного модуля подъемная платформа начнет спуск вниз уже не по рельсам, тем самым освободив путь для подъема следующего фасадного модуля. *«Конвейерный» метод* монтажа будет многократно сокращать сроки устройства фасада высотных зданий.

Каждый из вариантов «рельсовой» технологии имеет следующие немаловажные плюсы:

1. Из-за неточности монтажа конструкций у фасадной подсистемы есть возможность регулировки плоскости установки модульных элементов (у кронштейна – лево/право, у направляющего профиля – к зданию и от него).

2. Уплотнитель на боковой поверхности (соприкасающейся с другими модулями) устойчив к истиранию с большим коэффициентом линейного расширения, что исключает воздействие от температурного расширения, попадание и возможное замерзание влаги в шве.

3. Расстояние между модулями должно быть минимальным, чтобы уменьшить попадание влаги в стык и сделать его менее заметным на фасаде.

4. Направляющий профиль с внешней стороны имеет уплотнитель. При закреплении модуля он исключает возможные механические повреждения, а в процессе эксплуатации является дополнительной тепло- и пароизоляцией.

5. Направляющий профиль находится в теплой зоне, и для исключения возможных дефектов стыка модуля сечение профиля делится на две части (внешняя заполняется теплоизоляцией).

Заключение

В результате анализа конструктивных решений и методов монтажа остекленных фасадов современных высотных зданий модульным методом были выявлены недостатки существующих

технологий и определено то, что необходимо улучшить. Результатом нашей работы стало целое прорывное, прогрессивное направление устройства фасадов высотных зданий, которое на фоне сокращения сроков и удешевления строительства имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с другими фасадными системами и известными способами монтажа.

«Рельсовая» технология при остеклении высотных зданий крупноразмерными монтажными модулями позволяет существенно повысить производительность труда при монтаже с высоким качеством работ, обеспечить их безопасность на строительной площадке.

Эта технология имеет неограниченные перспективы развития и совершенствования, так как выполнение работ не зависит от климатических условий, есть возможность установки подъемного устройства в теплой зоне и изнутри здания. Данный способ монтажа можно рекомендовать для строительства в экстремальных условиях Крайнего Севера.

Патентный поиск подтвердил отсутствие подобных методов в русскоязычном секторе интеллектуальной собственности.

Список литературы

1. *Global Cities & Buildings Database*. – Текст : электронный // SkyscraperPage.com : веб-сайт. – URL: <https://skyscraperpage.com/cities> (дата обращения: 26.06.2021).
2. *ГОСТ 27321-2018*. Леса стоечные приставные для строительно-монтажных работ. Технические условия : 2019-05-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
3. *Спиридонов, А.* История развития стеклянных фасадов с точки зрения их энергоэффективности. – Текст : электронный // WIKIPRO. Окна. Двери. Мебель : отраслевая энциклопедия. – URL: <https://www.wikipro.ru/wiki/istoriya-razvitiya-steklyannyh-fasadov-s-tochki-zreniya-ih-energoeffektivnosti/> (дата обращения: 26.06.2021).
4. *Галина, Э. Ю., Верхорубова, А. С., Попов, О. Н.* Остекление высотных сооружений // Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы : материалы III Междунар. науч.

- конф. студентов и молодых ученых, Томск, 22–25 нояб. 2016 г. – Томск : Том. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2016. – С. 148–153.
5. *Магай, А. А., Дубинин, Н. В.* Современное стекло светопрозрачных фасадов многофункциональных высотных зданий // Вестник МГСУ. – 2010. – № 3. – С. 36–42.
 6. *Миков, В. Л.* Внимание, высота // Светопрозрачные конструкции. – 2003. – № 6 (32). – С. 51–52.
 7. *ГОСТ Р 58755-2019.* Подмости передвижные сборно-разборные. Технические условия : введ. 2020-09-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
 8. *ГОСТ 27372-87.* Люльки для строительно-монтажных работ. Технические условия : введ. 1989-01-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
 9. *Производство* стеклопакетов на самой большой в мире линии. – Текст : электронный // ОКНА МЕДИА : сайт. – URL: <https://www.oknamedia.ru/novosti/proizvodstvo-steklopaketov-na-samoy-bolshoy-v-mire-linii-48249> (дата обращения: 26.06.2021).
 10. *Успенский, А. А., Мильков, В. Г.* Создание стеклопакетов для зданий повышенной этажности // Стройпрофиль. – 2006. – № 3 (49). – С. 72–74.
 11. *Щуров, А. Н.* Прочностные расчеты стекол в стеклопакете // Светопрозрачные конструкции. – 2005. – № 6 (44). – С. 33.
 12. *ГОСТ Р 54858-2011.* Конструкции фасадные светопрозрачные. Метод определения приведенного сопротивления теплопередаче : введ. 2012-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
 13. *Патент № 69114* Российская Федерация, МПК E04F 13/08 (2006.01). Фасадный кронштейн для крепления навесных панелей для облицовки зданий : № 2007136622/22 : заявл. 03.10.2007 : опубл. 10.12.2007 / Барышев В. В., Архангельский С. В. – 2 с.

14. *Патент № 2448223* Российская Федерация, МПК E04F 13/07 (2006.01). Стеновая теплоизолирующая панель с вентилируемым фасадом заводской готовности «Рослав» и опорный кронштейн для ее установки : № 2010140213/03 : заявл. 01.10.2010 : опубл. 20.04.2012 / Архангельский С. В., Каратаев С. Г., Тепляков Д. А., Черных А. С., Барышев В. В., Песков А. В. – 11 с.
15. *Патент № 2558880* Российская Федерация, МПК E04F 13/07 (2006.01). Способ безвыверочного монтажа модульных стеновых панелей каркасного здания : № 2013139392/03 : заявл. 23.08.2013 : опубл. : 10.08.2015 / Титов М. М., Карнаков Д. А. Веселова М. В. ; заявитель НГАСУ (Сибстрин). – 12 с.
16. *Патент № 73909* Российская Федерация, МПК E06B 7/10 (2006.01). Система профилей для модульного фасада здания : № 2008105139/22 : заявл. 11.02.2008 : опубл. : 10.06.2008 / Лунин В. В., Кузнецов А. Н., Ношик А. А., Разумкин В. С., Бочаров А. И., Доценко А. М., Малькин В. И., Ворошилов С. Ф. ; заявитель ООО «Сиал». – 5 с.
17. *Патент № 46287* Российская Федерация, МПК 7 E 06 B 7/10. Светопрозрачное ограждение фасада многоэтажного здания : № 2005100972/22 : заявл. 18.01.2005 : опубл. 27.06.2005 / Халтурин А. В., Лапочкин Л. А., Савинков Т. В., Бирюков Т. А. ; заявитель ООО «РусАлюмСтрой». – 2 с.

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В МОДЕЛЯХ ПРИ ПЕЧАТИ НА 3D-ПРИНТЕРЕ

Н.Н. Столяров^{*}, А.Д. Сухих^{}, М.В. Табанюхова^{***}**

Рассматривается проблема остаточных напряжений в моделях из пластика, напечатанных на 3D-принтере. Известно несколько технологий изготовления моделей с применением аддитивных технологий, в данном исследовании использовались методы FDM и SLA 3D-печати. Результатом большинства технологий 3D-печати является возникновение в деталях и изделиях остаточных напряжений, обусловленных тем, что в процессе печати материал расширяется при нагреве и сжимается при остывании. Наличие или отсутствие остаточных напряжений, а также их интенсивность зависят от модели используемого принтера и техники печати. Рассмотрены три модели принтера, с помощью метода фотоупругости исследовано напряженное состояние образцов, напечатанных на этих принтерах, выявлена наиболее подходящая с точки зрения остаточных напряжений технология печати.

Ключевые слова: 3D-принтер, модели, пластик, остаточные напряжения, метод фотоупругости

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-48-54

Введение

Печать на 3D-принтере получила наибольшую популярность в XXI веке за счет доступности и практичности изготовления моделей. Аддитивное производство (3D-печать) – это процесс послойного наращивания и синтеза объекта с помощью компьютерных 3D-технологий. Основным преимуществом 3D-печати является создание объектов с относительно высокой точностью и скоростью.

Существуют разные технологии моделирования 3D-объекта: полимеризация фотополимерной смолы под воздействием

^{*} Ст. преподаватель НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Студент НГАСУ (Сибстрин)

^{***} Канд. техн. наук, доцент НГАСУ (Сибстрин)

ультрафиолета (SLA), послойное наплавление пластика (FDM) и другие. Изготовление изделий с применением большинства 3D-технологий приводит к возникновению в них остаточных напряжений.

В данной работе рассмотрены технологии, позволяющие напечатать модель из прозрачного материала, обладающего оптической чувствительностью (это важно для метода фотоупругости). В связи с этим были выбраны две названные выше технологии (SLA и FDM) [1]. Материалы, использованные в настоящем исследовании, – пластиковый филамент PETG (полиэтилентерефталат-гликоль) и жидкий фотополимер марки Weistek Standard (photopolymer resin). Фотополимер для 3D-печати – это многокомпонентная смесь, твердеющая под воздействием УФ-излучения с частотой 415 нм. Смесь состоит из мономеров, олигомеров (эпоксидные смолы, уретаны, полиэферы) и фотоинициаторов (бензофенон, ксантоны и хиноны). Сравнение образцов из разных материалов дает более широкое представление о природе возникновения остаточных напряжений [2].

Актуальность работы. Для метода фотоупругости требуются прозрачные материалы, обладающие высокой оптической чувствительностью. Количество таких материалов ограничено, их производство сопряжено с рядом сложностей [3]. Для исследования напряженного состояния узлов и конструкций простой формы встает проблема изготовления образцов сложной конфигурации, а для этого как нельзя лучше подходит 3D-печать.

Научная новизна полученных в рамках настоящего исследования результатов обусловлена тем, что работ, направленных на изучение оптических свойств новых материалов, используемых при 3D-печати, крайне мало. Есть исследования, посвященные поиску оптически чувствительных филаментов (исследования выполнены при участии некоторых авторов данной работы). Так, в одной из них приведено сравнение нескольких филаментов и установлено, что PETG-пластик обладает высокой оптической чувствительностью [4]. В связи с тем, что ранее уже уста-

новлена ценность PETG-пластика с точки зрения фотоупругости, нами он тоже использован. Кроме того, в рамках настоящего исследования выявлен еще один материал, обладающий высокой способностью к двойному лучепреломлению, – фотополимер марки Weistek Standard (photopolymer resin). Итак, есть материалы с высокой оптической чувствительностью, есть возможность печатать модели сложной конфигурации, и тут возникает проблема остаточных напряжений, что абсолютно недопустимо, так как одно из требований, предъявляемых к оптически чувствительным материалам, используемым в методе фотоупругости, и состоит в отсутствии напряжений в материале при его поставке.

Итак, *цель работы* – выявить наиболее подходящую технологию печати и модель 3D-принтера с точки зрения возникновения остаточных напряжений, а точнее, их отсутствия.

1. Постановка задачи

Для достижения сформулированной цели поставлены следующие задачи:

- ознакомиться с различными моделями 3D-принтеров, использующих технологию послойного наплавления и УФ-облучения;
- выявить причину появления остаточных напряжений, возникающих в процессе и после печати моделей;
- найти решение проблемы возникновения остаточных напряжений (не допустить их появления или свести на нет появившиеся);
- проанализировать модели 3D-принтеров и типы печати, выбрать те, которые удовлетворяют заявленной цели.

2. Техника эксперимента

В рамках настоящего исследования напечатаны три партии образцов (прямоугольные пластины): две партии образцов из PETG-пластика и одна партия из фотополимерной смолы. При печати на 3D-принтере PETG-пластик подвергался FDM. FDM – метод послойного наплавления с использованием пластиковой

нити или гранул (в нашем случае – нити). Образцы из фотополимерной смолы были напечатаны с помощью метода SLA. SLA – ультрафиолетовая стереолитография, основанная на послойном отверждении жидкого фотополимера под воздействием ультрафиолета (он же – метод УФ-облучения) [1].

На рис. 1 представлены модели 3D-принтеров, которые использовались в данной работе.



Рис. 1. Модели 3D-принтеров: *а* – открытый дельта (Flsun QQ);
б – закрытый ортогональный (Faberant cube);
в – фотополимерный (Anycubic Photon S)

Отличия представленных принтеров заключаются в разной технологии печати. Закрытый и открытый 3D-принтеры печатают с помощью наплавления пластика. Кожух позволяет принтеру наносить слои материала с равномерной температурой, что уменьшает деформацию печатаемой модели. Технология печати фотополимерного 3D-принтера предполагает УФ-облучение [1].

Пластик при наплавлении находится в жидком состоянии. Температура наплавления составляет 230 °С. Из-за температурной разницы между слоями материала, которые уже были наложены, в модели образуются остаточные напряжения, понижающие коэффициент запаса прочности изделий [2]. Данный коэффициент представляет собой отношение предельных напряжений к допускаемым, где предельные напряжения – это напряжения, при которых появляются признаки разрушения конструкции или возникают недопустимые пластические деформации.

ции материала. Допускаемым напряжением называется наибольшее напряжение для материала конструкции, при котором в данных условиях нагружения гарантированы необходимая прочность и надежность работы [2].

3. Результаты исследования

Остаточные напряжения – это напряжения, являющиеся следствием физических и физико-химических процессов, начинающихся в материале при изготовлении детали и продолжающихся после изготовления. При печати на принтерах, описанных выше (см. рис. 1), остаточные напряжения проявляются с разной интенсивностью. На рис. 2 представлены фотографии картин полос интерференции в образцах с остаточными напряжениями. Для их обнаружения в работе использован метод фотоупругости. Это экспериментальный метод анализа напряжений и деформаций, особенно полезный при исследовании объектов сложной геометрии. Фотоупругость основана на изменении показателя преломления поляризованного света под механической нагрузкой [3].

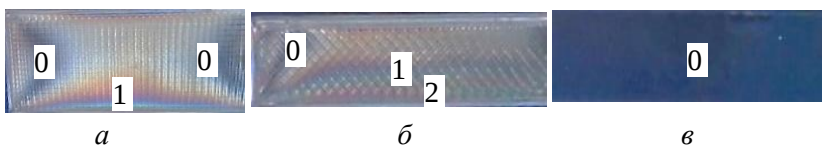


Рис. 2. Картинки полос интерференции:

а – в модели из PETG-пластика, напечатанной на открытом 3D-принтере; *б* – в модели из PETG-пластика, напечатанной на закрытом 3D-принтере; *в* – образец, напечатанный на 3D-принтере из фотополимерной смолы

Остаточные напряжения можно наблюдать в моделях из PETG-пластика (см. рис. 2*а, б*). Особенно это заметно в образце, при печати которого использовался закрытый принтер (см. рис. 2*б*).

Изначально предполагалось, что печать моделей на открытом 3D-принтере приводит к возникновению остаточных напряжений из-за большого перепада температур в образце и в ок-

ружающей среде. По этой причине при печати моделей на закрытом 3D-принтере ожидалось получить более низкую интенсивность напряжений либо вообще их отсутствие. Ожидания не оправдались. Так, на рис. 2б порядок интерференционной полосы достиг двух, что говорит о более высоком напряжении. Зато печать моделей на фотополимерном принтере оказалась предсказуемой: остаточные напряжения отсутствуют.

Проблему остаточных напряжений, возникающих при печати, можно решить с помощью нескольких способов [1]:

- подогрев платформы построения;
- оптимальная ориентация деталей в камере построения для уменьшения площади сплавляемых сечений;
- прогрев пластика после его построения для уменьшения остаточных напряжений.

В настоящей работе была опробована последняя рекомендация. Образцы из PETG-пластика прогревались в печи при 80 °С (ниже температуры стеклования) в течение 60 минут, после чего оставались в ней до полного и равномерного остывания. Это привело к уменьшению остаточных напряжений, но не к полному решению проблемы.

Заключение

Из двух рассмотренных технологий 3D-печати оптимальной для реализации поставленной цели является метод УФ-облучения. Модель принтера, использованная в данном исследовании, – Anycubic Photon S.

Прогрев образцов как способ устранения остаточных напряжений подходит не для каждого материала. Он не дает точную температурную или временную зависимость, а результат не всегда гарантированно положительный. В отношении моделей из PETG-пластика требуется серия дополнительных экспериментов, направленных на поиск техники печати, гарантирующей отсутствие остаточных напряжений в материале.

Список литературы

1. *Лысыч, М. Н., Шабанов, М. Л., Качурин, А. А.* Обзор современных технологий 3d-печати // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 6. – С. 26–30.
2. *Турусов, Р. А., Мемарианфард, Х.* Дискретная модель в анализе остаточных напряжений однонаправленных намоточных цилиндров из армированного пластика в процессе охлаждения // Вестник МГСУ. – 2015. – № 1. – С. 27–35.
3. *Александров, А. Я., Ахметзянов, М. Х.* Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. – Москва : Наука, 1973. – 576 с.
4. *Aseyev, M. A., Tabanyukhov, K. A., Tabanyukhova, M. V.* Search for plastics with piezo optic properties // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. The conference proceedings ICCATS-2020. South Ural State University (national research university), Irkutsk National Research Technical University, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. – 2020. – P. 022074.

УДК 72.025.5

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

А.С. Искра^{*}, М.И. Акимова^{}**

Рассматривается зарубежный и отечественный опыт реконструкции зданий центральных тепловых пунктов 1960–1990-х годов постройки. Проанализированы положительные и отрицательные примеры изменения функционального назначения данных зданий. Выявлены сложности, возникающие при реконструкции.

Ключевые слова: реконструкция, центральный тепловой пункт, ЦТП, здание

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-55-68

Введение

Центральный тепловой пункт (далее – ЦТП) – это элемент системы централизованного теплоснабжения, который служит для распределения и подачи теплоты до группы зданий [1].

Данные функциональные элементы получили широкое применение в 1960–1980-х годах в крупных системах централизованного теплоснабжения СССР. Их, как правило, размещали в отдельных, предназначенных для этой цели зданиях, на некотором удалении от обслуживаемых домов квартала или микрорайона с целью изоляции последних от шума и вибраций, создаваемых оборудованием [2, с. 88]. Оборудование того периода было шумным и громоздким.

^{*} Магистрант кафедры архитектурного проектирования зданий и сооружений НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Кандидат искусствоведения, доцент НГАСУ (Сибстрин)

В последнее время все чаще поднимается вопрос о модернизации системы теплоснабжения. Рассматривается как минимум два варианта модернизации [3].

Первый вариант – это ликвидация ЦТП с устройством индивидуальных тепловых пунктов (далее – ИТП) в обслуживаемых зданиях, что полностью освобождает пространство здания ЦТП от оборудования.

Второй вариант – модернизация оборудования ЦТП. При этом освобождается большая часть пространства здания, так как новое оборудование более компактное.

Согласно СП 41-101-95 [4], ЦТП может быть встроенным в общественные, административно-бытовые или производственные здания и сооружения при условии его расположения в отдельном помещении. Отсюда следует возможность изменения функционального назначения освободившегося пространства здания, надстройки и пристройки помещений ЦТП; открываются разнообразные варианты его реконструкции для благоустройства жилого квартала. Экономическая эффективность капитальных вложений в реконструкцию значительно выше, чем в новое строительство.

Исследований, посвященных архитектурной реконструкции зданий данного функционального назначения, рассматривающих реконструкцию комплексно, с учетом множества факторов, влияющих на выбор нового функционального назначения, авторами в процессе работы обнаружено не было. Актуальность исследования подтверждается недостаточной изученностью проблемы исследования.

Целью работы является изучение имеющегося зарубежного и отечественного опыта реконструкции зданий ЦТП.

Опыт реконструкции зданий ЦТП

Опыт Латвийской Республики. В рамках концепции развития Риги была произведена ликвидация ЦТП с переходом на независимую схему с индивидуальным тепловым пунктом в каждом доме.

Освободившиеся здания распродали или сдали в аренду, в них расположили магазины, пункты обслуживания населения

и т.п. [5]. С 1999 года в Риге было освобождено от оборудования 185 зданий ЦТП [6].



Рис. 1. Здание ЦТП, реконструированное под зоомагазин (Рига, Латвийская Республика)

Опыт Республики Беларусь. В 2019 году в Железнодорожном районе Гомеля прошли общественные обсуждения архитектурно-планировочной концепции реконструкции здания теплового пункта, расположенного в квартале, ограниченном улицами Свиридова, Огоренко, Олимпийской, Петруся Бровки (рис. 2) под помещение физкультурно-оздоровительного и спортивного назначения с целью поддержания и улучшения здоровья жителей города.

Реконструкцией предусматривалось строительство двух пристроек площадью 125 и 36 м² и второго этажа физкультурно-оздоровительного и спортивного назначения к существующему одноэтажному кирпичному зданию. Также проектом намечалось устройство спортивной площадки под открытым небом для занятий гимнастикой, на которой будут расположены спортивные снаряды, брусья, турники и т.д.

Архитектурная концепция – создание здания с односкатной кровлей в современном стиле с применением большого количества остекления для придания зданию визуальной легкости (рис. 3) [7].



Рис. 2. Ситуационная схема реконструируемого здания ЦТП
(Гомель, Республика Беларусь)

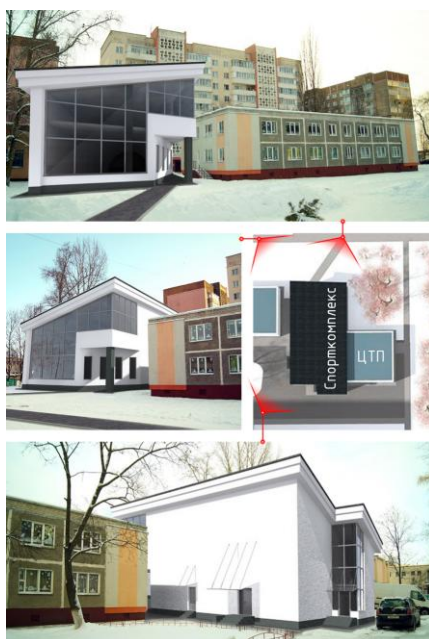


Рис. 3. Концепция реконструкции здания ЦТП
(Гомель, Республика Беларусь)

Опыт Украины. В.Ф. Гершкович, канд. техн. наук, член-корреспондент Украинской академии архитектуры, в своих научно-технических статьях [8, 9] рассматривает положительные аспекты модернизации оборудования и перехода от центральных тепловых пунктов на индивидуальные, приводит успешный опыт реконструкции ЦТП общественного здания. Установка современного отечественного оборудования позволила освободить производственную площадь здания. Изначально тепловой пункт высотой 4,5 м занимал пространство площадью более 100 м². Новый тепловой пункт высотой 2,5 м уместился в помещении площадью 18 м² [8]. Было высвобождено примерно 90 % пространства здания. Данный опыт подтверждает возможность реконструкции зданий тепловых пунктов при модернизации оборудования.

Также В.Ф. Гершкович рассматривает ликвидацию ЦТП путем размещения нового оборудования теплового пункта в подвалах жилых зданий. Индивидуальный тепловой пункт 9-этажного жилого дома с полным комплектом оборудования может разместиться в подвальном помещении площадью 6 м² при высоте 2,1 м, т.е. такой вариант возможен для большинства домов. Современное оборудование энергоэффективно, экономия средств на покупку тепловой энергии жителями микрорайона позволит окупить инвестиции в срок до трех лет. Источником финансирования рассматривается продажа или сдача в аренду освободившихся от оборудования зданий под строительство предприятий торговли, игровых центров и офисных помещений [9].

На рис. 4 представлена концепция реконструкции здания ЦТП, расположенного во Львове, вблизи пересечения улиц Симона Петлюры и Кульчицкой.

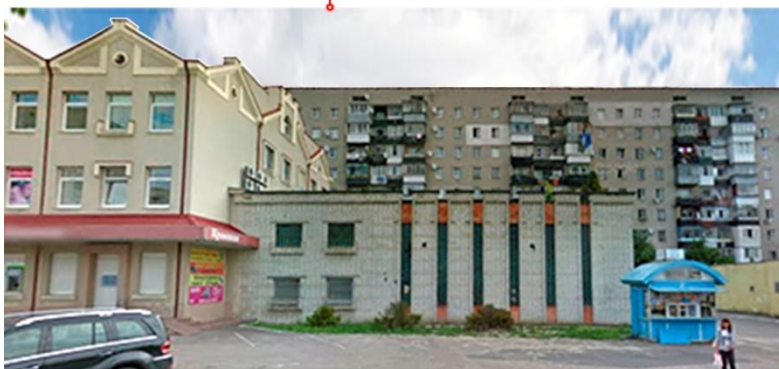


Рис. 4. Концепция реконструкции здания ЦТП под офисные помещения (Львов, Украина)

Отечественный опыт. В столице России необходимость реконструкции зданий данного функционального назначения путем их надстройки рассматривается с 1996 года и актуальна по настоящее время. Целью реконструкции является повышение эффективности использования территории и расширение полезной площади ЦТП, более полное удовлетворение потребностей города в помещениях культурно-бытового назначения без выделения дополнительных земельных участков под строительство [10]. С 2009 по 2012 год рассматривалась комплексная реконструкция зданий, перечень которых составлял почти три тысячи [11]. Освободившиеся площади планировалось использовать для размещения предприятий потребительского рынка и открытия комплексных центров по предоставлению населению социально значимых услуг в шаговой доступности по месту жительства, открытия детских игровых комнат с размещением детских площадок на территории, прилегающей к зданию [12].

В Новосибирске постепенно происходит точечная реконструкция зданий тепловых пунктов. Рассмотрим некоторые из них. К примеру, здание теплового пункта, расположенное в квартале, ограниченном проспектом Карла Маркса, улицами Ватутина, Блюхера, Космической, находится на завершающем этапе реконструкции. Увеличение площади почти в пять раз (с 200 до 960 м²) произвели за счет надстройки трех этажей (двух рядовых и мансардного), в помещениях которых будет размещен центр технического творчества для работы со взрослым населением района (рис. 5) [13].

Однако существуют и негативные последствия такой реконструкции для жильцов, когда здание рассматривается только с точки зрения экономической выгоды. Например, тепловой пункт, расположенный в центре двора, вблизи пересечения Красного проспекта и улицы Кропоткина, превратился в двухэтажное офисное здание, которое не вписывается в окружающую застройку (рис. 6). Также это создало дополнительную нагрузку на парковочные места, тем самым усугубив проблему парковки автомобилей в жилом дворе.



Рис. 5. Здание ЦТП, реконструированное под центр технического творчества (Новосибирск)

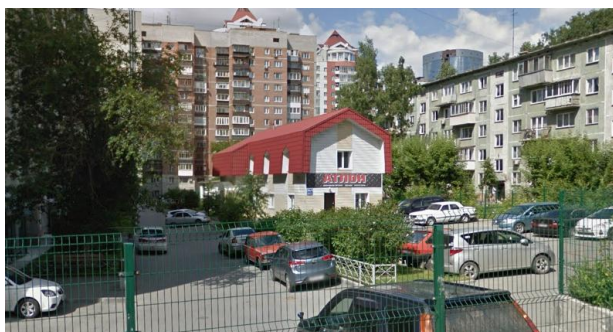


Рис. 6. Реконструированное здание ЦТП вблизи пересечения Красного проспекта и улицы Кропоткина (Новосибирск)

Сложности могут возникнуть и при реконструкции теплового пункта под здание для культурно-досуговой деятельности населения. Например, для теплового пункта, расположенного вблизи пересечения улиц Нижегородской и Бориса Богаткова, с 2007 года разрабатывался проект реконструкции под здание библиотеки (рис. 7), который предполагал шестикратное увеличение площади.



Рис. 7. Проект реконструкции здания ЦТП под библиотеку (сверху), исходное здание (снизу) (Новосибирск)

За прошедшие 13 лет данный проект не был реализован. Жители соседних домов с недоверием отнеслись к нему. Земельный участок с кадастровым номером 54:35:074540:3, на котором находится здание теплового пункта, при межевании получил значительную площадь, превышавшую площадь земельного участка соседнего многоэтажного жилого дома (рис. 8). В 2017 году он рассматривался как участок для размещения гостиницы (код 4.7) и получил отказ в выдаче разрешения на данный вид использования [14]. В настоящее время его разрешено использовать для коммунального обслуживания (код 3.1) и культурного развития (код 3.6). Возникает вопрос о целесообразности постройки библиотеки на придомовой территории.



Рис. 8. Ситуационная схема здания ЦТП, для которого разрабатывался проект реконструкции под библиотеку (желтым выделен земельный участок) (Новосибирск)

Крайне негативным примером является переоборудование теплового пункта под сооружение для технического обслуживания транспортных средств. Рассмотрим здание теплового пункта, расположенное в квартале, ограниченном улицами Салтыкова-Щедрина, 1905 года, Красноярской (рис. 9). Данное здание было переоборудовано для использования в качестве автомойки (рис. 10). Это противоречит нормативным требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [15]. Мойка автомобилей до двух постов относится к V классу санитарно-защитной зоны, размер которой должен составлять 50 м. В санитарно-защитной зоне не допускается размещать жилую застройку, детские площадки и образовательные учреждения. Автомойка увеличивает поток автомобилей на дворовой территории и служит источником шума. Также нарушено требование ГОСТ Р 52766-2007 [16] – минимально допустимое расстояние от автомойки до жилого дома составляет 25 м.

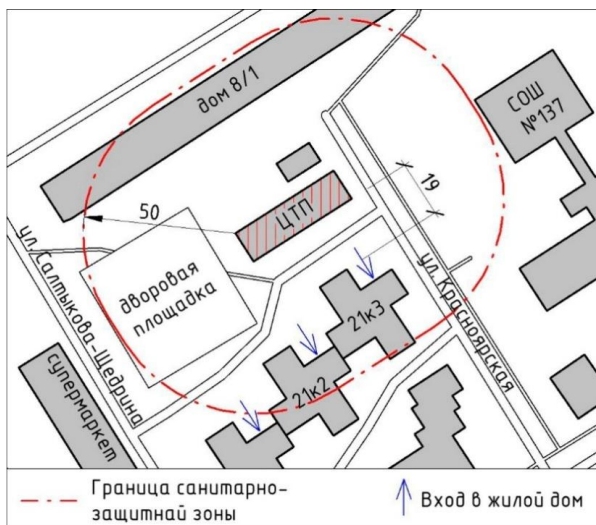


Рис. 9. Ситуационная схема здания ЦТП, переоборудованного под станцию технического обслуживания с автомойкой



Рис. 10. Здание ЦТП, переоборудованное под станцию технического обслуживания с автомойкой (Новосибирск)

Заключение

Реконструкция зданий ЦТП актуальна для крупных городов на постсоветском пространстве. На основе опыта прошлых лет можно сказать, что реконструкция зданий ЦТП является непростой задачей, так как они располагаются среди жилой застройки. При определении нового функционального назначения нужно учитывать множество факторов: размер земельного участка и самого здания, расстояние до обслуживаемых зданий, плотность окружающей застройки, наличие проезда и пешеходных путей и др.

Здания тепловых пунктов можно реконструировать под объекты соцкультбыта, необходимые для жилого квартала. Отрицательный пример – реконструкция под офисные помещения без учета специфики окружающей застройки или под использование в качестве станции технического обслуживания.

Основными и наиболее реальными направлениями смены функционального назначения являются предприятия розничной торговли и офисные помещения, реже – объекты культурно-досуговой и физкультурно-оздоровительной деятельности населения. К сложно допустимым вариантам, в связи с нормами их устройства, можно отнести hostels, прачечные, автомойки, пункты сортировки мусора. Также возможно рассмотреть варианты реконструкции под павильон проката велосипедов для жителей квартала или зимний сад.

Список литературы

1. *Чистович, С. А.* Технологические схемы систем теплофикации, теплоснабжения и отопления // АВОК. – 2007. – № 7. – С. 10–25.
2. *Соколов, Е. Я.* Теплофикация и тепловые сети : учебник для вузов. – Москва : МЭИ, 2001. – 472 с.
3. *Музалевская, Г. Н., Музалевский, А. А.* Проблемы реконструкции и модернизации ЦТП в старой жилой застройке в российских городах // Сборник докладов Междунар. науч.-практ. конф. (к 165-летию со дня рождения В. Г. Шухова), Белгород, 17 апр. 2018 г. – Белгород : БГТУ, 2018. – С. 188–195.

4. *СП 41-101-95*. Проектирование тепловых пунктов : введ. 1996-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
5. *Миницкий, Р., Дубсон, М., Пестов, Е.* Теплоснабжение Риги: опыт перехода к рынку // *Новости теплоснабжения*. – 2003. – № 2. – С. 43–44.
6. *Семенов, В. Г.* Теплоснабжение Риги // *Новости теплоснабжения*. – 2005. – № 9 (61). – С. 26.
7. *Реконструкция* изолированного помещения с инвентарным номером 350/D-127312 (помещение неустановленного назначения) под помещение физкультурно-оздоровительного и спортивного назначения по ул. Свиридова, 23А в городе Гомеле : извещение о проведении общественного обсуждения архитектурно-планировочной концепции объекта. – Текст : электронный // Администрация Железнодорожного района города Гомеля : официальный сайт. – 2019. – URL: <http://www.argw.gov.by/?q=ru/node/6756> (дата обращения: 01.12.2020).
8. *Гершкович, В. Ф.* Опыт реконструкции теплового пункта общественного здания // *Новости теплоснабжения*. – 2001. – № 8 (12). – С. 27–33.
9. *Гершкович, В. Ф.* Пора избавляться от ЦТП // *С.О.К.* – 2006. – № 3. – С. 43–48.
10. *О реконструкции* центральных тепловых пунктов (ЦТП) Департамента энергетики и энергосбережения : постановление правительства Москвы от 12.03.1996 № 243. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
11. *О совершенствовании* комплексного обслуживания населения в сфере потребительского рынка и услуг в городе Москве (с изм. на 03.07.2012) : постановление правительства Москвы от 20.01.2009 № 25-ПП. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
12. *О проведении* комплексной реконструкции зданий центральных тепловых пунктов и тепловых сетей : постановле-

- ние правительства Москвы от 10.07.2009 № 1508-ПП. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
13. *Сокольникова, Л.* Тепловой пункт на площади Маркса переделали в центр технического творчества. – Текст : электронный // Новосибирские новости : официальный сайт. – 2020. – 20 июля. – URL: <https://nsknews.info/materials/teplovoy-punkt-na-pl-marksa-peredelali-v-tsentr-tekhnicheskogo-tvorchestva/> (дата обращения: 01.12.2020).
 14. *Об отказе* в предоставлении разрешения на условно разрешенный вид использования земельного участка или объекта капитального строительства : постановление мэрии города Новосибирска от 15.06.2017 № 2803. – Текст : электронный // Мэрия города Новосибирска : официальный сайт. – 2020. – URL: <https://novo-sibirsk.ru/upload/building/2017%202803.pdf> (дата обращения: 01.12.2020).
 15. *СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.* Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : утв. постановлением Глав. гос. санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74 : с изм. на 25.04.2014. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
 16. *ГОСТ Р 52766-2007.* Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования : введен. 2008-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛОТНОСТИ ЗАСТРОЙКИ НА КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

А.А. Чебакова^{*}, Д.В. Карелин^{}**

Исследуется влияние плотности застройки на устойчивость комплексного развития территории городов. Выявляются факторы, которые влияют на комфорт проживания. Описывается история возникновения понятия «плотность застройки». Сравниваются показатели плотности застройки нормативных документов разных лет.

Ключевые слова: плотность застройки, коэффициент плотности застройки, градостроительство

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-69-75

Введение

В настоящее время происходит увеличение плотности застройки в силу роста численности населения городов, комплексного преобразования территорий и реконструкции жилищного фонда. Но это не всегда положительно сказывается на развитии территории. Плотность застройки различается в зависимости от того, где строится здание, – в центре города или на периферии. Для разных зон коэффициент плотности застройки может достигать 2,5. Чем меньше этот показатель, тем просторнее и вместительнее будет внутридворовое пространство.

Целью исследования является выявление зависимости факторов влияния изменения плотности застройки на развитие городских территорий.

Высокая плотность населения предполагает высокую плотность застройки. При увеличении плотности застройки повыша-

^{*} Магистрант кафедры архитектуры и реконструкции городской среды НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Канд. архитектуры, доцент кафедры градостроительства и городского хозяйства, НГАСУ (Сибстрин)

ется эффективность размещения жилой недвижимости, объектов коммерческой инфраструктуры на городских территориях. При этом зоны с одинаковыми показателями плотности застройки могут иметь достаточно разные объемно-пространственные характеристики, которые и определяют комфортность городской среды для жителей.

К факторам, влияющим на комфортность среды, можно отнести градостроительные, технико-экономические, архитектурные [1].

К градостроительным факторам относят [2]:

- расположение в структуре города;
- этажность застройки;
- плотность застройки;
- коэффициент застройки;
- размер участка.

К технико-экономическим факторам можно отнести требования к пожарным разрывам между зданиями, проездам для пожарных машин, инсоляции, размерам функциональных зон, размещению социальной и транспортной инфраструктуры.

Определяющими факторами в степени комфортности среды являются архитектурные. Архитектурные решения не только функциональны, но и могут нести эмоциональную нагрузку, воздействовать на психологию человека. Они формируют узнаваемость и идентичность места, его безопасность, соразмерность и гуманность пространства.

Постановка задачи

Понятие «плотность застройки» впервые появляется во времена деятельности института градостроительства и инвестиционного развития «Гипрогор», который был создан в 1929 году для проектирования генеральных планов городов и рабочих поселков, разработки проектной документации для новостроек первых пятилеток.

В 1960-е годы быстрыми темпами шло массовое жилищное строительство. При этом практически не учитывалась ценность земли, что привело к разрастанию городских территорий. При сравнении нормативных показателей 1950-го и 1958-го годов

становится очевидно, что произошло резкое снижение плотности при переходе на массовую застройку микрорайонами (по сравнению с малыми кварталами – в среднем в 1,5 раза). Это стало результатом недооценки опыта застройки укрупненными кварталами 1940–1950-х годов, отсутствия научных рекомендаций по обоснованию нормативных показателей.

В последние десятилетия XX века в отечественной градостроительной науке становятся актуальными исследования рационального использования территорий. Советским правительством было принято решение использовать для массового строительства жилья типовые проекты. Разрастание городов имело отрицательные последствия. Тогда в сложившиеся микрорайоны стали добавлять дополнительные дома. Уплотнение застройки позволило разнообразить наружные пространства в застройке, сделать их более приватными.

Были унифицированы и стандартизированы элементы жилой застройки, разработаны нормативные документы, регламентирующие пространственные характеристики застройки, принят «Единый каталог строительных материалов». В условиях однородной застройки «этажность» и «плотность» стали эффективными инструментами градостроительного планирования. Компактные города были признаны наиболее эффективными при решении экономических, транспортных, социальных задач, а также для сохранения окружающей среды.

Был проведен анализ взаимосвязи всех факторов, условий и предпосылок, влияющих на плотность застройки микрорайонов (природно-климатических, санитарно-гигиенических, социально-экономических, функциональных, композиционно-эстетических). В книге И.Я. Конторовича, А.Б. Ривкина «Рациональное использование территории городов» [3] приведены результаты исследований о влиянии формы и этажности здания на плотность застройки. Плотность оказывает решающее влияние на формирование планировочной структуры города в целом и отдельных его элементов. Показатели плотности определяют этажность застройки селитебной территории, организацию сис-

темы культурно-бытового и транспортного обслуживания, качество инженерного оборудования и благоустройства.

В исследовании Ю.М. Моисеева «Планировочные условия плотности в компоновке городских пространств» [4] определена взаимосвязь между показателями плотности населения в городах и средневзвешенными скоростями внутригородского движения. Также установлена взаимозависимость плотности жилого фонда и скоростей внутригородского передвижения. В исследовании была доказана взаимосвязь структурно-морфологических и экологических параметров городских пространств.

Для того чтобы увидеть увеличение показателей плотности застройки, необходимо сравнить нормативные показатели разных лет. Согласно СНиП II-К.2-62 «Планировка и застройка населенных мест», плотность жилого фонда в м² жилой площади на 1 га площади микрорайона следует принимать, придерживаясь преимущественно верхнего предела норм (табл. 1).

Таблица 1

Плотность жилого фонда в м² жилой площади
на 1 га микрорайона

Пределы	Количество этажей							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Не более	2000	2600	2800	3200	3400	3600	3800	4200
Не менее	1800	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600

Примечание. При смешанной застройке с применением жилых домов выше 9 этажей плотность жилого фонда допускается в отдельных случаях увеличивать до 4500 м²/га.

Плотность жилого фонда микрорайона в городах и поселках должна быть не менее приведенной в СНиП II-60-75 «Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов» и табл. 2.

Таблица 2

Плотность жилого фонда в м² жилой площади
на 1 га микрорайона

Зоны	Количество этажей								
	2	3	4	5	6	7	8	9	12
Центральная	3300	4100	4600	5300	5600	5900	6200	6600	6900
Северная	3700	5000	5400	5900	6300	6700	7000	7600	–
Южная	3400	4300	4800	5500	5800	6200	6500	6800	7100

Для городских поселений плотность застройки участков территориальных зон следует принимать не более приведенной в СП 42.13330.2016 [5] и табл. 3.

Таблица 3

Показатели плотности застройки участков
территориальных зон

Территориальные зоны	Коэффициент застройки	Коэффициент плотности застройки
Застройка многоквартирными многоэтажными жилыми домами	0,4	1,2
То же реконструируемая	0,6	1,6
Застройка многоквартирными жилыми домами малой и средней этажности	0,4	0,8
Застройка блокированными жилыми домами с приквартирными земельными участками	0,3	0,6
Застройка одно-, двухквартирными жилыми домами с приусадебными земельными участками	0,2	0,4

Результаты исследования

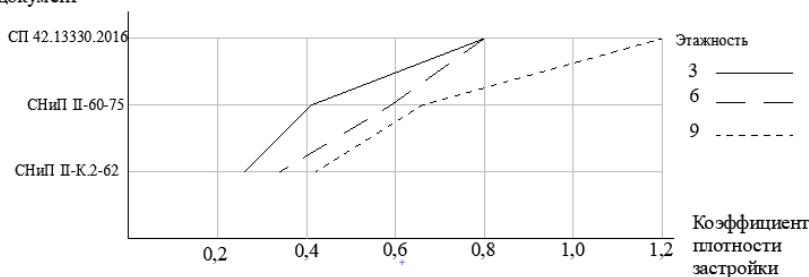
Сопоставляем нормативные показатели табл. 4 и рисунка, чтобы проследить изменение коэффициента плотности застройки. Согласно СП 42.13330.2016 [5], коэффициент плотности застройки определяется как отношение площади всех этажей зданий и сооружений к площади участка (квартала).

Таблица 4

Сравнительные показатели коэффициента плотности застройки
(площадь участка 10 000 м²)

Показатель сравнения	Площадь всех этажей в здании, м ²	Коэффициент плотности застройки
3 этажа (малоэтажные жилые дома)		
СНиП II-К.2-62	2600	0,26
СНиП II-60-75	4100	0,41
СП 42.13330.2016	8000	0,8
6 этажей (среднеэтажные жилые дома)		
СНиП II-К.2-62	3400	0,34
СНиП II-60-75	5900	0,59
СП 42.13330.2016	8000	0,8
9 этажей (многоэтажные жилые дома)		
СНиП II-К.2-62	4200	0,42
СНиП II-60-75	6600	0,66
СП 42.13330.2016	12000	1,2

Нормативный документ



Сравнительные показатели коэффициента плотности застройки

Таким образом, видим, что коэффициент плотности застройки с каждым обновлением нормативов увеличивается. Показатель трех- и шестизэтажных жилых зданий становится равным в СП 42.13330.2016 [5].

Заключение

На современном этапе развития изменилась структурная составляющая плотности, прослеживается тенденция увеличения общей площади застройки при непропорциональном изменении количества жителей. Но из этого не следует, что плотность жилой застройки возрастает пропорционально значительному повышению этажности жилых зданий. Возведение высотных зданий означает высокую плотность населения, большие нагрузки на социальную инфраструктуру, транспортные и инженерные сети.

Список литературы

1. *Стандарт комплексного развития территорий.* – Текст : электронный // Дом.рф. Финансовый институт развития в жилищной сфере. – URL: <https://дом.рф/urban/standards/printsipy-kompleksnogo-razvitiya-territoriy/> (дата обращения: 25.06.2021).
2. *Черепанов, К. А.* Проблемы выбора оптимальных параметров застройки в зависимости от социальных, экономических и экологических свойств городской среды // Молодой ученый. – 2014. – № 2 (61). – С. 216–232.
3. *Конторович, И. Я., Ривкин, А. Б.* Рациональное использование территории городов. – Москва : Стройиздат, 1986. – 171 с.
4. *Моисеев, Ю. М.* Планировочные условия плотности в компоновке городских пространств : дис. ... канд. архитектуры. – Москва : МАРХИ, 1981. – 152 с.
5. *СП 42.13330.2016.* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : актуализированная ред. СНиП 2.07.01-89* : изм. 1, 2 : введ. 2017-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.

УДК 539.3

ПОДМОДЕЛИ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ УПРУГОЙ СРЕДЫ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ПОВЕДЕНИЕ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ КАК ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Н.Ф. Бельмеев *

Рассмотрена трехмерная модель трансверсально-изотропной упругой среды, применимая для описания линейного деформирования слоистых материалов, обладающих анизотропией упругих свойств с выделенным направлением анизотропии и располагающихся в основании зданий и сооружений. Такими материалами являются слоистые вечномерзлые грунты в арктических и субарктических регионах Российской Федерации, ледники, горные породы (базальт, песчаник, мрамор, известняк, сланец и др.), а также некоторые слоистые композиционные материалы. На основе проведенных ранее исследований симметричных свойств и групповых расслоений динамических и статических уравнений Ламе данной модели (с выполнением условия Гассмана для модулей упругости) построены подмодели и их точные решения, которые могут быть использованы при описании деформации вечномерзлых грунтов в задачах проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Приведены перемещения, напряжения и проиллюстрированы изменения формы поверхностей, выделенных в слоистом материале в результате его деформации.

Ключевые слова: слоистые материалы, вечномерзлые грунты, трансверсально-изотропная упругая модель, точные решения, условие Гассмана

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-76-92

Развитие арктических и субарктических районов Российской Федерации почти всегда связано со строительством на вечной мерзлоте, являющейся, по сути, слоистым материалом. Особенности сезонно- и многолетнемерзлых грунтов серьезно усложняют строительство на них. Моделирование поведения дан-

* Науч. сотр. НГАСУ (Сибстрин)

ных грунтов под воздействием нагрузки позволяет упростить и удешевить процесс строительства и последующей эксплуатации зданий и сооружений.

Трехмерная модель трансверсально-изотропной упругой среды позволяет описывать поведение слоистых материалов, обладающих анизотропией упругих свойств вдоль выделенного направления, перпендикулярного к жестко связанным чередующимся слоям в структуре таких материалов [1, 2]. Ввиду слоистой структуры вечномерзлых грунтов деформации в них (при незначительных перепадах температуры) можно описывать в рамках данной трансверсально-изотропной упругой модели.

Для данной модели компоненты тензора напряжений P^{ij} и тензора деформаций ε^{ij} в декартовой системе координат ($x = x^1, y = x^2, z = x^3$) связаны соотношениями [2]:

$$\begin{aligned} P^{11} &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon^{11} + \lambda\varepsilon^{22} + \lambda'\varepsilon^{33}, & P^{12} &= 2\mu\varepsilon^{12}, \\ P^{22} &= \lambda\varepsilon^{11} + (\lambda + 2\mu)\varepsilon^{22} + \lambda'\varepsilon^{33}, & P^{13} &= 2G'\varepsilon^{13}, \\ P^{33} &= \lambda'(\varepsilon^{11} + \varepsilon^{22}) + (\lambda' + 2\mu')\varepsilon^{33}, & P^{23} &= 2G'\varepsilon^{23}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\lambda, \mu, \lambda', G', \mu'$ – независимые параметры тензора модулей упругости трансверсально-изотропной среды.

Компоненты тензора деформаций связаны с компонентами вектора перемещений $u(t, x^1, x^2, x^3) = (u^1, u^2, u^3)^T \in \mathbb{R}^3$ выражением: $2\varepsilon^{ij} = u_{x^j}^i + u_{x^i}^j$ ($i, j = 1, 2, 3$), где нижними буквенными индексами обозначены производные по соответствующим переменным.

Если рассмотреть данную модель при соотношениях

$$\mu' = G', \quad \lambda' = \lambda + 2\mu - 2G' \quad (2)$$

в выражениях (1), то заведомо будет выполняться условие Гассмана [3, 4]:

$$\frac{1}{G'} = \frac{\lambda + 2\mu + 3\lambda' + 2\mu'}{(\lambda + 2\mu)(\lambda' + 2\mu') - \lambda'^2}.$$

Оно было предложено в работе [5] и применяется в геофизике при описании упругих волн в трансверсально-изотропных упругих средах.

При соотношениях (1), (2) динамические уравнения Ламе можно записать в безразмерном виде:

$$u_{tt} - (\lambda + 2\mu)\nabla\operatorname{div} u + \operatorname{rot}(M\operatorname{rot} u) = 0, \quad (3)$$

где $u = u(t, x) \in \mathbb{R}^3$ – вектор перемещений (здесь t – время; $x = (x, y, z)^T \in \mathbb{R}^3$ – пространственные координаты); матрица $M = \operatorname{diag}(G', G', \mu)$ – постоянная плотности среды, без ограничения общности, принята равной единице; $\lambda > 0$; $\mu > 0$; $G' > 0$.

Безразмерные уравнения статики для модели (1), (2) получаются из (3) в виде:

$$(\lambda + 2\mu)\nabla\operatorname{div} u - \operatorname{rot}(M\operatorname{rot} u) = 0, \quad (4)$$

где вектор перемещений $u = (u^1, u^2, u^3)^T$ зависит только от $x = (x, y, z)^T$.

Методами группового анализа дифференциальных уравнений [6, 7] проведено исследование симметричных свойств и групповых расслоений уравнений (3) и (4) рассматриваемой модели. С результатами этих исследований можно ознакомиться в работах [8–10]. Для уравнений (3) доказана эквивалентность системе дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} u_t &= (\lambda + 2\mu)\nabla\theta - \operatorname{rot}(M\omega), \quad \theta_t = \operatorname{div} u, \\ \omega_t &= \operatorname{rot} u, \quad \operatorname{div} \omega = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где $u = u(t, x)$ – безразмерный вектор перемещений; $\theta = \theta(t, x)$ и $\omega = \omega(t, x) = (\omega^1, \omega^2, \omega^3)^T$ – дополнительные неизвестные функции.

Вектор перемещений для системы (4) можно строить с помощью формулы, полученной Ю.А. Чиркуновым в качестве решения автоморфной системы [11, гл. 6]:

$$u = \int_0^1 s[\tilde{\omega}(sx) \times x]ds - \\ - \nabla(|x|^2 \int_0^1 (s - \kappa_0 \sqrt{s}) \tilde{\theta}(sx) ds) + \nabla h(x), \quad (6)$$

где $\kappa_0 = (3\lambda + 7\mu)/(4\lambda + 8\mu)$; $h(x)$ – произвольная гармоническая функция (далее равна нулю); дополнительные функции $\tilde{\theta} = \tilde{\theta}(x)$, $\tilde{\omega} = \tilde{\omega}(x) = (\tilde{\omega}^1, \tilde{\omega}^2, \tilde{\omega}^3)^T$ являются решениями системы

$$\nabla \tilde{\theta} - \text{rot}(N\tilde{\omega}) = 0, \quad \text{div } \tilde{\omega} = 0, \quad (7)$$

где $N = \text{diag}(G'/\mu, G'/\mu, 1)$ – постоянная диагональная матрица.

Результаты проведенной групповой классификации инвариантных и частично инвариантных решений систем (5) и (7) позволяют с помощью инвариантов подгрупп основных групп Ли точечных преобразований, допускаемых данными системами, получать точные решения, обладающие определенными симметриями. Для получения вектора перемещений динамической системы (3) достаточно отбросить в решении системы (5) дополнительные функции θ и ω , а для получения вектора перемещений статических уравнений Ламе (4) – применить формулу (6) к гладкому решению $\tilde{\theta}(x)$, $\tilde{\omega}(x)$ системы (7). Далее в тексте приводятся результаты построения векторов перемещений и соответствующих напряжений на основе инвариантных решений уравнений (5) и (7).

В качестве основной допускаемой системы уравнений (5) группы Ли точечных преобразований рассматривалась семипараметрическая группа Ли, описываемая базисом своей алгебры Ли инфинитезимальных операторов:

$$X_1 = \partial_x, \quad X_2 = \partial_y, \quad X_3 = \partial_z, \quad X_4 = \partial_t, \\ X_5 = x\partial_y - y\partial_x + u^1\partial_{u^2} - u^2\partial_{u^1} + \omega^1\partial_{\omega^2} - \omega^2\partial_{\omega^1}, \\ X_6 = t\partial_t + x \cdot \partial_x, \quad X_7 = u \cdot \partial_u + \theta \partial_\theta + \omega \cdot \partial_\omega.$$

Для статических уравнений (7) базис операторов алгебры Ли основной допускаемой ими десятипараметрической группы Ли имеет вид:

$$\begin{aligned}\tilde{X}_1 &= \partial_x, \quad \tilde{X}_2 = \partial_y, \quad \tilde{X}_3 = \partial_z, \quad \tilde{X}_4 = x \cdot \partial_x, \\ \tilde{X}_5 &= y \partial_x - x \partial_y + \tilde{\omega}^2 \partial_{\tilde{\omega}^1} - \tilde{\omega}^1 \partial_{\tilde{\omega}^2}, \\ \tilde{X}_6 &= \partial_{\tilde{\theta}}, \quad \tilde{X}_7 = \partial_{\tilde{\omega}^1}, \quad \tilde{X}_8 = \partial_{\tilde{\omega}^2}, \quad \tilde{X}_9 = \partial_{\tilde{\omega}^3}, \quad \tilde{X}_{10} = \tilde{\theta} \partial_{\tilde{\theta}} + \tilde{\omega} \cdot \partial_{\tilde{\omega}}.\end{aligned}$$

1. Для инвариантного относительно трехпараметрической подгруппы с базисом алгебры Ли $\langle X_2, \alpha X_3 + X_4, X_7 + \beta X_3 + X_1 \rangle$ решения системы (5) компоненты вектора перемещений имеют вид:

$$\begin{aligned}u^1 &= e^x \left(c_1 \sin \left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) + c_2 \cos \left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) + c_3 e^{\frac{z - \alpha t}{\kappa_2}} + c_4 e^{\frac{z - \alpha t}{-\kappa_2}} \right), \\ u^2 &= e^x \left(c_5 \sin \left(\sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_1^2}} \frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) + c_6 \cos \left(\sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_1^2}} \frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) \right), \\ u^3 &= e^x \left(\kappa_3 \left(c_1 \cos \left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) - c_2 \sin \left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{c_3 e^{\frac{z - \alpha t}{\kappa_2}} - c_4 e^{\frac{z - \alpha t}{-\kappa_2}}}{\kappa_2} \right),\end{aligned}$$

где $c_j (j = 1, 2, \dots, 6)$ – произвольные вещественные числа;
 $\lambda + 2\mu \leq \rho \alpha^2 \leq G'$,

$$\kappa_1 = \sqrt{\frac{\alpha^2 - \mu}{\mu}}; \quad \kappa_2 = \sqrt{\frac{\alpha^2 - \lambda - 2\mu}{\lambda + 2\mu}}; \quad \kappa_3 = \sqrt{\frac{G' - \alpha^2}{G'}}. \quad (8)$$

Компоненты тензора напряжений Π в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned}\Pi^{11} &= e^x \frac{(1 + \kappa_2^2)(\lambda + 2\mu) - 2G'}{\kappa_2^2} \left(c_3 e^{\frac{z - \alpha t}{\kappa_2}} + c_4 e^{\frac{z - \alpha t}{-\kappa_2}} \right) + \\ &\quad + 2e^x G' \left(c_1 \sin \left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) + c_2 \cos \left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3} \right) \right),\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Pi^{22} &= e^x \frac{(1 + \kappa_2^2)\lambda + 2\mu - 2G'}{\kappa_2^2} \left(c_3 e^{\frac{z-\alpha t}{\kappa_2}} + c_4 e^{\frac{z-\alpha t}{-\kappa_2}} \right) + \\
&\quad + 2e^x(G' - \mu) \left(c_1 \cos\left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) + c_2 \sin\left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) \right), \\
\Pi^{33} &= e^x \frac{\kappa_2^2(\lambda + 2\mu - 2G') + \lambda + 2\mu}{\kappa_2^2} \left(c_3 e^{\frac{z-\alpha t}{\kappa_2}} + c_4 e^{\frac{z-\alpha t}{-\kappa_2}} \right) - \\
&\quad - 2e^x G' \left(c_1 \sin\left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) + c_2 \cos\left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) \right), \\
\Pi^{12} &= \mu e^x \left(c_5 \sin\left(\sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_3^2}} \frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) + \right. \\
&\quad \left. + c_6 \cos\left(\sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_3^2}} \frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) \right), \\
\Pi^{13} &= G' e^x \left(\frac{1 + \kappa_3^2}{\kappa_3} \left(c_1 \cos\left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) - c_2 \sin\left(\frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) \right) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{2}{\kappa_2} \left(c_3 e^{\frac{z-\alpha t}{\kappa_2}} - c_4 e^{\frac{z-\alpha t}{-\kappa_2}} \right) \right), \\
\Pi^{23} &= \sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_3^2}} \frac{G'}{\kappa_3} e^x \left(c_5 \cos\left(\sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_3^2}} \frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) - \right. \\
&\quad \left. - c_6 \sin\left(\sqrt{\frac{1 - \kappa_3^2}{1 + \kappa_3^2}} \frac{z - \alpha t}{\kappa_3}\right) \right).
\end{aligned}$$

Изменение замкнутой поверхности, выделенной в деформированной среде для данного решения, представлено на рис. 1 с ростом времени t при следующих значениях: $\alpha = 1.034$, $\beta = 0$, $c_1 = c_2 = -0.033$, $c_3 = c_4 = 0$, $c_5 = c_6 = -0.067$, $\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$.

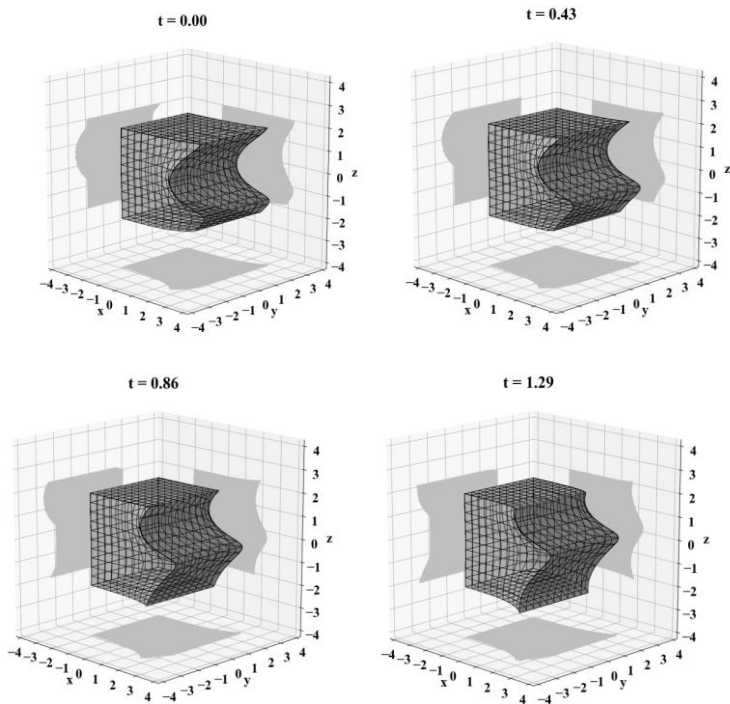


Рис. 1. Изменение поверхности, деформированной вектором перемещений в анизотропной среде ($\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 1.425$)

2. Для инвариантного относительно трехпараметрической подгруппы с базисом алгебры Ли $\langle X_1, \alpha X_3 + X_4, X_7 + X_3 \rangle$ решения системы (5) компоненты вектора перемещений имеют вид:

$$\begin{aligned}
 u^1 &= e^{z-\alpha t} \left(c_5 \sin \left(\sqrt{\frac{1+\kappa_1^2}{1-\kappa_3^2}} \kappa_3 y \right) + c_6 \cos \left(\sqrt{\frac{1+\kappa_1^2}{1-\kappa_3^2}} \kappa_3 y \right) \right), \\
 u^2 &= e^{z-\alpha t} (c_1 \sin(\kappa_3 y) + c_2 \cos(\kappa_3 y) + c_3 e^{\kappa_2 y} + c_4 e^{-\kappa_2 y}), \\
 u^3 &= e^{z-\alpha t} \left(\kappa_3 (c_2 \sin(\kappa_3 y) - c_1 \cos(\kappa_3 y)) + \frac{c_3 e^{\kappa_2 y} - c_4 e^{-\kappa_2 y}}{\kappa_2} \right),
 \end{aligned}$$

где $c_j (j = 1, 2, \dots, 6)$ – произвольные вещественные числа (использованы обозначения (8) и $\lambda + 2\mu \leq \rho\alpha^2 \leq G'$).

Компоненты тензора напряжений Π в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \Pi^{11} &= e^{z-\alpha t} \frac{(1 + \kappa_2^2)\lambda + 2\mu - 2G'}{\kappa_2} (c_3 e^{\kappa_2 y} - c_4 e^{-\kappa_2 y}) + \\
 &\quad + 2e^{z-\alpha t} \kappa_3 (G' - \mu) (c_1 \cos(\kappa_3 y) - c_2 \sin(\kappa_3 y)), \\
 \Pi^{22} &= e^{z-\alpha t} \frac{\kappa_2^2(\lambda + 2\mu) - 2G'}{\kappa_2} (c_3 e^{\kappa_2 y} - c_4 e^{-\kappa_2 y}) + \\
 &\quad + 2e^{z-\alpha t} \kappa_3 G' (c_1 \cos(\kappa_3 y) - c_2 \sin(\kappa_3 y)), \\
 \Pi^{33} &= e^{z-\alpha t} \frac{\kappa_2^2(\lambda + 2\mu - 2G') - \lambda - 2\mu}{\kappa_2} (c_3 e^{\kappa_2 y} - c_4 e^{-\kappa_2 y}) - \\
 &\quad - 2e^{z-\alpha t} \kappa_3 G' (c_1 \cos(\kappa_3 y) - c_2 \sin(\kappa_3 y)), \\
 \Pi^{12} &= \mu e^{z-\alpha t} \sqrt{\frac{1 + \kappa_1^2}{1 - \kappa_3^2}} \kappa_3 \left(c_5 \cos \left(\sqrt{\frac{1 + \kappa_1^2}{1 - \kappa_3^2}} \kappa_3 y \right) - \right. \\
 &\quad \left. - c_6 \sin \left(\sqrt{\frac{1 + \kappa_1^2}{1 - \kappa_3^2}} \kappa_3 y \right) \right), \\
 \Pi^{13} &= G' e^{z-\alpha t} \left(c_5 \sin \left(\sqrt{\frac{1 + \kappa_1^2}{1 - \kappa_3^2}} \kappa_3 y \right) + c_6 \cos \left(\sqrt{\frac{1 + \kappa_1^2}{1 - \kappa_3^2}} \kappa_3 y \right) \right), \\
 \Pi^{23} &= G' e^{z-\alpha t} \left((\kappa_3^2 + 1) (c_1 \sin(\kappa_3 y) + c_2 \cos(\kappa_3 y)) \right) + \\
 &\quad + 2G' e^{z-\alpha t} (c_3 e^{\kappa_2 y} + c_4 e^{-\kappa_2 y}).
 \end{aligned}$$

Изменение замкнутой поверхности, выделенной в деформированной среде для данного решения, представлено на рис. 2 с ростом времени t при значениях $\alpha = 1.034$, $c_1 = c_2 = -0.033$, $c_3 = c_4 = 0$, $c_5 = c_6 = -0.067$, $\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 1.425$.

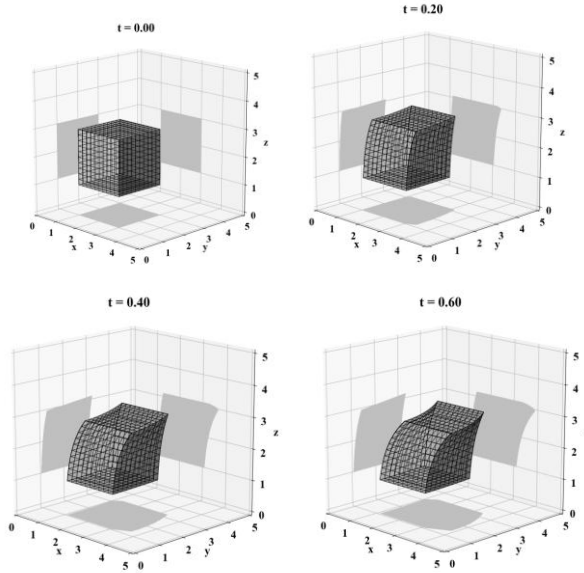


Рис. 2. Изменение поверхности, деформированной вектором перемещений в анизотропной среде ($\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 1.425$)

3. Для трехпараметрических подгрупп, содержащих в качестве одного базисного оператора соответствующих алгебр Ли оператор однородного растяжения $\tilde{X}_4 + \tilde{X}_{10}$, а в качестве остальных двух – всевозможные линейные комбинации операторов переноса $\tilde{X}_j$ ($j = 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9$) инвариантные решения системы (7) будут представлять собой линейные комбинации независимых координат пространства x, y, z . Например, решением системы (7) будет:

$$\begin{aligned}\tilde{\omega}^1 &= \beta_1 y - (\beta_2 + \gamma_3)x, & \tilde{\omega}^2 &= \beta_1 x + \beta_2 y, \\ \tilde{\omega}^3 &= \beta_3 y - \beta_4 x + \gamma_3 z, & \tilde{\theta} &= \beta_3 x + \beta_4 y,\end{aligned}$$

где $\gamma_3, \beta_i (i = 1, 2, 3, 4)$ – произвольные вещественные числа. Компоненты вектора перемещений, полученные подстановкой его в формулу (6), имеют вид:

$$\begin{aligned}
u^1 &= \beta_1 \frac{zx}{3} + (\beta_2 - \gamma_3) \frac{zy}{3} - \beta_3 \frac{(\lambda - \mu)(3x^2 + z^2) + (11\lambda + 19\mu)y^2}{30(\lambda + 2\mu)} + \\
&\quad + \beta_4 \frac{(8\lambda + 22\mu)xy}{30(\lambda + 2\mu)}, \\
u^2 &= (\beta_2 + 2\gamma_3) \frac{zx}{3} - \beta_1 \frac{zy}{3} - \beta_4 \frac{(\lambda - \mu)(3y^2 + z^2) + (11\lambda + 19\mu)x^2}{30(\lambda + 2\mu)} + \\
&\quad + \beta_3 \frac{(8\lambda + 22\mu)xy}{30(\lambda + 2\mu)}, \\
u^3 &= \beta_1 \frac{y^2 - x^2}{3} - (2\beta_2 + \gamma_3) \frac{xy}{3} - (\beta_3 x + \beta_4 y) \frac{(\lambda - \mu)z}{30(\lambda + 2\mu)}.
\end{aligned}$$

Компоненты тензора напряжений Π в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned}
\Pi^{11} &= \frac{2\mu}{3} \beta_1 z + \frac{2(\lambda - \mu)G' + (\lambda + \mu)(\lambda + 14\mu)}{30(\lambda + 2\mu)} \beta_3 x + \\
&\quad + \frac{2(\lambda - \mu)G' + \lambda^2 + 43\lambda\mu + 46\mu^2}{30(\lambda + 2\mu)} \beta_4 y, \\
\Pi^{22} &= -\frac{2\mu}{3} \beta_1 z + \frac{2(\lambda - \mu)G' + \lambda^2 + 43\lambda\mu + 46\mu^2}{30(\lambda + 2\mu)} \beta_3 x + \\
&\quad + \frac{2(\lambda - \mu)G' + (\lambda + \mu)(\lambda + 14\mu)}{30(\lambda + 2\mu)} \beta_4 y, \\
\Pi^{33} &= \frac{4(\lambda + 14\mu)G' + \lambda^2 + 31\lambda\mu + 29\mu^2}{30(\lambda + 2\mu)} (\beta_3 x + \beta_4 y), \\
\Pi^{12} &= \frac{\mu}{3} (2\beta_2 + \gamma_3) z - \frac{(7\lambda + 8\mu)\mu}{15(\lambda + 2\mu)} (\beta_4 x + \beta_3 y), \\
\Pi^{13} &= -\frac{G'}{3} (\beta_1 x + (\beta_2 + 2\gamma_3)y) - \frac{G'(\lambda - \mu)}{10(\lambda + 2\mu)} \beta_3 z, \\
\Pi^{23} &= \frac{G'}{3} ((\gamma_3 - \beta_2)x + \beta_1 y) - \frac{G'(\lambda - \mu)}{10(\lambda + 2\mu)} \beta_4 z.
\end{aligned}$$

Деформация замкнутой поверхности данным вектором перемещений изображена на рис. 3 при значениях параметров $\beta_j = 0.333$ ($j = 1, 2, 3, 4$), $\gamma_3 = 0.333$, $\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 0.196$.

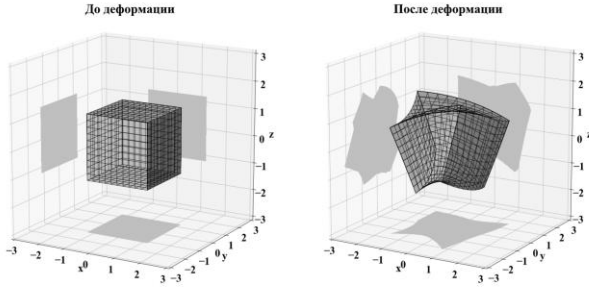


Рис. 3. Деформация поверхности для стационарной подмодели трансверсально-изотропной упругости прибавлением вектора перемещений

4. Для инвариантного относительно двухпараметрической подгруппы с базисом алгебры Ли $\langle \tilde{X}_5, \tilde{X}_4 + 2\tilde{X}_{10} \rangle$ решения системы (7) компоненты вектора перемещений, вычисленные по формуле (6), имеют вид:

$$\begin{aligned}
 u^1 &= (4\mu z^2 - G'r^2) \left(c_1 \frac{1}{8\mu} + c_2 \frac{3G'}{8} \operatorname{arsh} \left(\sqrt{\frac{\mu}{G'}} \frac{z}{r} \right) \right) r \sin(\varphi) + \\
 &\quad + c_2 \frac{\sqrt{\mu} z}{8r} \sqrt{G'r^2 + \mu z^2} (2\mu z^2 - 13G'r^2) \sin(\varphi), \\
 u^2 &= (G'r^2 - 4\mu z^2) \left(c_1 \frac{1}{8\mu} + c_2 \frac{3G'}{8} \operatorname{arsh} \left(\sqrt{\frac{\mu}{G'}} \frac{z}{r} \right) \right) r \cos(\varphi) + \\
 &\quad + c_2 \frac{\sqrt{\mu} z}{8r} \sqrt{G'r^2 + \mu z^2} (13G'r^2 - 2\mu z^2) \cos(\varphi), \\
 u^3 &= 0,
 \end{aligned}$$

где c_1, c_2 — произвольные вещественные числа, а также введены обозначения:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \varphi = \operatorname{arctg}(y/x). \quad (9)$$

Компоненты тензора напряжений Π в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned}
\Pi^{11} &= -\Pi^{22} = \left(\frac{(3G' - 14\mu)G'z^2r^2 - 4\mu^2z^4 - 13G'^2r^4}{8r^2\sqrt{G'r^2 + \mu z^2}} \right) \times \\
&\quad \times c_2\mu^{\frac{3}{2}}z\sin(2\varphi), \\
\Pi^{33} &= 0, \\
\Pi^{12} &= \left(\frac{(14\mu - 3G')G'z^2r^2 + 4\mu^2z^4 + 13G'^2r^4}{8r^2\sqrt{G'r^2 + \mu z^2}} \right) c_2\mu^{\frac{3}{2}}z\cos(2\varphi), \\
\Pi^{13} &= -c_2G'\sqrt{\mu} \frac{13G'^2r^4 + (3G' + 8\mu)G'z^2r^2 - 8\mu^2z^4}{8r\sqrt{G'r^2 + \mu z^2}} \sin(\varphi) + \\
&\quad + \left(c_1 + 3c_2G'\mu \operatorname{arsh} \left(\sqrt{\frac{\mu}{G'}} \frac{z}{r} \right) \right) \frac{4\mu - G'}{4\mu} G'zr\sin(\varphi), \\
\Pi^{23} &= c_2G'\sqrt{\mu} \frac{13G'^2r^4 + (3G' + 8\mu)G'z^2r^2 - 8\mu^2z^4}{8r\sqrt{G'r^2 + \mu z^2}} \cos(\varphi) - \\
&\quad - \left(c_1 + 3c_2G'\mu \operatorname{arsh} \left(\sqrt{\frac{\mu}{G'}} \frac{z}{r} \right) \right) \frac{4\mu - G'}{4\mu} G'zr\cos(\varphi).
\end{aligned}$$

Деформация замкнутой поверхности данным вектором перемещений изображена на рис. 4 при значениях параметров $c_1 = c_2 = 0.2$, $\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 0.196$.

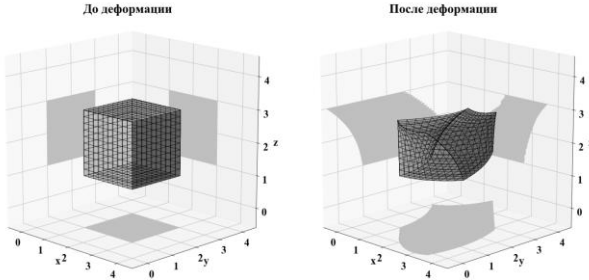


Рис. 4. Деформация поверхности для стационарной подмодели трансверсально-изотропной упругости прибавлением вектора перемещений

5. Для инвариантного относительно двухпараметрической подгруппы с базисом алгебры Ли $\langle \tilde{X}_5, \tilde{X}_3 + \tilde{X}_9 \rangle$ решения системы (7) компоненты вектора перемещений, вычисленные по формуле (6), имеют вид:

$$\begin{aligned} u^1 &= \left(\frac{z c_1}{r} + \frac{c_4 \mu r}{3(\lambda + 2\mu)} \right) \cos(\varphi) - \left(\frac{c_2 z}{r} + \frac{r(c_3 + z)}{2} \right) \sin(\varphi), \\ u^2 &= \left(\frac{z c_1}{r} + \frac{c_4 \mu r}{3(\lambda + 2\mu)} \right) \sin(\varphi) + \left(\frac{c_2 z}{r} + \frac{r(c_3 + z)}{2} \right) \cos(\varphi), \\ u^3 &= \frac{c_4 \mu z}{3(\lambda + 2\mu)} - c_1, \end{aligned}$$

где $c_j (j = 1, 2, 3, 4)$ – произвольные вещественные числа, а также использованы обозначения (9).

Компоненты тензора напряжений Π в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned} \Pi^{11} &= \frac{2\mu z}{r^2} (c_2 \sin(2\varphi) - c_1 \cos(2\varphi)) + c_4 \mu \frac{3\lambda + 4\mu - 2G'}{3(\lambda + 2\mu)}, \\ \Pi^{22} &= \frac{2\mu z}{r^2} (c_1 \cos(2\varphi) - c_2 \sin(2\varphi)) + c_4 \mu \frac{3\lambda + 4\mu - 2G'}{3(\lambda + 2\mu)}, \\ \Pi^{33} &= c_4 \mu \left(1 - \frac{4G'}{3(\lambda + 2\mu)} \right), \\ \Pi^{12} &= -\frac{2\mu z}{r^2} (c_1 \sin(2\varphi) + c_2 \cos(2\varphi)), \\ \Pi^{13} &= \frac{G'}{r} (c_1 \cos(\varphi) - c_2 \sin(\varphi)) - \frac{G' r}{2} \sin(\varphi), \\ \Pi^{23} &= \frac{G'}{r} (c_1 \sin(\varphi) + c_2 \cos(\varphi)) + \frac{G' r}{2} \cos(\varphi). \end{aligned}$$

Деформация замкнутой поверхности данным вектором перемещений изображена на рис. 5 при значениях параметров $c_j = 0.1 (j = 1, 2, 3, 4)$, $\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 0.196$.

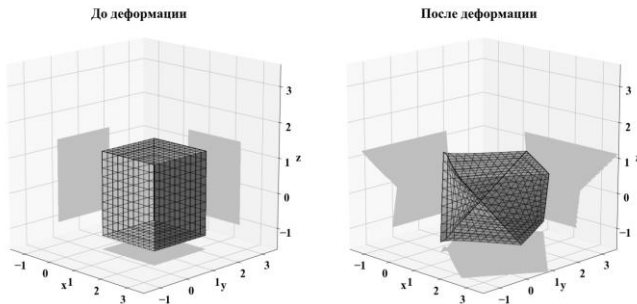


Рис. 5. Деформация поверхности для стационарной подмодели трансверсально-изотропной упругости прибавлением вектора перемещений

6. Для инвариантного относительно двухпараметрической подгруппы с базисом алгебры Ли $\langle \tilde{X}_3 + \tilde{X}_5, \tilde{X}_3 + \tilde{X}_6 \rangle$ решения системы (7) компоненты вектора перемещений, вычисленные по формуле (6), имеют вид:

$$\begin{aligned}
 u^1 &= \left(\frac{\mu z(r^2 + 6c_2)}{6G'r} + \frac{\mu r(c_4 + z - \varphi)}{3(\lambda + 2\mu)} - \frac{(\lambda + 4\mu)zr}{15(\lambda + 2\mu)} \right) \cos(\varphi) + \\
 &\quad + \left(\frac{c_1 z}{r} - \frac{c_3 + \ln r}{2} + \frac{(3\lambda + 8\mu)r^2 + 2\mu z^2}{12(\lambda + 2\mu)r} \right) \sin(\varphi), \\
 u^2 &= \left(\frac{\mu z(r^2 + 6c_2)}{6G'r} + \frac{\mu r(c_4 + z - \varphi)}{3(\lambda + 2\mu)} - \frac{(\lambda + 4\mu)zr}{15(\lambda + 2\mu)} \right) \sin(\varphi) - \\
 &\quad - \left(\frac{c_1 z}{r} - \frac{c_3 + \ln r}{2} + \frac{(3\lambda + 8\mu)r^2 + 2\mu z^2}{12(\lambda + 2\mu)r} \right) \cos(\varphi), \\
 u^3 &= \frac{\mu z(c_4 + z - \varphi)}{3(\lambda + 2\mu)} - \frac{\mu(r^2 + 6c_2)}{6G'} - \frac{(\lambda - \mu)r^2 + (3\lambda + 7\mu)z^2}{30(\lambda + 2\mu)},
 \end{aligned}$$

где $c_j (j = 1, 2, 3, 4)$ – произвольные вещественные числа, а также использованы обозначения (9).

Компоненты тензора напряжений Π в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned}
\Pi^{11} &= \left(\frac{\mu(\lambda + \mu)}{3G'} - \frac{(\lambda - \mu)(5\lambda + 8\mu - 6G')}{15(\lambda + 2\mu)} \right) z + \\
&\quad + \frac{3\lambda + 4\mu - 2G'}{3(\lambda + 2\mu)} \mu(c_4 - \varphi) - \\
&\quad - \frac{2\mu z}{r^2} \left(c_1 \sin(2\varphi) + c_2 \frac{\mu}{G'} \cos(2\varphi) \right) + \\
&\quad + \left(\frac{\mu(c_3 + \ln r)}{2r} - \frac{\mu}{2r} + \frac{\mu^2(r^2 - z^2)}{3(\lambda + 2\mu)r^2} \right) \sin(2\varphi), \\
\Pi^{22} &= \left(\frac{\mu(\lambda + \mu)}{3G'} - \frac{(\lambda - \mu)(5\lambda + 8\mu - 6G')}{15(\lambda + 2\mu)} \right) z + \\
&\quad + \frac{3\lambda + 4\mu - 2G'}{3(\lambda + 2\mu)} \mu(c_4 - \varphi) + \\
&\quad + \frac{2\mu z}{r^2} \left(c_1 \sin(2\varphi) + c_2 \frac{\mu}{G'} \cos(2\varphi) \right) - \\
&\quad - \left(\frac{\mu(c_3 + \ln r)}{2r} - \frac{\mu}{2r} + \frac{\mu^2(r^2 - z^2)}{3(\lambda + 2\mu)r^2} \right) \sin(2\varphi), \\
\Pi^{33} &= \frac{3\lambda + 6\mu - 4G'}{3(\lambda + 2\mu)} \mu(c_4 - \varphi) + \\
&\quad + \left(\frac{4(\lambda - \mu)G'}{15(\lambda + 2\mu)} - \frac{\lambda + \mu}{3} + \frac{\mu(\lambda + 2\mu)}{3G'} \right) z, \\
\Pi^{12} &= - \left(\frac{\mu(c_3 + \ln r)}{2r} - \frac{\mu}{2r} + \frac{\mu^2(r^2 - z^2)}{3(\lambda + 2\mu)r^2} \right) \cos(2\varphi) + \\
&\quad + \frac{2\mu z}{r^2} \left(c_1 \cos(2\varphi) - c_2 \frac{\mu}{G'} \sin(2\varphi) \right), \\
\Pi^{13} &= \frac{1}{r} (c_1 G' \sin(\varphi) + c_2 \mu \cos(\varphi)) + \frac{2G' \mu z}{3(\lambda + 2\mu)r} \sin(\varphi) - \\
&\quad - \left(\frac{2(\lambda - \mu)G'}{15(\lambda + 2\mu)} + \frac{\mu}{6} \right) r \cos(\varphi),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Pi^{23} = & \frac{1}{r} (c_2 \mu \sin(\varphi) - c_1 G' \cos(\varphi)) - \frac{2G' \mu z}{3(\lambda + 2\mu)r} \cos(\varphi) - \\
 & - \left(\frac{2(\lambda - \mu)G'}{15(\lambda + 2\mu)} + \frac{\mu}{6} \right) r \sin(\varphi).
 \end{aligned}$$

Деформация замкнутой поверхности данным вектором перемещений изображена на рис. 6 при значениях параметров $c_j = 0.2$ ($j = 1, 2, 3, 4$), $\lambda = 0.462$, $\mu = 0.125$, $G' = 0.196$.

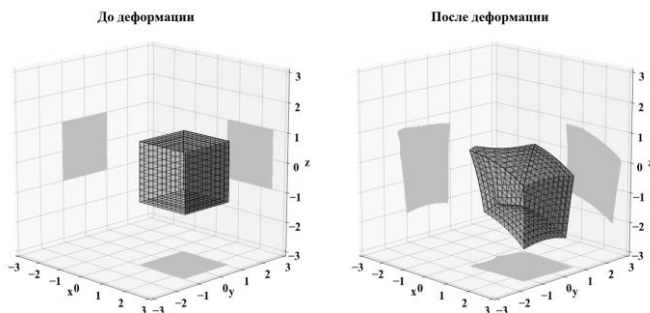


Рис. 6. Деформация поверхности для стационарной подмодели трансверсально-изотропной упругости прибавлением вектора перемещений

Заключение

Полученный набор нетривиальных точных решений для уравнений трансверсально-изотропной упругой модели является важным результатом по описанию поведения вечномерзлых грунтов в динамике и статике, дает возможность эффективно вести моделирование и проверку численных экспериментов, связанных с различными задачами проектирования и строительства в арктических и субарктических регионах Российской Федерации, а также при описании слоистых композиционных материалов, слоистых горных пород, ледников и влияния их поведения на устойчивость строительных конструкций.

Список литературы

1. Аннин, Б. Д., Остросаблин, Н. И. Анизотропия упругих свойств материалов // Прикладная механика и техническая физика. – 2009. – Т. 49, № 6. – С. 131–151.
2. Аннин, Б. Д. Трансверсально-изотропная упругая модель геоматериалов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2009. – Т. 12, № 3 (39). – С. 5–14.
3. Gassmann, F. Introduction to seismic travel time methods in anisotropic media // Pure Applied Geophysics. – 1964. – Vol. 58, iss. I. – P. 63–112.
4. Гольдин, С. В. Сейсмические волны в анизотропных средах : монография. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. – 372 с.
5. Carrier, G. F. Propagation of waves in orthotropic media // Quarter of Applied Mathematics. – 1946. – Vol. 2, № 2. – P. 160–165.
6. Овсянников, Л. В. Групповой анализ дифференциальных уравнений. – Москва : Наука, 1978. – 400 с.
7. Чиркунов, Ю. А., Хабиров, С. В. Элементы симметричного анализа дифференциальных уравнений механики сплошной среды. – Новосибирск : НГТУ, 2012. – 659 с.
8. Аннин, Б. Д., Чиркунов, Ю. А., Бельмещев, Н. Ф. Групповое расслоение уравнений трансверсально-изотропной упругости // Вестник СибГАУ. – 2012. – № 3 (43). – С. 4–7.
9. Annin, B. D., Belmetsev, N. F., Chirkunov, Yu. A. Group analysis of equations dynamic transversely isotropic elastic model // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2014. – Vol. 78, № 5. – P. 529–537.
10. Chirkunov, Yu. A., Belmetsev, N. F. Exact solutions of three-dimensional equations of static transversely isotropic elastic model // Acta Mechanica. – 2017. – Vol. 228, iss. 1. – P. 333–349.
11. Чиркунов, Ю. А. Групповой анализ линейных и квазилинейных дифференциальных уравнений. – Новосибирск : НГУЭУ, 2007. – 362 с.

НЕКОРРЕКТНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИ РАСЧЕТЕ СООРУЖЕНИЙ

В.Е. Миренков^{*}, А.В. Савченко^{}**

Работа посвящена исследованию аналитических и численных решений теории упругости, позволяющему выделить некорректные решения и предложить метод их реализации, обеспечивающий существование, единственность и корректность. Используемые при расчете сооружений частные аналитические решения позволяют однозначно определить их некорректность при бесконечных напряжениях, смещениях, учете сосредоточенных сил, которые не имеют физического смысла и не могут моделировать реальные сооружения. Впервые предложено рассмотрение класса задач Коши начинать с решения дополнительной задачи.

Ключевые слова: задача, корректность, дополнительное решение, трещина, угловые точки, расчет сооружений

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-93-99

Введение

В теории упругости при моделировании конкретных ситуаций, встречающихся на практике, рассматриваются конечные области счета с формулировкой граничных условий, обеспечивающих наилучшее приближение к реальности. Если же область счета модельной проблемы содержит бесконечно удаленную точку, то такие задачи образуют класс Коши, для корректного решения которых необходимо формулировать на бесконечность нулевые граничные условия [1, 2]. К некорректным решениям будем относить результаты, имеющие бесконечные (возрастающие) значения напряжений или смещений в конечном числе точек. Были найдены аналитические решения для областей с угловыми точками, характеризующиеся бесконечными значениями напряжений или смещений, т.е. не имеющие физического смысла

^{*} Д-р техн. наук, профессор, вед. науч. сотр. ИГД СО РАН

^{**} Канд. техн. наук, доцент НГАСУ (Сибстрин), НИЦ ИГД СО РАН

применительно к реальным объектам [2]. В некорректных задачах, как правило, для разных путей движения из области к точке границы получаются разные решения, что легко подтвердить при наличии аналитического представления.

В настоящее время появилась возможность численного расчета конструкций методом конечных элементов (далее – МКЭ). Коммерческие программы, используемые при этом, имеют набор граничных условий, из которых необходимо выбрать однозначно определяющие конструкцию. За счет некорректной формулировки граничных условий [3–5] расчетные смещения при удалении от ослабления неограниченно возрастают, что недопустимо.

Аналитические решения

Для бесконечной клиновидной области с углом раствора $2\theta > \pi$ зададим функцию напряжений [1, 2] в виде:

$$\varphi(r, \theta) = r^{1+\varphi} F(\theta), \quad (1)$$

$$F(\theta) = A \cos(\varphi+1)\theta + B \cos(\varphi-1)\theta + C \sin(\varphi+1)\theta + D \sin(\varphi-1)\theta,$$

где A, B, C, D – произвольные постоянные; φ – константа меньше единицы.

В простейшем случае из (1) для напряжений и смещений получим:

$$\sigma_r = -A\varphi r^{\varphi-1} \left[(\varphi+1) \cos(\varphi+1)\theta + (3-\varphi) \frac{\cos(\varphi+1)\alpha}{\cos(\varphi-1)\alpha} \cos(\varphi-1)\theta \right],$$

$$\sigma_\theta = -A\varphi(\varphi+1)r^{\varphi-1} \left[\cos(\varphi+1)\theta - \frac{\cos(\varphi+1)\alpha}{\cos(\varphi-1)\alpha} \cos(\varphi-1)\theta \right], \quad (2)$$

$$\sigma_{r\theta} = -A\varphi r^{\varphi-1} \left[(\varphi+1) \sin(\varphi+1)\theta + (1-\varphi) \frac{\cos(\varphi+1)\alpha}{\cos(\varphi-1)\alpha} \sin(\varphi-1)\theta \right],$$

$$u = \frac{A}{2C_1} r^\varphi \left[-(\varphi+1) \cos(\varphi+1)\theta + \left(\varphi+1 - \frac{\varphi}{1+\nu} \right) \frac{\cos(\varphi+1)\alpha}{\cos(\varphi-1)\alpha} \cos(\varphi-1)\theta \right], \quad (3)$$

$$v = \frac{A}{2C_1} r^\varphi \left[(\varphi+1) \sin(\varphi+1)\theta - \left(\varphi-1 + \frac{\varphi}{1+\nu} \right) \frac{\cos(\varphi+1)\alpha}{\cos(\varphi-1)\alpha} \sin(\varphi-1)\theta \right],$$

где C_1 – характеристика упругости материала клина.

Особенности напряжений и смещений в (2), (3) явно выделены.

Предельный случай клиновидной области (1) представляет собой плоскость с полубесконечным математическим разрезом, когда в (2), (3) $2\alpha = 360^\circ$, $\varphi = 0,5$, а особенность напряжений $1-\varphi = 0,5$. На рис. 1 представлены эпюры смещений берегов разреза в зависимости от конечного главного вектора напряжений на дуге окружности r (сжимающему отвечает кривая 1, растягивающему – кривая 2).

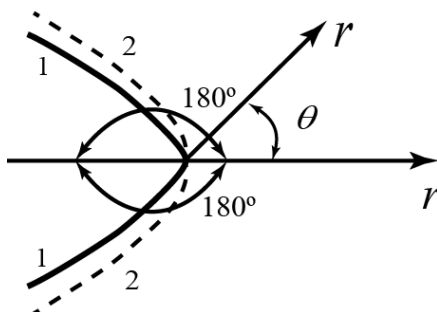


Рис. 1. Смещение граней полубесконечного разреза для $2\alpha = 360^\circ$:
1 – смещения, приводящие к проникновению материала в материал;
2 – смещения, обеспечивающие деформации от 360° до 180°

Рассмотрение аналитических решений замкнем случаем конечной трещины, имеющим наибольшее применение на практике и используемым как агрегат по разрушению материалов, например гидроразрывов пород в горном деле. Эти решения являются теоретической основой создаваемых теорий разрушения. На рис. 2 приведена схема трещины с жестко заделанными вершинами.

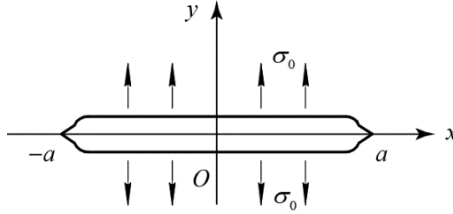


Рис. 2. Схема трещины с жестко заделанными вершинами

Компоненты смещений [2] имеют вид:

$$u = \frac{1-2\nu}{\mu} \sigma_0 \sqrt{|x| - |a|}, \quad |x| \geq a,$$

$$v = \frac{1-\nu}{\mu} \sigma_0 \sqrt{a^2 - x^2}, \quad |x| \leq a,$$

где $\mu = E[2(1+\nu)]^{-1}$ (здесь E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона); σ_0 – давление в трещине; $2a$ – длина трещины.

При удалении от вершины компонента смещений $u(x)$ неограниченно возрастает, это верно и для (3), что не имеет физического смысла.

Аналитические решения, рассмотренные выше в рамках теории упругости, позволяют сделать следующий вывод: только аналитическое представление дает возможность явно определить вырожденность предложенного решения, т.е. не имеющего физического смысла.

Численные расчеты

Рассмотрим пластину, стоящую вертикально, и для удобства получения аналитического решения смоделируем пластину плоскостью, в которой действуют напряжения сжатия, вызванные собственным весом материала. Для расчета напряженно-деформированного состояния около будущего ослабления принимаются главные напряжения в точке в виде:

$$\sigma_y = -\gamma H = p, \quad \sigma_x = -\lambda \gamma H = q,$$

где γ – удельный вес материала; λ – боковой распор; H – расстояние от верхней грани пластины до рассматриваемой точки (например, центр будущего отверстия).

При расчете сооружений возникает потребность сделать малое фигурное отверстие в нагруженной собственным весом пластине (рис. 3) и оценить его действие на прочность всей конструкции.

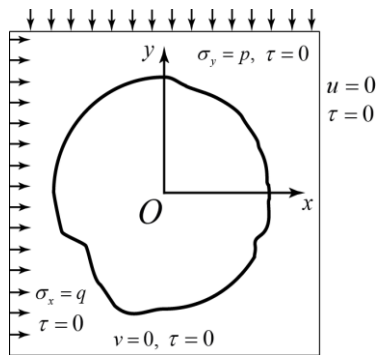


Рис. 3. Варианты граничных условий на границе области счета

Расчет напряжений ввиду сложного контура отверстия предлагается проводить численным методом конечных элементов. В основе МКЭ лежит предположение, что чем больше область счета, тем точнее результат. Поэтому трактовка постоянных сжимающих напряжений (см. рис. 3) эквивалентна сжатию на бесконечности для аналитического решения, к которому и стремятся при численном счете. Варианты граничных условий, обычно используемых на границе области счета, представлены на рис. 3. Для доказательства некорректности формулировки граничных условий рассмотрим близкий случай, представленный на рис. 4.

Если положить $\sigma_y = \sigma_x = p$, то решение задачи в полярных координатах [2] будет следующее:

$$\sigma_r = -p \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right), \quad \sigma_\theta = -p \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right), \quad \sigma_{r\theta} = 0;$$

$$v_r = -\frac{p}{4\mu r}[(\chi - 1)r^2 + 2R^2], \quad v_\theta = 0.$$

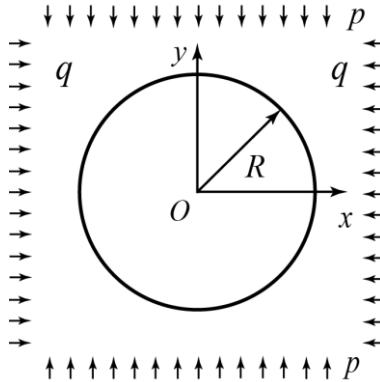


Рис. 4. Плоскость с круговым отверстием, сжимаемая на бесконечности постоянными усилиями $\sigma_y = p$, $\sigma_x = q$

При удалении от отверстия смещения линейно возрастают, т.е. формулировка граничных условий в виде рис. 4 не имеет физического смысла. Для получения корректного решения необходимо перейти к рассмотрению дополнительной задачи, когда на контуре отверстия задаются растягивающие напряжения p , исчезающие на бесконечности.

Заключение

Рассмотрено аналитическое решение и доказана его некорректность для случая граничных условий, представленных на рис. 3. Если описать около произвольного отверстия окружность, заменив грани с нулевыми смещениями на сжимающие напряжения, и учитывать, что главный вектор граничных напряжений равен нулю, получим некорректность формулировки. Предложено сведение аналогичных проблем к рассмотрению дополнительной задачи.

Список литературы

1. *Мусхелишвили, Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. – Москва : Наука, 1966. – 707 с.
2. *Тимошенко, С. П., Гудьер, Дж.* Теория упругости. – Москва : Наука, 1975. – 576 с.
3. *Мирсалимов, В. М.* Моделирование частичного закрытия щели переменной ширины с концевыми зонами в массиве горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 1. – С. 11–22.
4. *Пожарский, Д. А.* Периодическая система трещин в трансверсально изотропном теле // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2019. – № 3. – С. 54–63.
5. *Неверов, А. А., Неверов, С. А., Тапсиев, А. П., Щукин, С. А., Васильев, С. Ю.* Обоснование геотехнологий выемки рудных месторождений на основе развития модельных представлений об изменении параметров природного поля напряжений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 4. – С. 74–89.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДИАГРАММ РАССЕЯНИЯ В ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

М.С. Соппа*

Рассматриваются вопросы применимости различных подходов к линеаризации обратных постановок задач дифракции электромагнитных волн на импедансных поверхностях. Для получения замкнутой физико-математической модели используется информация о значениях диаграмм рассеяния в дальней или ближней зоне, поэтому большое значение придается анализу величины отклонения приближенных индикатрис от их точных значений. Полученные в работе результаты позволяют определить и обосновать диапазон применимости предлагаемого метода решения обратных задач синтеза импедансных покрытий.

Ключевые слова: интегральные уравнения, импедансное граничное условие, линеаризация, диаграмма рассеяния, метод граничных элементов

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-100-111

Введение

Актуальной областью современной математической физики являются прикладные задачи в обратной постановке. В качестве примера можно привести задачу синтеза поверхностных покрытий для электромагнитных рассеивателей [1–3], обладающих заданными значениями индикатрисы или диаграммы рассеяния (далее – ДР). В этом направлении идут исследования, предложены различные вычислительные алгоритмы [4–6], часть из которых связана с линеаризацией импедансного граничного условия [7–9].

Неотъемлемым элементом указанных подходов является эффективное вычисление компонент рассеянного поля в дальней или ближней зоне. Очевидно, что упомянутая линеаризация, сохраняя в целом принципиально важные особенности физиче-

* Д-р физ.-мат. наук, профессор НГАСУ (Сибстрин)

ского явления, все же приводит к некоторому систематическому отклонению ДР от результатов вычислений с использованием точных формул. Данная статья посвящена анализу влияния способов физико-математического моделирования, а также выбора вида линеаризации граничных условий, описывающих взаимодействие падающего поля с импедансной поверхностью, на поведение компонент отраженного сигнала и на отклонение значений индикатрисы для случаев линейной и нелинейной моделей.

1. Постановка задачи

Рассматривается обратная задача дифракции линейно поляризованной плоской электромагнитной волны на цилиндрической импедансной поверхности. В стационарном случае следствием исходной системы уравнений Максвелла является двумерное уравнение Гельмгольца:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k^2 u = 0. \quad (1)$$

На границе выполняются условия взаимодействия электромагнитной волны с импедансной поверхностью (условия Леонтовича) [5]. В точной постановке для E -поляризованной падающей волны на границе имеет место соотношение:

$$u + i\tilde{W}u_n / (\omega\mu) = 0, \quad (2)$$

а при H -поляризации:

$$u_n - i\omega\epsilon\tilde{W}u = 0, \quad (3)$$

где u_n – производная в направлении внешней нормали к контуру.

Решая обратную задачу, мы должны не только определить неизвестную компоненту электромагнитного поля $u(x, y)$, но и найти комплексную функцию $W(S)$, описывающую распределение поверхностного импеданса рассеивателя. Для получения замкнутой физико-математической модели привлекается информация о значениях рассеянного электромагнитного поля u^s в дальней или ближней зоне. Критерием приближения u^s к за-

данной ДР u_g^s является минимизация суммарного отклонения в среднеквадратичном смысле:

$$J = \sum_{i=1}^m |u_i^s - u_{gi}^s|^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для эффективного решения обратной задачи, некорректно поставленной в классическом смысле, необходимо применять существующие методы регуляризации [10]. Наиболее мощными и детально исследованными являются методы регуляризации линейных некорректных задач. Достаточно часто применяются подходы, обеспечивающие линеаризацию рассматриваемых обратных задач и связанные с использованием модифицированных условий Леонтовича [5]. Указанная линеаризация граничных соотношений проводится на базе решения u_0 с нулевым поверхностным импедансом $W(S) = 0$ (оно соответствует случаю дифракции на идеально проводящей поверхности):

$$\text{для } E\text{-поляризации} \quad u = -iW u_{0n} / (kW_0); \quad (5)$$

$$\text{для } H\text{-поляризации} \quad u_n = ikW u_0 / W_0. \quad (6)$$

Здесь $W_0 = 120 \pi = \sqrt{\mu/\varepsilon}$ – волновое сопротивление свободного пространства.

Получение решения обратной задачи восстановления импеданса дает возможность не только сопоставить значения рассеянного поля в тех точках, где они были зафиксированы в качестве дополнительных условий, но и определить полную ДР для всех возможных ракурсов наблюдения. Целью работы является оценка возможного отклонения в определении значений рассеянного поля, образующегося в результате линеаризации граничных условий.

2. Определение диаграмм рассеяния

Для вычисления рассеянного поля используются формулы Грина в неограниченной области с применением функции Грина свободного пространства (фундаментального решения)

$$g(M, P) = \frac{\pi i}{2} H_0^{(1)}(kr_{M,P}), \text{ удовлетворяющей уравнению}$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + k^2 g = -2\pi\delta(r_{M,P}),$$

включающему дельта-функцию $\delta(r_{M,P})$. Кроме того, здесь $H_0^{(1)}(kr_{M,P})$ – функция Ханкеля нулевого порядка первого рода.

Имеет место представление $H_0^{(1)} = J_0 + i N_0$ (здесь J_0 – цилиндрическая функция Бесселя первого рода нулевого порядка; N_0 – функция Бесселя второго рода нулевого порядка, называемая также функцией Неймана). При получении интегральных уравнений используется производная от фундаментального решения в направлении нормали:

$$\frac{\partial g}{\partial n}(r) = \frac{i\pi}{2} (J_1(kr) + i N_1(kr)) \cdot \frac{k}{r} (r_x \cos \alpha_n + r_y \cos \beta_n),$$

где $\cos \alpha_n$ и $\cos \beta_n$ – направляющие косинусы внутренней нормали к контуру S ; J_1 и N_1 – функции Бесселя и Неймана первого порядка.

Алгоритмы вычисления значений цилиндрических функций в виде сходящихся рядов и асимптотических формул при малых и больших значениях аргумента указаны в работе [11].

Применяя вторую формулу Грина во внешней области и используя условие излучения Зоммерфельда, приходим к интегральному представлению для полного электромагнитного поля $u(M) = u^s(M) + u_1(M)$ в произвольной точке M :

$$u(M) = \frac{1}{2\pi} \int_S (gu_n - g_n u) dS_P + u_1(M),$$

где $u_1(M)$ – известное поле падающей волны.

Таким образом, рассеянное поле u^s представляется в виде суммы интегралов, являющихся потенциалами простого и двойного слоя с непрерывными плотностями распределения:

$$u^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (gu_n - g_n u) dS_P. \quad (7)$$

Эта формула справедлива для обоих типов поляризации падающего поля.

Рассматривая случай H -поляризации и подставляя в (7) u_n из граничного условия (6), придем к выражению для ДР в линейном случае:

$$u_{lin}^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (giku_0 W / W_0 - g_n u) dS_P. \quad (8)$$

Сюда входят функции u и W , которые в то же время удовлетворяют интегральному уравнению на границе области:

$$u / 2 + \int_S (g_n u - gik W u_0 / W_0) dS / (2\pi) = u_1. \quad (9)$$

Очевидно, что u_0 – решение прямой задачи дифракции на идеально проводящей поверхности при H -поляризации, удовлетворяющее уравнению:

$$u_0 / 2 + \int_S g_n u_0 dS / (2\pi) = u_1. \quad (10)$$

Так называемое квазилинейное выражение для ДР получим, заменив в (8) u_0 на u :

$$u_{kv}^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (gik W / W_0 - g_n) u dS_P. \quad (11)$$

Обозначим через u_{nel} решение интегрального уравнения, описывающего дифракцию на поверхности с известным распределением импеданса при использовании точных граничных условий (3):

$$u_{nel} / 2 + \int_S (g_n u_{nel} - gik W u_{nel} / W_0) dS / (2\pi) = u_1. \quad (12)$$

С помощью этого решения записывается нелинейное представление рассеянного поля с заменой в (11) u на u_{nel} :

$$u_{nel}^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (gik W / W_0 - g_n) u_{nel} dS_P. \quad (13)$$

Рассмотрим линейные операторы решения прямых задач при E - и H -поляризациях в случае идеально проводящей поверхности:

$$P\xi = \sigma\xi / 2 + \int_S g_n \xi dS / (2\pi); \quad Q\xi = i \int_S g \xi dS / (2\pi).$$

Тогда уравнения (10), (9), (12) можно представить в виде:

$$Pu_0 = u_1; \quad Pu - Q\alpha u_0 = u_1; \quad Pu_{nel} - Q\alpha u_{nel} = u_1. \quad (14)$$

Здесь через α обозначена функция kW/W_0 . Решая уравнения (14), получим:

$$u_0 = P^{-1}u_1; \quad u = u_0 + P^{-1}Q\alpha u_0; \quad u_{nel} = (P - Q\alpha)^{-1}u_1. \quad (15)$$

Соотношения (15) позволяют определить значения ДР u_{lin}^s , u_{kv}^s и u_{nel}^s при H -поляризации по формулам (8), (11), (13).

В случае E -поляризации в уравнение для диаграммы рассеяния (7) необходимо подставить u из граничного условия (5), тогда для ДР в линейном приближении получим:

$$u_{lin}^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (gu_n - g_n Wu_{0n} / (ikW_0)) dS_P. \quad (16)$$

Сюда входят функции u_n и W , которые также удовлетворяют интегральному уравнению на границе области:

$$Wu_{0n} / (2ikW_0) + \frac{1}{2\pi} \int_S (g_n Wu_{0n} / (ikW_0) - gu_n) dS_P = u_1. \quad (17)$$

Очевидно, что u_{0n} – решение прямой задачи дифракции на идеально проводящей поверхности при E -поляризации, удовлетворяющее уравнению:

$$-\frac{1}{2\pi} \int_S gu_{0n} dS_P = u_1. \quad (18)$$

Квазилинейное выражение для ДР получается из (16) заменой u_{0n} на u_n :

$$u_{kv}^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (g - g_n W / (ikW_0)) u_n dS_P. \quad (19)$$

Через $u_{n,nel}$ обозначим решение интегрального уравнения, описывающего дифракцию электромагнитной волны на поверхности с известным распределением импеданса при использовании точных граничных условий (2):

$$W u_{n,nel} / (2ikW_0) + \frac{1}{2\pi} \int_S (g_n W / (ikW_0) - g) u_{n,nel} dS_P = u_1. \quad (20)$$

С помощью этого решения записывается нелинейное представление рассеянного поля (с заменой в (19) u_n на $u_{n,nel}$):

$$u_{nel}^s = \frac{1}{2\pi} \int_S (g - g_n W / (ikW_0)) u_{n,nel} dS_P. \quad (21)$$

С использованием операторов решения прямых задач интегральные уравнения (18), (17), (20) могут быть переписаны в следующем виде:

$$-Qu_{0n}/i = u_1; P\beta u_{0n} - Qu_n/i = u_1; (P\beta - Q/i)u_n = u_1, \quad (22)$$

где $\beta = W / (ikW_0)$.

Решая уравнения (22), получаем:

$$u_{0n} = -iQ^{-1}u_1; u_n = iQ^{-1}P\beta u_{0n} + u_{0n}; u_n = (P\beta - Q/i)^{-1}u_1. \quad (23)$$

Соотношения (23) позволяют определить значения ДР u_{lin}^s , u_{kv}^s и u_{nel}^s при E -поляризации по формулам (16), (19), (21).

3. Результаты расчетов

Вычислительные эксперименты проводились для случая дифракции H -поляризованной волны на цилиндре кругового сечения, имеющем диаметр, связанный с длиной волны соотношением $d = \lambda / \pi$. Амплитудные ДР, соответствующие различным подходам к линеаризации граничных условий, вычислялись на расстоянии $50d$ от оси объекта, т.е. в дальней зоне. На рис. 1–3 приведены значения модулей магнитной компоненты рассеянного поля u_{lin}^s , u_{kv}^s , u_{nel}^s , найденные по формулам (8), (11), (13). Параметры нормированного импедансного покрытия $\bar{W} = W / W_0$ варьировались с выполнением ограничений $\|\bar{W}\| \leq 0.1$, $\|\bar{W}\| \leq 0.2$, $\|\bar{W}\| \leq 0.4$. Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что для покрытий с достаточно малой нормой выбор вида линеаризации не является существенным. Дальнейшее уве-

личение нормы распределения импеданса ведет к росту отклонений ДР, наиболее заметному в случае линейной формулы (8).

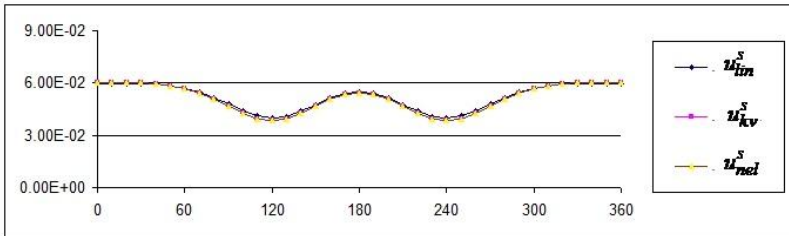


Рис. 1. Диаграммы рассеяния при $\|\bar{W}\| \leq 0.1$

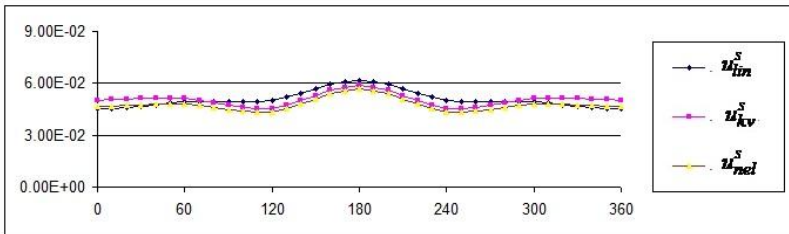


Рис. 2. Диаграммы рассеяния при $\|\bar{W}\| \leq 0.2$

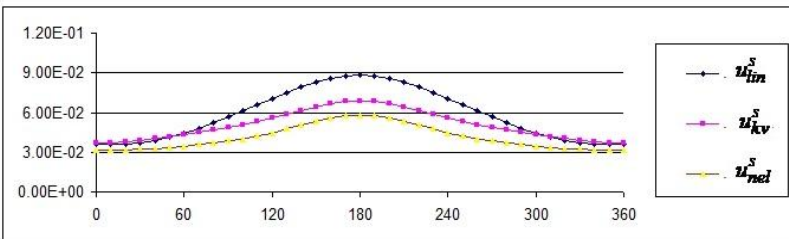


Рис. 3. Диаграммы рассеяния при $\|\bar{W}\| \leq 0.4$

Сходимость линейных и нелинейных диаграмм рассеяния при уменьшении нормы покрытия очевидным образом объясняется соответствующей сходимостью токов на поверхности рас-

сеивателя, индуцированных в результате взаимодействия с падающей электромагнитной волной:

- u_0 соответствует дифракции на идеально проводящей поверхности;
- u – квазилинейный подход (формулы (5), (6));
- u_{nel} – нелинейные граничные условия (формулы (2), (3)).

Указанное свойство индуцированных токов при $\|\bar{W}\| \rightarrow 0$ было изучено и обосновано в работе [12]. На рис. 4 показано распределение комплексных значений токов (реальных и мнимых компонент) для покрытия с условием $\|\bar{W}\| \leq 0.2$ на поверхности цилиндра. Линия 1 соответствует $\text{Re } u_0$, 2 – $\text{Im } u_0$, 3 – $\text{Re } u$, 4 – $\text{Im } u$, 5 – $\text{Re } u_{nel}$, 6 – $\text{Im } u_{nel}$. Максимальное отклонение реализуется в случае линейного подхода.

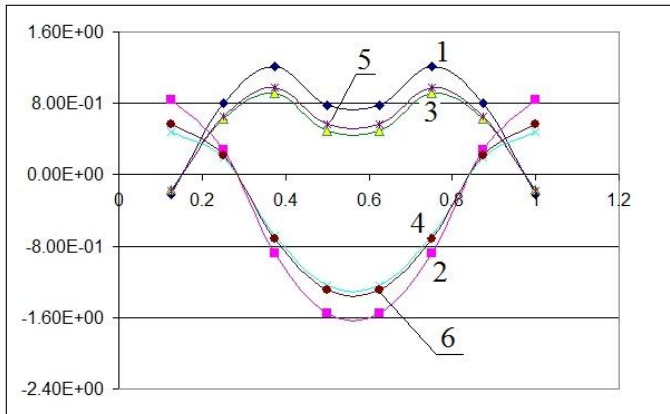


Рис. 4. Распределение токов на поверхности рассеивателя при $\|\bar{W}\| \leq 0.2$

Следует отметить, что предлагаемый метод решения локационных задач базируется на строгих формулах интегрального представления электромагнитного поля в произвольной точке пространства. По этой причине он полностью применим в случае использования данных локации, полученных в ближней зоне

(примеры – СВЧ-диагностика, неразрушающий контроль). Это позволяет получать распределение отраженного сигнала во всем пространстве, окружающем объект. На рис. 5 приведены поверхности амплитуд рассеянных полей, полученных при исследовании дифракции плоской волны на цилиндрах кругового (рис. 5а) и квадратного (рис. 5б) сечения.

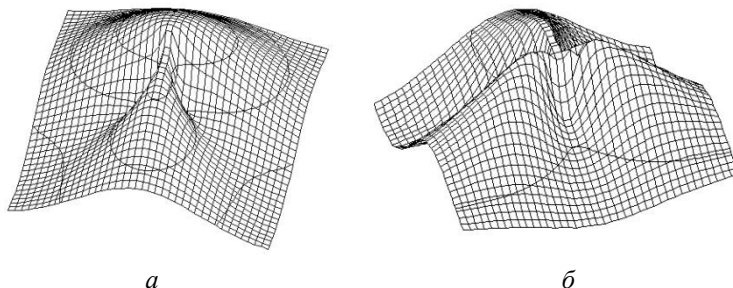


Рис. 5. Поверхности амплитуд рассеянных полей:
а – цилиндры с круговым поперечным сечением;
б – цилиндры с квадратным поперечным сечением

Рассеяние на цилиндре, имеющем квадратное поперечное сечение, приводит к появлению дополнительного, третьего лепестка, которого не было в случае кругового цилиндра.

Заключение

В работе проведен анализ подходов к линеаризации постановок обратных задач синтеза импедансных покрытий. Исходные дифференциальные уравнения сведены к системе интегральных уравнений, что позволило определить индуцированные токи и распределение поверхностного импеданса. Кроме того, получено интегральное представление для комплексных значений рассеянного поля в дальней и ближней зоне, что дает возможность вычислять распределение отраженного сигнала в любой точке пространства, окружающего объект.

Проанализировано поведение вещественных и мнимых компонент индуцированных токов. С помощью вычислительных экспериментов установлена сходимость токов на поверхности

рассеивателя при уменьшении нормы импедансного покрытия, а следовательно, и сходимость диаграмм рассеяния. Это позволяет определить и обосновать диапазон применимости предлагаемого метода решения обратных задач дифракции электромагнитных волн.

Список литературы

1. *Gang, B., Faouzi, T.* Reconstruction of a defect in an open waveguide // *Science China Mathematics*. – 2013. – Vol. 56, № 12. – P. 2539–2548.
2. *Conna, M. C.* Использование соотношений двойственности для Е- и Н-поляризаций в обратных задачах рассеяния на импедансных поверхностях // *Сибирский журнал индустриальной математики*. – 2004. – Т. VII, № 2. – С. 111–116.
3. *Alekseev, G. V.* Cloaking via impedance boundary condition for the 2-D Helmholtz equation // *Applicable Analysis*. – 2014. – Vol. 93. – P. 254–268.
4. *Зеркаль, С. М., Conna, M. C.* Локационные задачи теории распространения волн (дифракция и фокусировка) : монография. – Новосибирск : НГУ, 2003. – 110 с.
5. *Conna, M. C.* Численное решение задачи восстановления формы импедансной поверхности // *Автометрия*. – 1998. – № 1. – С. 47–49.
6. *Conna, M. C.* Математическое моделирование СВЧ-диагностики импедансных поверхностей при неизвестной фазе отраженного сигнала // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2008. – Т. 49, № 4 (290). – С. 146–151.
7. *Conna, M. C.* Компьютерная система обработки данных в задачах радиолокационного распознавания и диагностики формы импедансной поверхности // *Вычислительные технологии (совм. вып. Вестник КазНУ им. Аль-Фараби)*. – 2004. – Т. 9, ч. IV. – С. 53–58.
8. *Soppa, M. S.* Construction of functional relationships providing cross – polarization equivalence of electromagnetic scatterers //

IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 953. – P. 012039.

9. *Conna, M. C.* Восстановление формы импедансного рассеивателя в случае Е-поляризованной электромагнитной волны // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2005. – Т. VIII, № 2. – С. 152–158.
10. *Kabanikhin, S. I.* Definitions and examples of inverse and ill-posed problems // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. – 2008. – Vol. 16, № 4. – P. 317–357.
11. *Янке, Е., Эмде, Ф., Леш, Ф.* Специальные функции. – Москва : Наука, 1977. – 344 с.
12. *Conna, M. C.* Линеаризация граничных условий в дифракционных задачах // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы XI Всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2018. – С. 212–217.

УДК 332.871

ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПАНИЙ

В.В. Алабугин*

В статье определяются возможные критерии и механизмы оценки эффективности деятельности управляющих организаций. Рассматриваются следующие вопросы: 1) влияние эффективной деятельности управляющих организаций в сфере ЖКХ на стоимость жилищного фонда и качество предоставляемых услуг; 2) оптимизация и эффективность использования ресурсов управляющих компаний; 3) уровень стоимости и качества услуг, спрос на них; 4) улучшение технического состояния общего имущества многоквартирных домов и благоустройства придомовых территорий.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, деятельность управляющей компании, эффективность, критерии эффективности, услуги

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-112-117

Введение

Для обеспечения комфортной и безопасной деятельности населения необходимо постоянное нормативное функционирование общественных зданий и жилищного фонда, контроль бесперебойного функционирования коммуникаций и технических устройств, контроль качества коммунальных ресурсов и организация благоустройства территорий.

В настоящее время актуальна оценка качества работы управляющих организаций по обслуживанию жилищного фонда и определению критериев, позволяющих провести анализ эффективности данной деятельности.

Эффективная деятельность управляющих организаций после передачи зданий собственникам влияет на ключевые свойст-

* Магистрант кафедры экономики, управления, социологии и педагогики НГАСУ (Сибстрин)

ва объектов (рассматриваемых в том числе как инвестиционные активы) и позволяет улучшать конкурентные преимущества придомовых территорий, увеличивать стоимость и инвестиционную привлекательность зданий, формировать комфортную среду для деятельности человека.

Постановка задачи

Задача настоящего исследования состоит в том, чтобы определить возможные критерии оценки эффективности деятельности управляющих организаций и их влияние на улучшение качества обслуживания многоквартирных домов, а также зависимость повышения стоимости и инвестиционной привлекательности жилищного фонда от оптимизации затрат и повышения качества предоставляемых услуг организациями жилищного хозяйства.

Жилищно-коммунальное хозяйство (далее – ЖКХ) – одна из основных отраслей народного хозяйства Российской Федерации, существенно влияющая на инвестиционную привлекательность территорий, комфортность жилья, услуг инфраструктуры и благоустройства. Управляющие организации жилищно-коммунальной сферы являются ключевыми предприятиями экономики регионов, обеспечивающими население жизненно важными услугами, а также необходимыми ресурсами для жизнедеятельности – электрической и тепловой энергией, водоснабжением и т.д., в зависимости от степени благоустройства населенных пунктов.

Отметим факторы, влияющие на рост стоимости квадратного метра:

- спрос/предложение;
- реклама;
- конкурентные преимущества объектов.

Конкурентные преимущества объектов формируют следующие факторы:

- транспортная доступность;
- развитая инфраструктура;
- благоустройство территории;
- архитектурный облик жилых комплексов;
- конструктивные особенности планировки помещений;

– уровень обслуживания населения и т.д.

В качестве примера мы рассмотрели деятельность управляющих организаций на нескольких жилых комплексах Новосибирска и выявили зависимость роста стоимости жилья от эффективности деятельности управляющих организаций и стоимости эксплуатации жилищного фонда.

Наибольший рост стоимости недвижимости в Новосибирске зафиксирован на объектах с более высокой стоимостью обслуживания жилых комплексов (табл. 1, 2).

Таблица 1
Стоимость 1 м² недвижимости, тыс. руб./м²

Жилой комплекс	2014 г.	2016 г.	2018 г.	2020 г.
«Матрешкин двор»	45–47	48–50	55–57	58–60
«Тулинка»	45–47	52–54	60–65	70–85
«Бавария»	65–75	70–80	80–90	90–120
«Новосибирский квартал»	40–42	48–50	52–55	62–65
«Кедровый»	75–80	80–90	90–110	125–150

Примечание. Таблица составлена по результатам мониторинга, выполненного автором настоящей работы.

Таблица 2
Рост стоимости 1 м² жилья по отношению к предыдущему двухлетнему периоду и тариф на содержание общего имущества собственников многоквартирных домов

Жилой комплекс	Рост стоимости 1 м ² , %			Тариф, руб./м ² (в среднем в 2016–2020 гг.)
	2016 г.	2018 г.	2020 г.	
«Матрешкин двор»	6,52	14,29	5,36	21
«Тулинка»	15,22	17,92	24,00	23
«Бавария»	7,14	13,33	23,53	35
«Новосибирский квартал»	17,07	14,58	14,55	20
«Кедровый»	10,39	17,65	32,50	75

Примечание. Таблица составлена по результатам мониторинга, выполненного автором настоящей работы.

Отметим, что понятие «эффективность» является многозначным [1, 2]. Принцип экономически эффективного управления расходами, который взят за основу в данной работе, заключается в улучшении характеристик эксплуатируемых объектов и предоставлении населению при минимальных затратах услуг высокого качества. Для оптимизации и повышения эффективности использования ресурсов управляющих организаций необходимо осуществление мониторинга затрат по различным критериям на основании системы показателей, позволяющих проводить сравнительный анализ по направлениям расходования средств [3].

Разработка подобного механизма оценки эффективности деятельности управляющих организаций способствует улучшению качества предоставляемых услуг.

Оценка эффективности деятельности управляющих компаний позволяет:

- создать основы для повышения конкурентоспособности предприятий ЖКХ;
- оценить надежность инвестиционных вложений;
- улучшить качество управления и благоустройства территорий, жилых и общественных зданий;
- осуществлять общественный, муниципальный и государственный контроль за деятельностью управляющих организаций в сфере ЖКХ.

Критерии эффективности и инструменты оценки могут определяться по различным методикам с учетом конкретной территории, стратегии развития и поставленных задач, должны быть направлены на потребителя услуг и стать ориентиром для их деятельности.

Исследуемые индикаторы эффективности деятельности управляющих организаций, как правило, применяются при сравнении показателей, касающихся произведенных услуг, объема работ, достижений, реализованных программ, и должны быть ориентированы на цели, задачи и требования законодательства [4] и местных органов самоуправления.

Индикаторы оценки деятельности могут как корректироваться ежегодно (показатели, представляющие наибольшую ценность на данном этапе деятельности), так и иметь постоянные критерии оценки. Посредством соотношения результатов деятельности определяется то, насколько оказываемые услуги управляющих компаний соответствуют нуждам населения, стоимость и качество услуг – определенному уровню и спросу, а также то, насколько они экономически эффективны.

Эффективность деятельности управляющей компании может оцениваться по следующим критериям: оценка качества обслуживания жильцами домов, проведение текущих ремонтов, техническое состояние общего имущества многоквартирных домов и качество состояния придомовых территорий, финансово-экономические характеристики деятельности управляющей компании по управлению многоквартирными домами [5], изменение стоимости 1 м² и т.д.

Каждой группе показателей качества работы управляющей компании может присваиваться коэффициент значимости, который определяется экспертным путем.

Можно предложить следующие возможные критерии оценки эффективности работы управляющей компании, которые учитывают фактические показатели их деятельности:

- 1) количество выданных предписаний государственной жилищной инспекцией;
- 2) привлечение к административной ответственности;
- 3) наличие жалоб и обращений граждан, юридических лиц [6];
- 4) финансово-экономические результаты (своевременные расчеты по обязательствам и финансовая устойчивость);
- 5) снижение/увеличение стоимости обслуживаемого жилищного фонда;
- 6) доходы, пропорциональные управляемому жилому фонду (на 1 м²);
- 7) налоговая дисциплина управляющих организаций;
- 8) количество проверок и выявленных нарушений, пропорциональных площади обслуживаемого жилого фонда.

По мнению автора, являющегося профессиональным управляющим в сфере ЖКХ, потребность населения и местных органов самоуправления в индикаторах и информации об эффективности деятельности управляющих компаний достаточно высока. Возможность использования конкретных критериев позволит дать объективную оценку деятельности управляющих организаций и заложить основы для формирования потребительского рейтинга и увеличения конкуренции, ориентированной на предоставление услуг высокого качества.

Список литературы

1. *Коган, А. Б., Приставка, А. Н.* Анализ развития подходов к определению эффективности деятельности компании // Экономический анализ: теория и практика. – 2020. – Т. 19, № 6. – С. 1173–1188.
2. *Коган, А. Б.* Критика доминирования оценки бюджетной эффективности при выборе инвестиций для государственного софинансирования // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2017. – Т. 10, № 4 (334). – С. 418–434.
3. *Сергиенко, Н. В.* Общественный сектор экономики: бюджетные императивы управления по результатам : дис. ... канд. экон. наук. – Ростов-на-Дону : Северо-Кавказская акад. гос. службы, 2009. – 214 с.
4. *Фаттахов, Р. В., Низамутдинов, М. М.* Методические аспекты оценки результативности деятельности региональных органов власти по управлению жилищно-коммунальным хозяйством // Управленческие науки. – 2016. – № 3. – 120 с.
5. *Казарова, А. Я.* Оценка эффективности работы управляющих компаний. – Текст : электронный // Научная электронная библиотека «Киберленинка». – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-raboty-upravlyayuschih-kompaniy> (дата обращения: 25.06.2021).
6. *Колдоба, А. А.* Выбор критериев оценки эффективности деятельности управляющих компаний жилищно-коммунального хозяйства в регионе // Вестник Казан. технологич. ун-та. – 2014. – № 19. – 456–458 с.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНОГО ДИДАКТИЧЕСКОГО КУРСА ПО ВОЕННОЙ ТОПОГРАФИИ

В.П. Бауэр^{*}, А.Б. Коган^{}**

Предметом работы является эффективность расходования ресурсов на создание цифрового учебного курса. Цель работы – разработка формализованных подходов к оценке эффективности указанного процесса. Результаты получены с использованием методов экономических и педагогических наук. Получена оценка эффективности затрат на создание компьютерного курса. Вывод, следующий из данного исследования, состоит в том, что разработке любого учебного курса должны предшествовать экономическая оценка соответствующих затрат и их рационализация.

Ключевые слова: эффективность, цифровизация, военная топография, учебный курс

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-118-121

Введение

Понятие «эффективность» занимает в экономической науке одно из центральных мест [1]. Теме эффективности деятельности компании и ее оценке уделяется пристальное внимание как учеными, так и практикующими специалистами консалтинговых и инвестиционных компаний [2]. Однако пока ни в мировой науке, ни в ее отечественном сегменте не существует единого подхода к трактовке данного понятия. Так, в современной экономической литературе применительно к деятельности фирмы используются следующие виды эффективности: финансовая, использования ресурсов (труда, основных средств, оборотных средств), инвестиционного проекта в целом, участия в инвестиционном проекте и др. [3–5].

^{*} Аспирант НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Д-р экон. наук, доцент НГАСУ (Сибстрин)

1. Постановка задачи

На сегодняшний день разработано много методов оценки эффективности обучения персонала организации, таких как метод Дональда Кирпатрика, методика Джека Филипса и др., но общепринятой методологии расчета показателей оценки экономической эффективности обучения курсантов (слушателей) военных институтов не существует [2].

Под экономической эффективностью обучения можно понимать коэффициент возврата инвестиций. Он помогает сопоставить положительные эффекты от внедрения того или иного проекта (в данном случае – цифровизации учебного курса) с количеством вложенных ресурсов (достижения минимально необходимого результата обучения).

Поскольку обучение длится в течение определенного периода, мы исходим из того, что внедрение новой педагогической технологии обучения требует некоторых затрат на ее разработку ($Z_{разр}$) и затрат на обучение ($Z_{обуч}$). Таким образом, общие затраты на реализацию учебного курса ($Z_{курс}$) будут вычисляться по формуле:

$$Z_{курс} = Z_{разр} + Z_{обуч}.$$

Затраты на разработку – это время, потраченное на разработку новой педагогической технологии обучения, в нашем случае – цифровизации учебного курса. Затраты на обучение, по нашему мнению, необходимо исчислять в часах, определенных в образовательной программе на обучение (контактная работа и самостоятельная работа студента).

2. Результаты расчетов

В качестве примера рассмотрим эмпирический материал дисциплины «Военная топография». Для достижения минимально необходимых результатов обучения по одному из курсов в образовательной программе заложено 180 часов. На разработку компьютерного курса требуется 1000 часов, однако ожидаемый результат обучения с его применением будет достигнут уже через 144 часа. Затраты на реализацию учебного курса ($Z_{курс}$) в часах на обучение по годам следующие:

Год обучения	При традиционной форме $Z_{курс}$		С применением КДК $Z_{курс\ КДК}$	
	одна группа	десять групп	одна группа	десять групп
1	180	1800	1144	2440
2	360	3600	1288	3880
3	540	5400	1432	5320
4	720	7200	1576	6760

Примечание. КДК – компьютерный дидактический курс.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что разработка компьютерного курса для одной группы не уменьшает общих затрат на обучение даже по прошествии пяти лет, однако при обучении 10 одинаковых групп эти затраты снижаются уже на четвертый год внедрения. В приведенном примере высвобождение учебного времени за 10 лет составит $18\ 000 - 15\ 400 = 2600$ часов. Таким образом, у студента появляется дополнительное время, которое он может потратить на развитие компетенций.

Заключение

Коэффициент экономической эффективности $K_{эф}$ за определенный период можно рассчитать как отношение экономии общих затрат на реализацию курса ($Z_{курс} - Z_{курс\ КДК}$) к затратам на разработку курса ($Z_{разр}$):

$$K_{эф} = (18\ 000 - 15\ 400) / 1000 = 2,6.$$

Другим показателем оценки учебного процесса является его результативность – показатель достижения целей. Относительно учебных курсов результативность, по нашему мнению, может рассчитываться как отношение достигнутых результатов обучения к идеальным показателям. Стоит отметить, что данный показатель выражается в процентах:

$$P = P_{ср.б} / 5,$$

где $P_{ср.б}$ – средний балл результатов обучения за определенный период:

$$P_{ср.б} = \frac{\sum_{n=1}^n P_n}{N},$$

где N – количество обучающихся; P_n – оценка, полученная каждым обучающимся.

Еще одним показателем оценки учебного процесса является экономичность. Под экономичностью обучения обучающихся $\mathcal{E}_{об}$ мы понимаем отношение среднего балла результатов обучения за определенный период к общим затратам на обучение за этот период $\mathcal{Z}_{курс}$:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{ср.б} / \mathcal{Z}_{курс}.$$

Таким образом, предложенные экономические показатели позволят оценить целесообразность внедрения новых педагогических технологий в учебный процесс вуза. Все вышеизложенное подлежит дальнейшему развитию.

Список литературы

1. *Кенэ, Ф.* Избранные экономические произведения. – Москва : Соцэкгиз, 1960. – 554 с.
2. *Ившина, Н. С., Пахомов, А. А.* Оценка экономической эффективности целевого обучения персонала организации (предприятия) // Вопросы экономики и права. – 2016. – № 3. – С. 124–128.
3. *Коган, А. Б., Новиков, А. В.* Генезис теории оценки эффективности реальных инвестиций // Вестник НГУЭУ. – 2017. – № 2. – С. 10–18.
4. *Коган, А. Б.* Критика доминирования оценки бюджетной эффективности при выборе инвестиций для государственного софинансирования // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2017. – Т. 10, № 4 (334). – С. 418–434.
5. *Коган, А. Б., Приставка, А. Н.* Анализ развития подходов к определению эффективности деятельности компании // Экономический анализ: теория и практика. – 2020. – Т. 19, № 6. – С. 1173–1188.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХРАНЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ БИБЛИОТЕКАХ

А.А. Шкредова^{*}, В.В. Геронимус^{}**

Авторами проведен анализ статистической информации о количестве ведущих научных журналов в мире и количестве опубликованных в них научных статей в период 2001–2013 годов, а также рассмотрены инновационные технологии сбора, хранения, обработки и передачи научной информации. Сделан вывод об оптимальном варианте хранения и использования информационных ресурсов в современных научных библиотеках.

Ключевые слова: научная информация, информационные ресурсы, способы хранения и использования научных информационных ресурсов, научные журналы, научные статьи, микрофильмы, СОМ-системы

DOI 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-122-128

Введение

В современном постиндустриальном обществе огромное значение приобретают информация и способы ее сбора, хранения, обработки и передачи. В настоящее время особый интерес вызывают проблемы формирования, хранения и передачи научной информации, что приводит к необходимости создания современных научных библиотек, функционирующих в изменившихся условиях на основе инновационных подходов к развитию библиотечного дела. В связи с этим особую актуальность приобретает исследование инновационных технологий сбора, хранения, обработки и передачи информации в ведущих библиотеках мира.

^{*} Студент НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Ст. преподаватель НГАСУ (Сибстрин)

Основные современные источники и технологии хранения и переработки научной информации

Первый научный журнал (французский еженедельник «Журнал ученых» (Le Journal des Sçavans)) появился в XVII веке. В нем, наряду со сведениями об открытиях и изобретениях в различных областях науки, помещались некрологи, работы по церковной истории, протоколы судебных заседаний. Позднее основным назначением подобных журналов стало информирование ученых о результатах научных исследований в различных областях знания, прежде всего относящихся к естественным и техническим наукам. В XIX веке научные журналы становятся основными источниками актуальной научной информации.

В 2014 году, согласно данным Каталога периодических изданий Ульриха онлайн (Ulrich's Periodicals Directory online), общее количество рецензируемых научных журналов достигло 34 274. В период с 2001 по 2011 год количество журналов увеличилось в среднем на 4,05 %, опубликованных в них научных статей – на 2,8 %. По оценке британского ученого М. Мейба (М. Mabe), проводившего исследование периода с 1665 по 2001 год, рост количества научных рецензируемых журналов в мире в среднем составлял 3,46 % в год, что обеспечивало устойчивое удваивание числа научных журналов каждые 20 лет [1].

В 2001 году 30 % опубликованных в мире научных статей приходилось на США, 35 % – на Европейский союз, 9 % – Японию, 3 % – на Китай и по 2 % – на Бразилию и Индию [2].

В 2011 году это процентное соотношение изменилось: в течение всего 10 лет доля Европейского союза сократилась до 31 %, доля США – до 26 %; доля Китая возросла до 11 %, Японии – до 6 %, Бразилии – до 3 %, Индии – до 3 % [2].

Согласно данным Institute for Scientific Information, ежегодное количество публикаций научных работ в мире повышается, основной процентный рост приходится именно на развивающиеся страны. В 2018 году количество новых научных работ повысилось на 5 % и составило 1,6 млн статей, включенных в обширную базу научных данных Web of Science. Этот показатель стал самым значительным за всю историю мировой науки.

Количество опубликованного материала в Египте возросло на 21 %, в Пакистане – на 15,9 %, а у Китая – на 15 %. В Индии, Бразилии, Мексике и Иране этот показатель вырос примерно на 8 % [3].

Стоит учесть, что еще в 1980 году на США, Великобританию, Францию, Германию и Японию приходилось 90 % всех мировых научных публикаций, а в настоящее время лидером по созданию научных работ являются ученые США. Китай отстает от США на 35 тыс. статей, что стало минимальным разрывом за последние годы [3]. Если тенденция сохранится, то по итогам 2021 года больше всего научных статей будет опубликовано китайскими учеными.

Ведущие ученые отмечают, что качество китайской науки в целом растет, но, чтобы этот рост не прекращался, необходимо больше политической свободы для китайских ученых: доступа ко всей научной информации и отмены цензуры.

Особое значение в настоящее время имеет структурирование научной информации. Каталог периодических изданий Ульриха онлайн подразделяет научные журналы на следующие рубрики: медицина и здравоохранение, социальные и гуманитарные науки, науки технологии и техники, государственное право и государственное управление, биологические науки и сельское хозяйство, бизнес и экономика, образование, искусство и литература, философия и религия, химия, математика, физика, этнография и образ жизни, спорт, хобби и отдых и т.д. Анализ распределения новых научных журналов по перечисленным рубрикам в 2013 году показал, что наибольшее количество новых журналов появилось в рубрике медицины и здравоохранения – 473 публикуемых журнала, далее следует рубрика технологии и техники – 293 научных журнала, затем рубрика биологических наук и сельского хозяйства – 235 публикуемых журналов, после рубрика социальных и гуманитарных наук – 206 публикуемых журналов. Наименьшее же количество публикуемых журналов в рубрике справочной и библиографической информации – пять научных журналов.

Распределение научных журналов по рубрикам показало, к каким научным направлениям в мире интерес был самым высоким, что соответствовало большей степени изученности научных проблем в определенных областях знания.

Стабильный рост количества научных статей, журналов и опубликованных в них научных статей сопровождался увеличением количества ежегодных научных мероприятий, являющихся источником обмена информационными ресурсами. В 2018 году в Новосибирске было запланировано и проведено 63 научных события. Доклады по биологии, сельскому хозяйству, медицине, математике представили ведущие ученые на расширенном заседании Президиума СО РАН.

Постоянное увеличение количества публикуемых научных материалов приводит к так называемому информационному взрыву, который негативно сказывается на качестве сбора, хранения, обработки и передачи научной информации. В связи с этим особое значение в настоящее время приобретает поиск самых рациональных вариантов решения этих задач на основе применения инновационных информационных технологий.

Традиционный способ хранения информации на бумажных носителях в современных научных библиотеках все больше уступает место ее инновационным вариантам сбора, хранения, обработки и передачи. В настоящее время наиболее надежными электронными способами хранения огромных объемов информации специалисты считают оцифровку информационных материалов и оптическое микрофильмирование [4].

Данные способы находят все более активное применение в современных отечественных и зарубежных научных библиотеках, обеспечивая возможность хранения информации в течение весьма продолжительного времени. При этом технологии их применения к настоящему моменту адаптированы к условиям функционирования передовых научных библиотек.

Электронно-цифровое обслуживание и использование научной информации позволяет существенно экономить время,

необходимое для информационного поиска, обеспечивает компактность хранения информационных материалов и позволяет осуществлять оперативный обмен информационными ресурсами посредством современных цифровых коммуникаций. При этом необходимо отметить, что одним из надежных способов хранения научной информации по-прежнему остается оптическое микрофильмирование, технология которого может обеспечить целостное долгосрочное сохранение информации (по мнению ведущих отечественных и зарубежных специалистов – до 500 лет).

Передача информации с компьютерного устройства на микрофильм осуществляется за счет СОМ-систем – специализированных устройств, с помощью которых происходит перенос электронной графической и текстовой информации. СОМ-системы занимают ключевую позицию в электронных микрографических технологиях и успешно применяются в работе с электронными ресурсами. Например, после тестирования и изучения этот способ внедрил Национальный архив Швеции.

Также специалисты Министерства экономики Германии, используя данный способ, разработали новую технологию перевода цифровых данных на пленку [5]. Эта система предназначена не только для устранения информационных дефектов, которые возникают из-за мелких пылинок и царапин на поверхности микропленки, но и для существенного увеличения количественных емкостных параметров самих электронных ресурсов. Данным способом хранения информации успешно воспользовались Библиотека Конгресса США, Бюро документации земельной собственности ЮАР и многие учреждения в других странах [5].

Используя СОМ-системы для хранения информации, специалисты выявляют все новые и новые возможности более качественного долгосрочного и надежного сохранения информации, содержащейся в микрофильмах. Суть нового способа заключается в том, чтобы электронную информацию, которая представляет собой набор двоичных данных, преобразовать в двумерный

штрих-код, состоящий, в свою очередь, из набора информационных точек, и далее сформировать в виде растрового изображения. Такой подход позволяет сохранять не только текстовую и чертежно-графическую документацию, но и цифровую аудио-визуальную.

Весьма важны в настоящее время существенные изменения принципиальных подходов к функционально-пространственному формированию современных научных библиотек, объемно-планировочные решения которых должны в полной мере соответствовать новым требованиям к сбору, хранению, обработке и передаче научной информации.

Заключение

Проведенное авторами исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Устойчивой тенденцией последних десятилетий стало резкое увеличение объема публикуемой научной информации.
2. В условиях интенсивного роста информационных потоков отечественными и зарубежными специалистами активно разрабатываются и внедряются в соответствующие отрасли инновационные цифровые технологии сбора, хранения, обработки и передачи научной информации.
3. В настоящее время весьма актуальным становится поиск принципиально новых вариантов формирования и функционирования современных научных библиотек.

Список литературы

1. *Mabe, M.* The growth and number of journals // *Serials*. – 2003. – Vol. 16, № 2. – P. 191–197.
2. *Домнина, Т. Н., Хачко, О. А.* Научные журналы: количество, темпы роста // *Информационное обеспечение науки: новые технологии* : сб. науч. тр. – Москва : БЕН РАН, 2015. – С. 83–96.

3. *Makri, A.* Pakistan and Egypt had highest rises in research output in 2018. – Текст : электронный // Nature. – URL: [nature.com/articles/d41586-018-07841-9](https://www.nature.com/articles/d41586-018-07841-9) (дата обращения: 23.06.2021).
4. *Арский, Ю. М., Гиляревский, Р. С., Туров, И. С., Черный, А. И.* Инфосфера: Информационные структуры, системы и процессы в науке и обществе. – Москва : ВИНТИ, 1996. – 489 с.
5. *Талалаев, А. К., Евсеев, Е. Е., Завалишин, П. Е., Проскуряков, Н. Е.* Мировой опыт создания и хранения информационных ресурсов в современных условиях // Известия Тул. гос. ун-та. Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 408–421.

Редактор М.Е. Беляева
Корректор А.В. Тренина

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 54.НС.05.953.П.006252.06.06 от 26.06.2006 г.
Подписано к печати 24.09.2021. Формат 60×84/16.
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Уч.-изд.л. 7,021; п.л. 8,25 Тираж 100 экз. Заказ №

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Отпечатано