

ISSN 2072-0297

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



**19** 2023  
ЧАСТЬ II

16+

# Молодой ученый

## Международный научный журнал

### № 19 (466) / 2023

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

*Главный редактор:* Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

*Редакционная коллегия:*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)  
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук  
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)  
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук  
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук  
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук  
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)  
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук  
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)  
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)  
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук  
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)  
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук  
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук  
Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук  
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук  
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук  
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук  
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения  
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)  
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)  
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук  
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук  
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук  
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук  
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук  
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)  
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук  
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук  
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук  
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук  
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук  
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук  
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук  
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)  
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)  
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук  
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)  
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук  
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук  
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук  
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)  
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук  
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук  
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры  
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)  
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук  
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

*Международный редакционный совет:*

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)  
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)  
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)  
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)  
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)  
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)  
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)  
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)  
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)  
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)  
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)  
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)  
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)  
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)  
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)  
Кадыров Кулуг-Бек Бекмуратович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)  
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)  
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)  
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)  
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)  
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)  
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)  
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)  
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)  
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)  
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)  
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)  
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)  
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)  
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)  
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)  
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)  
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)  
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

---

---

На обложке изображен *Давид Рикардо* (1772–1823), английский экономист, классик политической экономии, последователь и одновременно оппонент Адама Смита. Рикардо выявил закономерную в условиях свободной конкуренции тенденцию нормы прибыли к понижению, разработал законченную теорию о формах земельной ренты; развил идеи Адама Смита о том, что стоимость товаров определяется количеством труда, необходимого для их производства, и разработал теорию распределения, объясняющую, как эта стоимость распределяется между различными классами общества.

Давид Рикардо вырос в ортодоксальной иудейской семье в Лондоне и уже к четырнадцати годам получил традиционное еврейское образование: изучал Тору, Талмуд, прекрасно знал математику, разбирался в азах бухгалтерии. Его таланты пригодились в семейном бизнесе: отец, Абрахам Рикардо, был успешным биржевым маклером. В конторе отца юный Давид выполнял сложные финансовые поручения и уже в шестнадцать лет продемонстрировал прекрасную деловую хватку.

К совершеннолетию он скопил достаточно связей, опыта и капитала, чтобы жить самостоятельно и содержать жену, Присциллу Уилкинсон, из-за брака с которой он отказался от традиционного иудаизма и на долгие годы прервал отношения с родителями.

К 38 годам Рикардо стал одной из самых влиятельных фигур лондонского финансового мира — его состояние составляло более миллиона фунтов стерлингов. При этом Давиду удалось сохранить репутацию безупречно честного коммерсанта: он всегда следовал биржевой этике и не участвовал в сделках, которые могли принести вред экономике страны.

В то же время интерес Рикардо перешел от практики к теории. Он занялся глубоким изучением различных наук: математики, химии и физики, геологии и минералогии, литературы и даже теологии. Но основной его интерес сконцентрировался на теории политической экономии — вслед за трудами другого классика этой науки, Адама Смита.

В 1809 году вышли первые политэкономические труды Давида Рикардо: статья в *Morning Chronicle* и памфлет «Высокая цена на золото как доказательство обесценения кредитных билетов». Публикации получили широкой общественный резонанс, упрочили авторитет автора и позволили ему стать не-

гласным участником Комитета по золотому обеспечению. В 1815 году вышло «Эссе о влиянии низкой цены на зерно на прибыль с капитала», в 1816-м — «Предложения в пользу экономичного и устойчивого денежного обращения», а в начале 1817 года — главный труд Рикардо: «О принципах политической экономии и налогообложения». В этой работе он развил положения теории Адама Смита, показывая, что стоимость товаров, основной составляющей которой является труд рабочего, лежит в основе доходов различных классов общества.

Параллельно Рикардо выстраивал политическую карьеру с целью реализации своих теоретических идей на практике. Он примкнул к партии умеренных либералов, стал крупным ленд-лордом, а в 1819 году приобрел место в палате общин британского парламента.

На протяжении всей политической карьеры он последовательно отстаивал положения экономического либерализма, невмешательства государства в экономику, выступал за свободу предпринимательства и торговли, уменьшение государственного долга, улучшение банковской системы и против «хлебных законов».

Вокруг Рикардо сложился кружок, в который входили его последователи: Джеймс Милль, Джон Рамсей Мак-Куллох, Эдуард Уэст и Томас де Квинси. Рикардо поддерживал дружеские отношения с Томасом Мальтусом, с которым постоянно полемизировал, и Жаном Батистом Сэем. В 1821 году основал первый в Англии клуб политической экономии.

Умер в возрасте 51 года в Глостершире от ушной инфекции.

В настоящее время Давид Рикардо наряду с Адамом Смитом считается одним из отцов-основателей современной экономической науки. У него образовалось множество последователей: социалисты-рикардианцы, джорджисты. Выведенная им теория трудовой стоимости использована для обоснования перераспределения богатства социалистами, самым известным из которых был Маркс. А теория сравнительных преимуществ стала осью всемирного экономического порядка и входит в главные мировые учебники по экономике.

*Информацию собрала ответственный редактор  
Екатерина Осянина*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

**Ван Жэньцзе**

Исследование по преимуществу и особенностям расчета конструкции арочного перекрытия .....69

**Дудинова Д. М.**

Исследование напряжений в сечении при усилении балки методом увеличения площади .....80

**Ерастова Л. А.**

Особенности расчета элементов конструкций из тонкостенных профилей .....84

**Ерастова Л. А.**

Влияние перфорации стенки на напряженно-деформируемое состояние термопрофиля.....90

**Ибрагимова Д. Ф.**

Исследование свойств бетона с добавкой технического углерода.....96

**Каткаева Т. И., Корнева Н. С.**

Воздействие ландшафта на психоэмоциональное состояние человека в условиях климата Западной Сибири .....99

**Кенжебеков А. М.**

Использование цифровых технологий для непрерывного улучшения строительных процессов ..... 104

**Ли Ци**

Анализ статических и динамических характеристик рамной балки, усиленной углепластиком на основе ANSYS ..... 111

**Петров К. Е.**

Анализ и сравнение методов укрепления слабого грунта..... 116

**Толстых А. М., Таперин Д. В., Пыхтин А. А.,**

**Русанов Д. И., Кешелян Д. А.**

Использование инновационных технологий устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения..... 118

**Уваров Г. Д., Бравый А. Ю., Богданов А. С.**

Качество поверхности монолитных конструкций в летний и зимний периоды бетонирования... 122

**Фролова А. В.**

Виды несъемной опалубки и ее применение в монолитном строительстве..... 124

**Фуртаева А. А.**

Анализ технологических способов монтажа крупногабаритного оборудования в атомной промышленности ..... 127

**Червяков М. А.**

Совершенствование системы организационно-технологических решений при строительстве школ с применением энергоэффективных технологий..... 131

### ХИМИЯ

**Гремчук В. А.**

Особенности электроосаждения латуни из водных растворов ..... 135

**Мохов В. М., Поляков К. С.**

Совершенствование процесса получения сероуглерода..... 137

**Поляков Д. С., Латышова С. Е.**

Совершенствование процесса синтеза метионина..... 138

**Поляков К. С., Мохов В. М.**

Анализ влияния технологических параметров на удельную производительность и селективность процесса получения сероуглерода из метана и серы ..... 141

**Поляков Д. С.**

Подбор реактора для процесса получения метионина..... 146



# АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

## Исследование по преимуществу и особенностям расчета конструкции арочного перекрытия

Ван Жэньцзе, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье представлен расчет основных геометрических характеристик арочной конструкции при работе совместно с прокатным профилем, а также сравнение результатов теоретического расчета прогиба арочной пластины с результатами программного расчета методом конечных элементов и окончательными экспериментальными результатами.*

**Ключевые слова:** момент инерции, прогиб, арка, свод.

### 1. Основная форма арочной конструкции

Силовые характеристики арочной конструкции следующие: при вертикальной нагрузке на двух концах арочной опоры помимо вертикальной силы реакции возникает горизонтальная тяга. Именно благодаря наличию этой горизонтальной тяги изгибающий момент арки намного меньше, чем у балки с таким же пролетом и нагрузкой. При разумном проектировании формы арки можно также сделать так, чтобы арка в основном испытывала давление, а изгибающие моменты и поперечные силы были меньше. Благодаря этому распределение напряжений по сечению арки становится более равномерным и, следовательно, лучше играет роль материалов, и для строительства можно использовать материалы с более слабыми свойствами на растяжение и более сильным сопротивлением сжатию. Именно благодаря тому, что на арку оказывается более разумная нагрузка, чем на плоскую конструкцию, арочные конструкции способны достигать больших пролетов, чем плоские конструкции.

Силовая ситуация в конструкции. Данная диссертация посвящена силовому анализу большепролетных железобетонных арочных и оболочечных конструкций. Из-за силовых характеристик самой арочной конструкции, ее конструкция в основном подвергается воздействию собственной силы тяжести, в дополнение к живым нагрузкам и т.д. [1]

В соответствии с характеристиками арочной конструкции при вертикальной нагрузке на опоры возникают не только вертикальные силы реакции, но и горизонтальные тяги. Именно благодаря наличию горизонтальных тяг изгибающие моменты и сдвигающие силы внутри арки значительно уменьшаются, и основное кольцо арки подвергается в основном давлению. Если выбрана разумная ось арки, т.е. форма конструкции и линии давления различных нагрузок на арку совпадают. В это время, в основном сечении окружности арки только осевое давление и нет изгибающего момента и эффекта сдвига, так что бетонный материал может в полной мере использовать хорошие свойства сжатия. В это время железобетонная арочная конструкция подвергается только осевому давлению и не испытывает изгибающего момента и поперечной силы. В такой конструкции основная нагрузка приходится на собственный вес конструкции, а прочность конструкции может легко соответствовать требованиям кодекса. [2]

Цель и задачи исследования:

Для расчета несущей способности арочных бетонных плит.

### 2. Основная форма структуры

Форма, используемая для этой конструкции, представляет собой бетонно-стальную балочную конструкцию (рисунок 1 и 2)

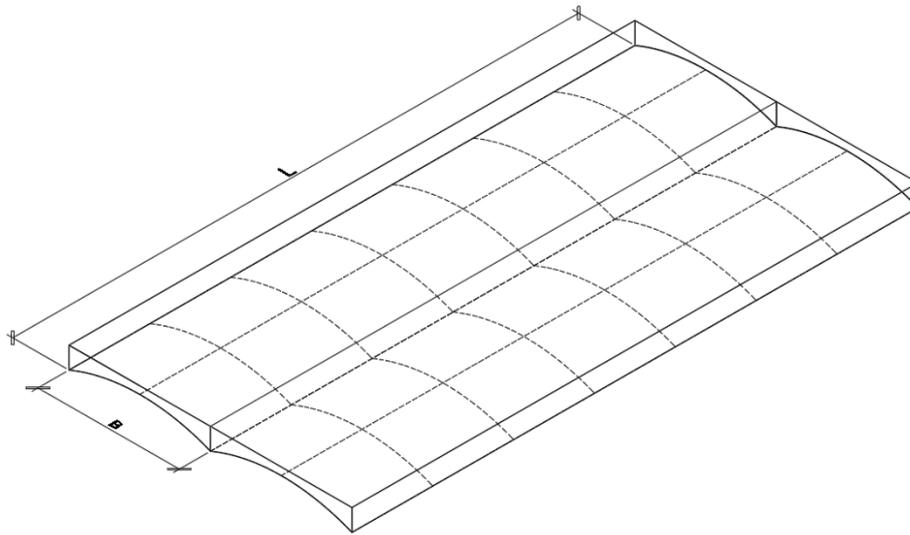


Рис. 1. Пример чертежа бетона L=6 м, в=0,5м, 1м, 1,5м...

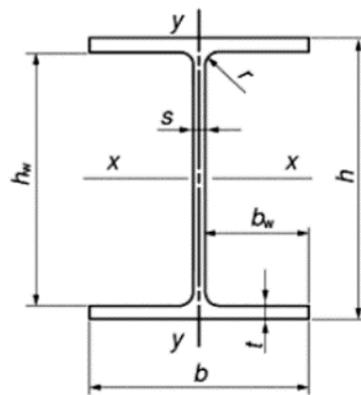


Рис. 2. Схема балки

В данной статье мы используем балки типа 18Б2, в соответствии с техническими условиями «Гост Р 57837–2017 Двутавры Стальные Горячекатаные С Параллельными Гранями Полок» [3]

Таблица 1. Параметры поперечного сечения балок

Номер профиля	Номинальные размеры, мм							Номинальная площадь поперечного сечения, $F_x, \text{см}^2$	Номинальная масса 1 м двутавра, кг	Справочные величины для осей профиля							
	$h$	$b$	$s$	$t$	$h_w$	$b_w$	$r$			$I_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$S_x, \text{см}^3$	$i_x, \text{мм}$	$I_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$S_y, \text{см}^3$	$i_y, \text{мм}$
Тип Б - Балочные нормальные двутавры																	
10Б1	100,0	55,0	4,1	5,7	88,6	25,45	7,0	10,32	8,10	171,01	34,20	19,70	40,70	15,92	5,79	4,57	12,42
12Б1	117,6	64,0	3,8	5,1	107,4	30,10	7,0	11,03	8,70	257,36	43,80	24,94	48,30	22,39	7,00	5,49	14,25
12Б2	120,0	64,0	4,4	6,3	107,4	29,80	7,0	13,21	10,40	317,75	53,00	30,36	49,04	27,67	8,65	6,79	14,47
14Б1	137,4	73,0	3,8	5,6	126,2	34,60	7,0	13,39	10,50	434,86	63,30	35,80	56,98	36,42	9,98	7,76	16,49
14Б2	140,0	73,0	4,7	6,9	126,2	34,15	7,0	16,43	12,90	541,22	77,30	44,17	57,40	44,92	12,31	9,62	16,54
16Б1	157,0	82,0	4,0	5,9	145,2	39,00	9,0	16,18	12,70	689,28	87,80	49,55	65,27	54,43	13,27	10,35	18,34
16Б2	160,0	82,0	5,0	7,4	145,2	38,50	9,0	20,09	15,80	869,29	108,70	61,93	65,78	68,31	16,66	13,05	18,44
18Б1	177,0	91,0	4,3	6,5	164,0	43,35	9,0	19,58	15,40	1062,74	120,10	67,66	73,68	81,89	18,00	13,98	20,45
18Б2	180,0	91,0	5,3	8,0	164,0	42,85	9,0	23,95	18,80	1316,96	146,30	83,21	74,16	100,85	22,16	17,30	20,52
20Б1	200,0	100,0	5,5	8,0	184,0	47,25	11,0	27,16	21,30	1844,26	184,40	104,73	82,41	133,91	26,78	20,97	22,21

Параметры поперечного сечения могут быть получены в комбинации этих двух параметров (Рисунок 3).

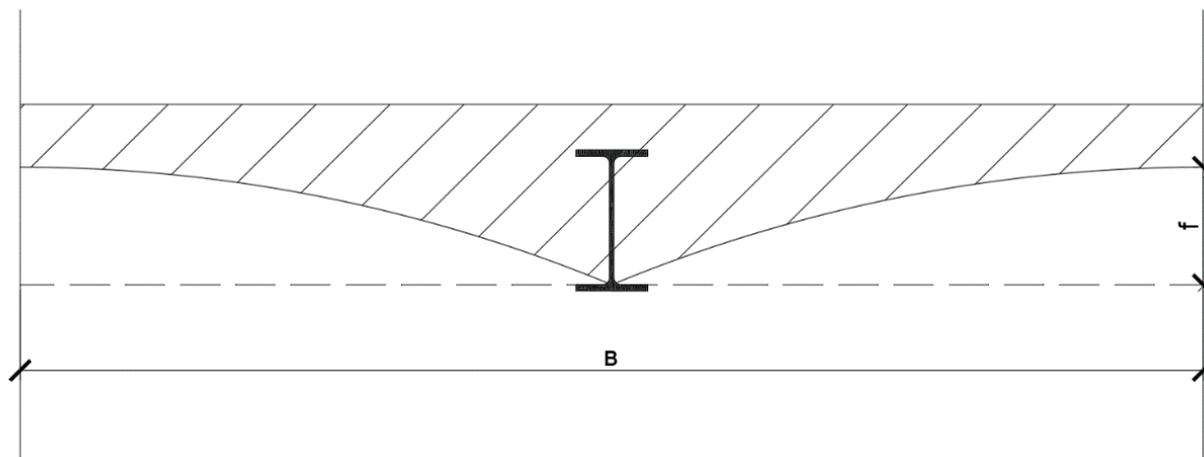


Рис. 3. Метод скрепления бетона и балок, где  $f$  — стрела дуги (5, 10, 15, 20 см.)

Бетон изготавливается из бетона В30. Рассмотрим ниже характеристики бетона В30: плотность бетона В30 М400 составляет 2430 кг/м<sup>3</sup>,  $E_b=3.24 \cdot 10^4$  МПа

Сначала мы рассчитаем одно из свойств сечения этой комбинированной секции — момент инерции. Это будет использоваться в качестве основы для расчета прогиба этой плиты перекрытия в вертикальном направлении при определенных нагрузках.

### 3. Расчет комбинированных секций в данной работе

Подход, принятый для этой структуры с самого начала, начинался с трех направлений.

Первый подход заключался в расчете по уравнению 6, но этот метод более сложен для расчета и не подходит для расчета широкого спектра сложных сечений.

Второй подход заключался в вычислении момента инерции комбинированной секции на основе существующей формулы для момента инерции простой секции (рисунок 4) в соответствии с формулой.

$$J_x = J_{x1} - J_{x2} \tag{1}$$

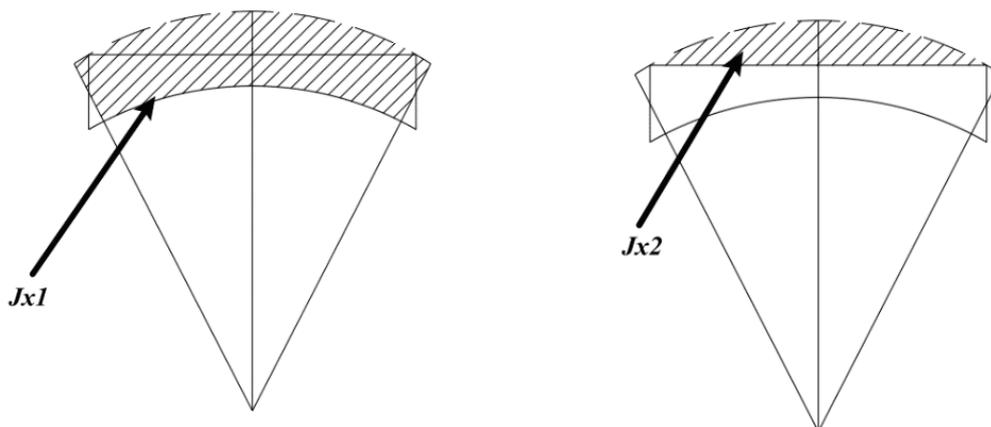


Рис. 4. Схема расчета

Однако конечный результат подвержен ошибкам из-за разного положения центроидов их форм.

В третьем методе объединенная секция далее разбивается на шесть секций. Статические моменты и моменты инерции рассчитываются отдельно, а окончательный расчет фасонной оси показан на рисунке 5 и 6:

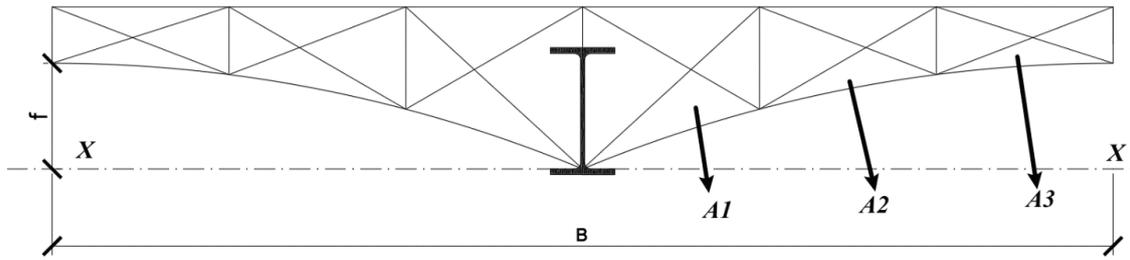


Рис. 5. Отдельная схема расчета, где A1, A2, A3 — площадь

Площадь этих трех областей, в свою очередь, может быть упрощенно рассчитана в следующем виде

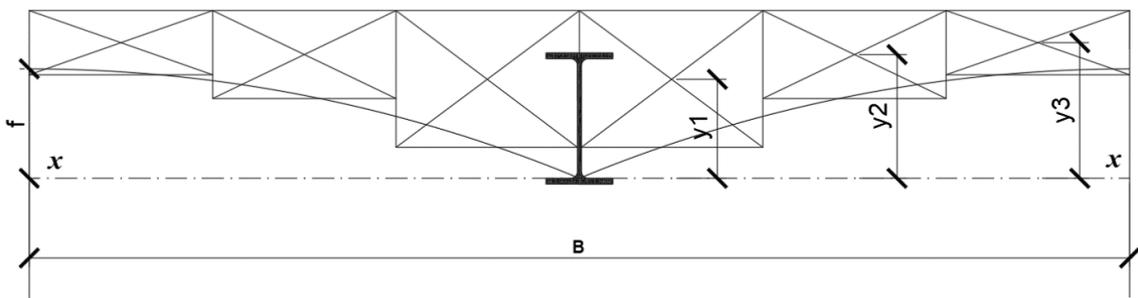


Рис. 6. Упрощенная схема, где y1, y2, y3 — расстояние от ц.т. до оси x

В этой конструкции: f — стрела дуги (5, 10, 15, 20 см.) Длина плиты L=6 м, толщина плиты h=23см, ширина плиты b=0,5м, 1м, 1,5м...

1) **Определение ц.т. плиты:**

y1, y2, y3 можно найти, создав систему координат с прямым углом в начале координат. и решить его, составив уравнение для окружности (рисунок 7):

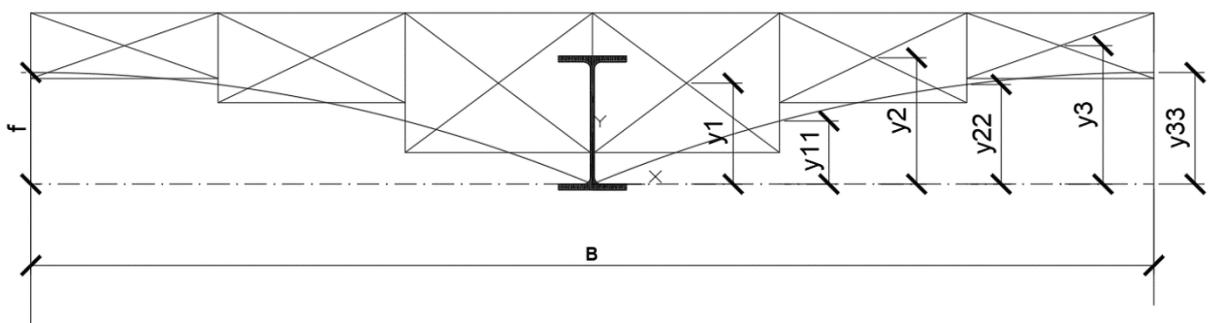


Рис. 7. Схема расчета

$$\text{где } y_{11}, y_{22}, y_{33} = \sqrt{R^2 - \left(x - \frac{B}{2}\right)^2} - R + f \tag{2}$$

$$R = \frac{f}{2} + \frac{B^2}{8f} \tag{3}$$

$$y_1, y_2, y_3 = \frac{\left(23 + \frac{y_{11}, y_{22}, y_{33}}{2}\right)}{2} \tag{4}$$

Таблица 2. R (см)

		R			
B \ f	5	10	15	20	
50	65.00	36.25	28.33	25.63	
100	252.50	130.00	90.83	72.50	
150	565.00	286.25	195.00	150.63	
200	1002.50	505.00	340.83	260.00	
250	1565.00	786.25	528.33	400.63	
300	2252.50	1130.00	757.50	572.50	

Таблица 3.  $y_1$  (см)

		$y_1$			
B \ f	5	10	15	20	
50	12.21	12.99	13.89	14.96	
100	12.20	12.91	13.67	14.47	
150	12.20	12.90	13.62	14.36	
200	12.20	12.90	13.60	14.33	
250	12.19	12.89	13.60	14.31	
300	12.19	12.89	13.59	14.30	

Таблица 4.  $y_2$  (см)

		$y_2$			
B \ f	5	10	15	20	
50	12.91	14.47	16.29	18.42	
100	12.90	14.33	15.83	17.44	
150	12.89	14.30	15.74	17.23	
200	12.89	14.29	15.71	17.15	
250	12.89	14.29	15.69	17.12	
300	12.89	14.28	15.69	17.10	

Таблица 5.  $y_3$  (см)

		$y_3$			
B \ f	5	10	15	20	
50	13.73	16.01	18.37	20.80	
100	13.72	15.96	18.23	20.53	
150	13.72	15.95	18.20	20.46	
200	13.72	15.95	18.18	20.43	
250	13.72	15.95	18.18	20.41	
300	13.72	15.95	18.17	20.41	

площадь плиты (Таблица 7, 8, 9):

$$A_{пл} = 2(A_1 + A_2 + A_3)$$

Таблица 6.  $A_1$  (см<sup>2</sup>)

A1				
В \ f	5	10	15	20
50	101.72	108.21	115.79	124.67
100	203.29	215.22	227.76	241.18
150	304.90	322.50	340.50	359.12
200	406.51	429.84	453.47	477.56
250	508.12	537.20	566.53	596.22
300	609.74	644.58	679.63	714.98

Таблица 7.  $A_2$  (см<sup>2</sup>)

A2				
В \ f	5	10	15	20
50	215.22	241.18	271.50	306.99
100	429.84	477.56	527.71	581.38
150	644.58	714.98	787.02	861.48
200	859.36	952.67	1047.21	1143.59
250	1074.16	1190.47	1307.77	1426.55
300	1288.96	1428.33	1568.52	1709.94

Таблица 8.  $A_3$  (см<sup>2</sup>)

A3				
В \ f	5	10	15	20
50	228.86	266.91	306.22	346.73
100	457.49	532.12	607.63	684.30
150	686.17	797.66	909.77	1022.77
200	914.86	1063.29	1212.20	1361.81
250	1143.55	1328.97	1514.77	1701.14
300	1372.25	1594.66	1817.40	2040.62

Таблица 9.  $A_{пл}$  (см<sup>2</sup>)

A пл				
В \ f	5	10	15	20
50	647.53	724.51	809.30	903.05
100	1293.91	1440.13	1590.87	1748.04
150	1940.54	2157.63	2377.80	2602.49
200	2587.23	2875.63	3166.36	3460.53
250	3233.95	3593.84	3955.60	4320.13
300	3880.69	4312.15	4745.18	5180.52

Статический момент:

$$S_{пл} = A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3$$

Таблица 10.  $S_{пл}$  (см<sup>2</sup>)

		$S_{пл}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		7163.70	9169.62	11657.87	14732.87
100		14301.30	18115.86	22543.37	27678.26
150		21444.63	27109.27	33579.35	40922.73
200		28589.41	36115.34	44660.49	54277.01
250		35734.78	45126.56	55760.40	67678.48
300		42880.45	54140.37	66869.84	81104.19

Из формулы 3 следует:

$$y_{ц.т.} = S_{пл} / A_{пл}$$

Таблица 11.  $y_{ц.т.}$  (см)

		$y_{ц.т.}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		11.06	12.66	14.40	16.31
100		11.05	12.58	14.17	15.83
150		11.05	12.56	14.12	15.72
200		11.05	12.56	14.10	15.68
250		11.05	12.56	14.10	15.67
300		11.05	12.56	14.09	15.66

2) Расчет момента инерции плиты (по формуле 5, таблица 12):

$$J_{пл} = 2 \left[ J_1 + J_2 + J_3 + A_1 (y_{ц.т.} - y_1)^2 + A_2 (y_{ц.т.} - y_2)^2 + A_3 (y_{ц.т.} - y_3)^2 \right] \tag{5}$$

Таблица 12.  $J_{пл}$  (см<sup>4</sup>)

		$J_{пл}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		39218.62	29473.61	24479.63	24113.02
100		78657.24	60198.31	51716.85	52013.51
150		118047.57	90660.69	78442.70	79431.18
200		157425.61	121051.85	105003.12	106591.74
250		196798.72	151414.01	131494.39	133639.49
300		236169.36	181761.57	157950.54	160629.22

И потом у нас получается  $A_{ред}$  (таблица 13):

$$A_{ред} = A_{пл} * n + A_0$$

где  $n = E_0 / E_y = 3,25 * 10^4 / 2,1 * 10^5 = 0,15$ ,  $A_0 = 23,95 \text{ см}^2$

(6)

Таблица 13.  $A_{red}$  (см<sup>2</sup>)

		$A_{red}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		123.61	135.53	148.65	163.16
100		223.65	246.28	269.61	293.93
150		323.72	357.32	391.39	426.17
200		423.81	468.44	513.43	558.96
250		523.89	579.59	635.58	691.99
300		623.98	690.76	757.77	825.15

И  $S_{red} = A_{пл} * n * y_{ц.т.} + A_6 * h_0 / 2$ , где  $h_0 = 18$  см (таблица 14)

Таблица 14.  $S_{red}$  (см<sup>3</sup>)

		$S_{red}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		1319.27	1629.71	2014.79	2490.69
100		2423.90	3014.25	3699.46	4494.14
150		3529.41	4406.08	5407.40	6543.88
200		4635.15	5799.88	7122.34	8610.61
250		5740.98	7194.47	8840.19	10684.65
300		6846.86	8589.47	10559.50	12762.44

Поэтому  $y'_{ц.т.} = S_{red} / A_{red}$

Таблица 15.  $y'_{ц.т.}$  (см)

		$y'_{ц.т.}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		10.67	12.03	13.55	15.27
100		10.84	12.24	13.72	15.29
150		10.90	12.33	13.82	15.36
200		10.94	12.38	13.87	15.40
250		10.96	12.41	13.91	15.44
300		10.97	12.43	13.93	15.47

И момент инерции

$$J_{red} = 2 \left[ \begin{array}{l} J_{пл}n + J_2 + J_3 + nA_1 (y'_{ц.т.} - y_1)^2 \\ + nA_2 (y'_{ц.т.} - y_2)^2 \\ + nA_3 (y'_{ц.т.} - y_3)^2 + A_6 (y'_{ц.т.} - \frac{h}{2})^2 \end{array} \right] \quad (7)$$

Таблица 16.  $J_{red}$

		$J_{red}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		14593	12446	12214	13940
100		27602	23154	22394	25039
150		40577	33768	32447	36128
200		53544	44352	42449	47157
250		66506	54925	52429	58155
300		79467	65492	62397	69136

3) момент сопротивления

$$W_{redB} = \frac{J_{red}}{y_B} \tag{8}$$

$$W_{redH} = \frac{J_{red}}{y_H} \tag{9}$$

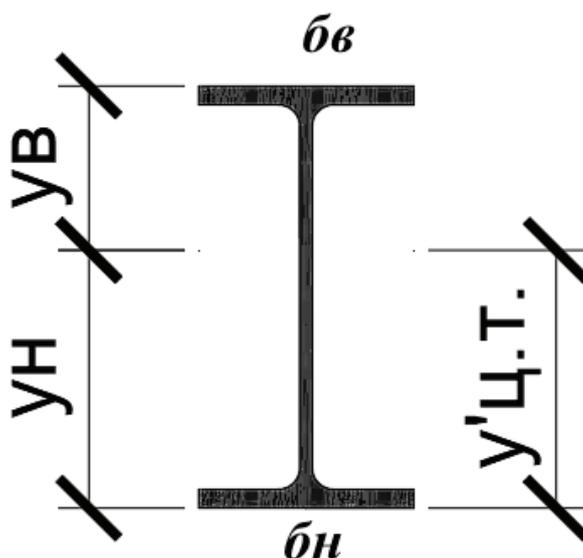


Рис. 8. Схема балки, где  $y_B = h_б - y'_{ц.т.}$ ,  $y_H = y'_{ц.т.}$ .

Таблица 17.  $W_{redH}$  и  $W_{redB}$

		$W_{redB}$			
$B \backslash f$		5	10	15	20
50		1991.57	2083.05	2747.18	5097.67
100		3853.89	4019.32	5234.41	9239.08
150		5717.20	5956.47	7754.68	13660.34
200		7580.85	7893.70	10283.38	18170.43
250		9444.65	9830.96	12815.54	22720.63
300		11308.54	11768.23	15349.47	27292.48

		W гед Н			
В \ f	5	10	15	20	
50	1367.36	1035.03	901.12	913.15	
100	2546.73	1891.83	1632.02	1637.66	
150	3721.78	2738.44	2348.55	2352.83	
200	4895.64	3582.21	3060.07	3061.19	
250	6069.02	4424.80	3769.45	3766.40	
300	7242.15	5266.79	4477.72	4469.94	

#### 4) Пригиб

Из нормы СП 20.13330.2016 следует, что  $[f]=l/200=30\text{mm}$

$$A U_B = h_B - U'_{ц.т.}, U_H = U'_{ц.т.}$$

$$\text{ПРИГИБ } f(\text{mm})_{\text{балка}} = f * \frac{J_{red}}{J_B},$$

Таблица 18. ПРИГИБ  $f(\text{mm})$ , при  $900 \text{ кг/м}^2$

		ПРИГИБ $f(\text{mm})$			
В \ f	5	10	15	20	
50	4.96	5.81	5.92	5.19	
100	2.62	3.12	3.23	2.89	
150	1.78	2.14	2.23	2.00	
200	1.35	1.63	1.70	1.53	
250	1.09	1.32	1.38	1.24	
300	0.91	1.10	1.16	1.05	

#### 4. Натурный эксперимент

Результаты этого эксперимента цитируются по «Несущая Способность Перекрытий По Стальным Балкам С Накатом В Виде Сводиков».

Перекрытие со сводчатым накатом было запроектировано с шагом балок в 1 м, стрела подъема сводика была принята равной 70 мм, толщина сводика в замке — 70 мм.



Рис. 9. Вид на перекрытие снизу

Распределенная нагрузка

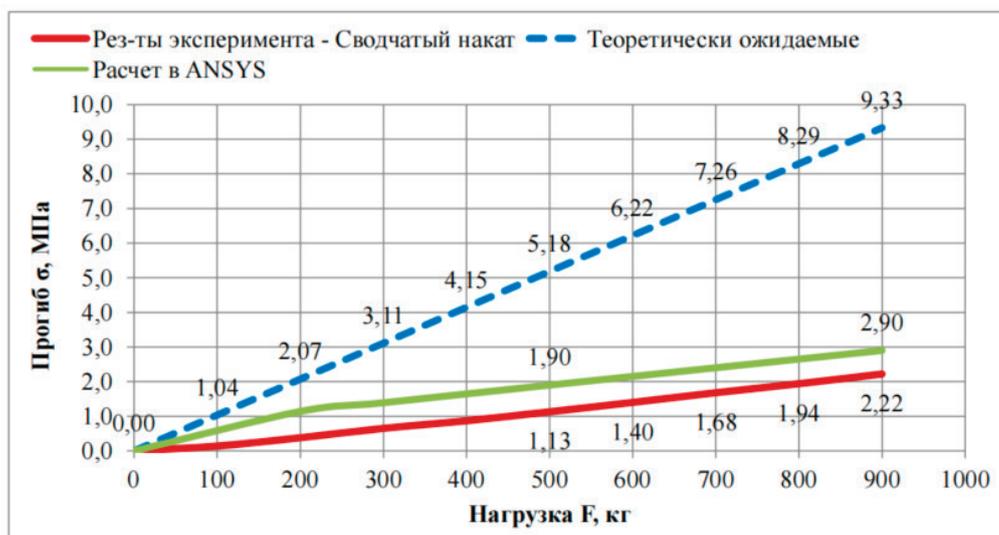


Рис. 10. Сравнение результатов при испытании распределенной нагрузкой. Прогибы

Таблица 19. Равномерно распределенная нагрузка (900 кг/м<sup>2</sup>)

<i>Равномерно распределенная нагрузка (900 кг/м<sup>2</sup>)</i>				
	Прогибы, мм	Разница, %	Напряжения, МПа	Разница, %
Расчет по балочной схеме	9,33	-	130	-
Результаты эксперимента – сводчатое заполнение	2,22	76,2	51	60,8
Расчет в ПК ANSYS	2,9	68,9	40,6	68,8

**Вывод**

С точки зрения конструктивных преимуществ, эта форма конструкции имеет преимущество рациональной арочной конструкции, а также учитывает изгибные характеристики балки

Согласно значениям прогиба конструкции, рассчитанным в данной работе, прогиб конструкции и пролет конструкции и стрела дуги тесно связаны друг с другом при одинаковой нагрузке и при одинаковой форме оси арки.

По моему методу расчета под нагрузкой (900 кг/м<sup>2</sup>) его прогибы = 2.82мм, результат ближе к экспериментальному значению. Этот метод представляет собой комбинацию расчетов бетонных и стальных балок.

Рассмотренное конструктивное решение перекрытия широко распространено в зданиях старой городской застройки Санкт-Петербурга и других городов. Значительная часть зданий является объектами культурного наследия. Отсутствие методик их расчета может привести к ненужным работам по усилению или замене перекрытий, что приводит к излишним затратам, а также нарушает внутренний архитектурный облик здания. Поэтому при определении фактической несущей способности перекрытий такого типа необходимо применение методик расчета, учитывающих совместную работу сводчатого заполнения со стальными балками.

Литература:

1. «Несущая способность перекрытий по стальным балкам с накатом в виде сводиков» — Лаптев Егор Александрович с. 181–186
2. «The Mechanical Properties Analysis Of Large — Span Reinforced Concrete Arch Shell Structure» — Xi Hui Cai. С. 1–7
3. «СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия» — Таблица Д.1
4. «ГОСТ Р 57837–2017 двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок» — Таблица 1
5. Сопротивление материалов — Методические указания к выполнению контрольных заданий по теме «Геометрические характеристики плоских сечений» — С. 3–11

## Исследование напряжений в сечении при усилении балки методом увеличения площади

Дудинова Дарья Михайловна, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассматривается 9 вариантов усиления двутавровой балки путем увеличения площади с целью оценки нормальных и касательных напряжений в характерных точках сечения. Такой анализ позволяет определить эффективность распределения материала усиления по сечению при одинаковой массе усиливающих элементов с точки зрения распределения напряжений по сечению. Результаты исследования также показывают применимость симметричного и несимметричного усиления.

**Ключевые слова:** напряжения, схемы усиления, двутавровая балка, усиление методом увеличения сечения, распределение материала по площади.

При реконструкции промышленных предприятий или их техническом перевооружении, а также при обновлении оборудования как правило, меняются эксплуатационные нагрузки, чаще в большую сторону. В связи с этим возникает необходимость в повышении несущей способности конструкций.

Выбор схемы усиления определяется возможностью и удобством присоединения элементов усиления, стесненностью монтажной площадки, а также в некоторых случаях возможностью проведения работ без остановки производства. С точки зрения возрастания моментов сопротивления сечений наиболее рациональными являются симметричные или близкие к ним

схемы, которые незначительно влияют на смещение центра тяжести исходного сечения [1].

За основу для сравнения приняты симметричные и несимметричные схемы (рис. 1), разработанные в Пособии по проектированию усиления стальных конструкций [2].

Все варианты усиления рассматриваются без демонтажа конструкций с учетом разгрузки несущих элементов от всех временных и постоянных нагрузок. В таких условиях балка находится в упругой стадии работы, а прогибы от собственного веса конструкций практически не влияют на технологию усиления. Принимаем, что крепление элементов усиления выпол-

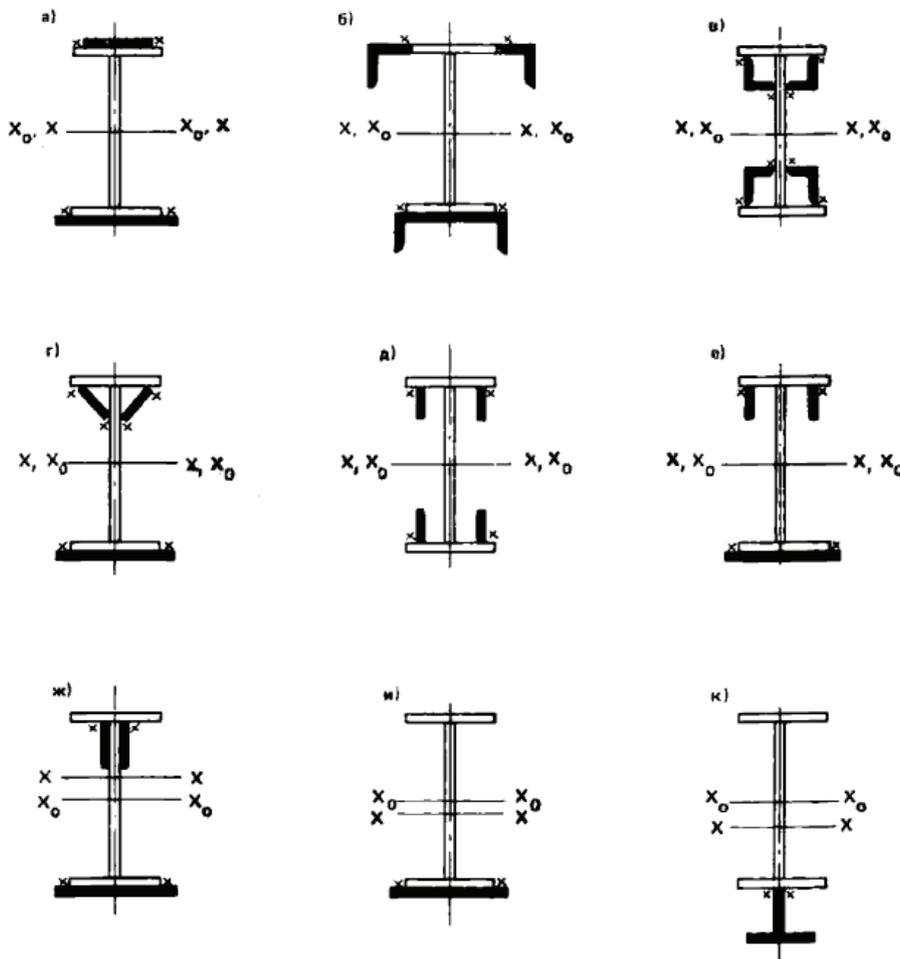


Рис. 1. Усиление балок путем увеличения сечения [2]

няется с помощью сварки [3] с учетом рекомендаций по определению оптимальных параметров размещения элементов усиления [4], а применяемая для элементов сталь по механическим свойствам, вязкости и свариваемости не ниже металла усиливаемых конструкций. Геометрические характеристики усиливающих элементов сечения приняты на основе [5].

В качестве исходного сечения рассматривается сварной двутавр, изображенный на рис. 2. Главной особенностью при сравнении вариантов является одинаковая площадь сечения балки после усиления.

Исследования проводятся с помощью вычислительных комплексов SCAD Office и IDEA StatiCa. Величины нормальных и касательных напряжений определены от единичной силы  $V_y$  и единичного момента  $M_x$  соответственно, приложенных к сечению.

Так как рассматривается симметричное усиление относительно оси z, а относительно оси y — близкое к симметричному и несимметричное, характерные точки усиливаемого (исходного) сечения замаркированы следующим образом (рис. 2): т. 1 — верхняя полка, т. 2 — верх стенки, т. 3 — центр стенки, т. 4 — низ стенки, т. 5 — нижняя полка. Для построения эпюры касательных напряжений стенка дополнительно разбивается на 10 участков. Для т. 1, т. 5 анализируются нормальные напряжения, для т. 2...т.4 — касательные, что характерно для классической эпюры напряжений по сечению двутавровой балки.

Эпюры нормальных напряжений построены на основе данных, представленных в таблице 1, а касательных — в таблице 2. Для нормальных напряжений т. 1.1 в схеме усиления «а» — верх накладки, присоединяемой к верхней полке балки. Т. 5.1 в схемах «а», «б», «г», «е»...«к» является крайней точкой

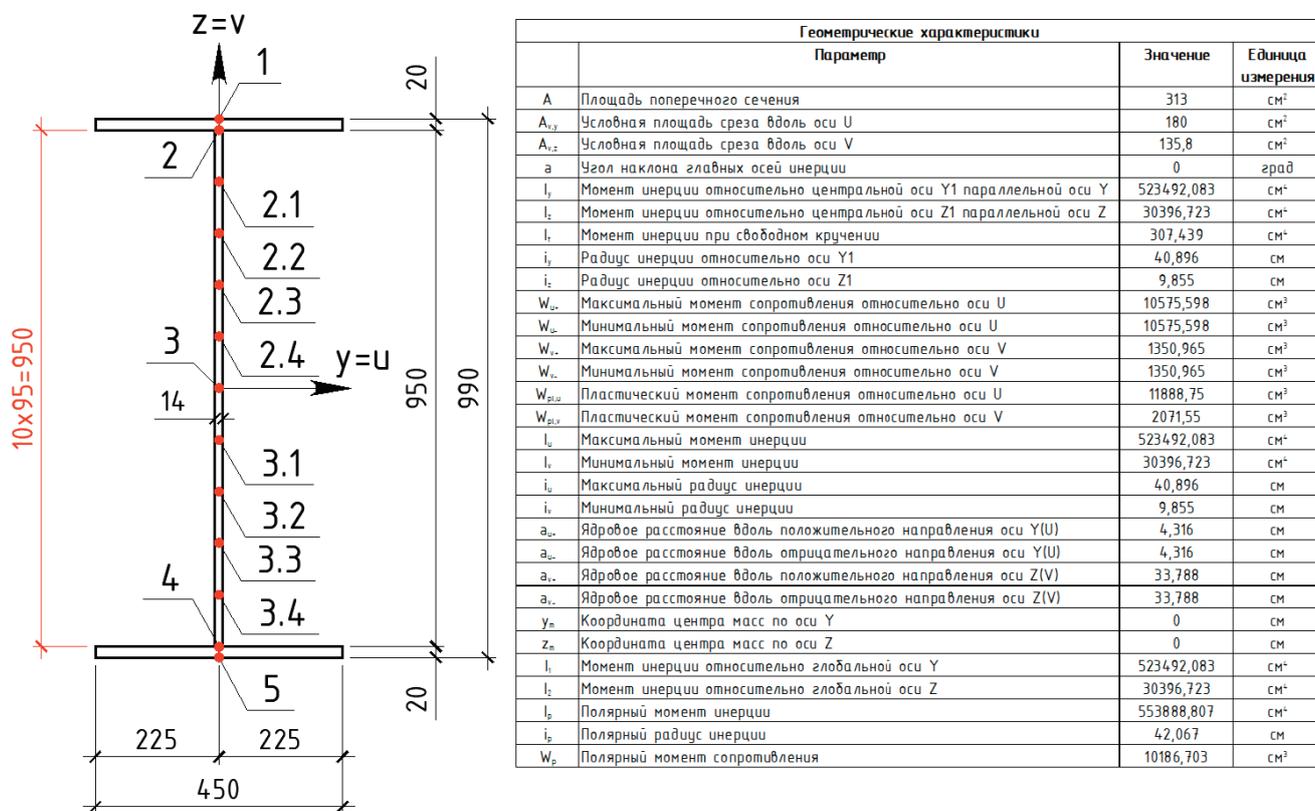


Рис. 2. Геометрические характеристики исходного сечения

Таблица 1. Нормальные напряжения усиливаемого сечения

Характерные точки сечения	Нормальные напряжения от $M_x=1$ кНм, МПа									
	исх.	а	б	в	г	д	е	ж	и	к
т.1.1	-	0,0737	-	-	-	-	-	-	-	-
т.1	0,0946	0,0721	0,0665	0,0756	0,0713	0,0754	0,0724	0,0724	0,0867	0,0697
т.3	0	0,0055	-0,0005	0	0,0025	0	0,0022	0,0022	0,0161	0,0181
т.5	-0,0946	-0,0612	-0,0675	-0,0756	-0,0662	-0,0754	-0,0681	-0,0681	-0,0545	-0,0335
т.5.1	-	-0,628	-0,0810	-	-0,0679	-	-0,0698	-0,0698	-0,0568	-0,0733

сечения, где возникают максимальные отрицательные напряжения.

Эпюры нормальных напряжений на рис. 3 показывают, что симметричные схемы усиления «в» и «д» относительно оси у снижают напряжения в поясах исходного сечения на 20%.

При усилении близкому к симметричному по типу схем «г», «е», «ж» напряжения в верхнем поясе снижаются на 23–25%, а в нижнем — на 28–30%. В случае усиления по схеме «а», также как и в «г», «е», «ж», наблюдается смещение центра тяжести сечения, что вызывает нормальные напряжения в т. 3. При этом напряжения в верхнем поясе снижаются на 24%, а в нижнем — на 35%. Элементы усиления в варианте «б» практически одинаково влияют на напряжения в поясах исходного сечения, снижение составляет 29–30%, что является наиболее благоприятным случаем для верхней полки двутавра.

Несимметричные усиления «и» и «к» значительно снижают напряжения в нижней полке балки (42% и 65% соответственно), однако смещение центра тяжести сечения значительно увеличивает нормальные напряжения в стенке исходного сечения. При этом в случае «и» напряжения в верхнем поясе уменьшаются всего лишь на 8%, а в «к» снижение составляет 26%, но сопровождается приростом сечения по высоте на 39%, что может быть неосуществимо при ограниченной строительной высоте.

В таблице 2 приведены значения касательных напряжений в стенке балки. Также добавлена дополнительная строка « $\tau_{\text{цт}}$ », в которой указано значение касательных напряжений в смещенном центре тяжести сечения после присоединения усиливающих элементов.

На рис. 4 приведены эпюры касательных напряжений. При усилении по схемам «г», «в», «ж» наблюдается снижение касательных напряжений в местах присоединения элементов к стенке. Также при симметричном усилении по схемам «в», «д» напряжения от единичной силы превышают исходные  $\tau$  на 2,8 и 2,6% соответственно. Стоит отметить, что при усилении по схеме «к» кривая касательных напряжений имеет два экстремума, что позволяет снизить напряжения в центре тяжести исходного сечения на 20%. Схемы «а», «б», «и» меняют напряжения в исходном сечении на 3–3,6% в меньшую сторону. При наличии в сечении элементов или их частей, параллельных стенке, но отнесенных от нее (схемы «б», «д», «е»), касательные напряжения усиленного сечения превышают исходные  $\tau$  в зонах влияния этих частей сечения. Причем, с элементами, примыкающими к стенке (схемы «в», «г», «ж»), ситуация обратная.

Однако при выборе эффективной схемы необходимо оценивать в совокупности нормальные и касательные напряжения в сечении.

Таким образом, по результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. При сравнении симметричных относительно главных осей схем усиления нормальные напряжения сопоставимы и определяющим фактором являются касательные напряжения;
2. При уменьшении сжатой зоны сечения в несимметричных схемах усиления касательные напряжения возрастают в этой зоне, а в растянутой — уменьшаются по сравнению с эпюрой  $\tau$  исходного сечения;
3. Кривая касательных напряжений зависит от удаленности вертикальных элементов или их частей от стенки балки;

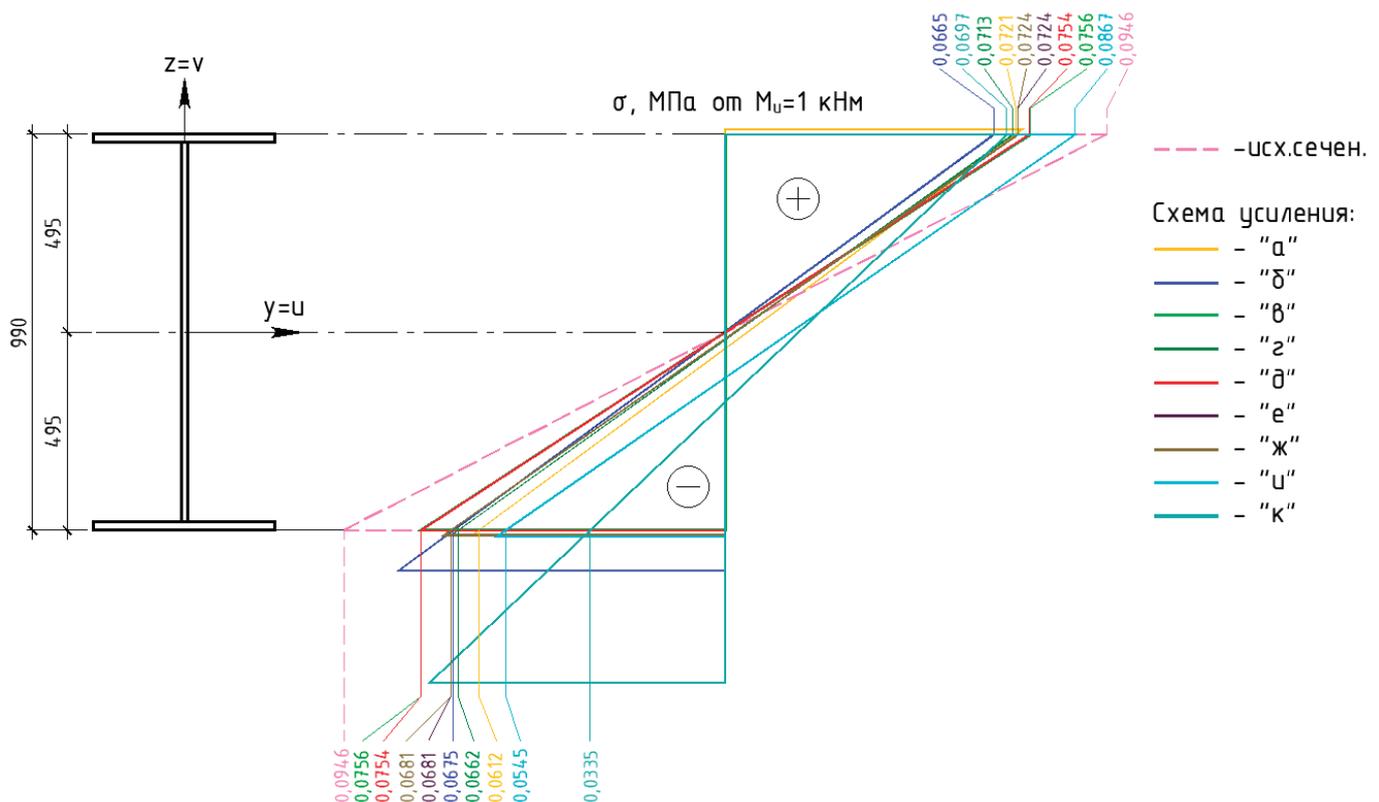


Рис. 3. Эпюры нормальных напряжений

Таблица 2. Касательные напряжения усиленного сечения

Характерные точки сечения	Касательные напряжения от $V_v=1$ кН, МПа									
	исх.	а	б	в	г	д	е	ж	и	к
т.2	0,0428	0,0457	0,0457	0,0187	0,0173	0,0475	0,0457	0,0121	0,0394	0,0318
т.2.1	0,0674	0,0664	0,069	0,0321	0,03	0,0723	0,0696	0,0228	0,0622	0,0501
т.2.2	0,0733	0,0711	0,0732	0,0771	0,074	0,077	0,0742	0,0571	0,0681	0,0551
т.2.3	0,0777	0,0748	0,0763	0,0807	0,0774	0,0805	0,0777	0,0776	0,073	0,0593
т.2.4	0,0802	0,0771	0,078	0,0827	0,0794	0,0826	0,0797	0,0797	0,0764	0,0623
т.3	0,0811	0,0782	0,0786	0,0834	0,0802	0,0832	0,0806	0,0806	0,0785	0,0645
т.3.1	0,0802	0,0781	0,0779	0,0827	0,0797	0,0826	0,0801	0,0801	0,0794	0,0658
т.3.2	0,0777	0,0768	0,0761	0,0807	0,078	0,0805	0,0784	0,0784	0,079	0,0661
т.3.3	0,0733	0,0742	0,0729	0,0771	0,0749	0,077	0,0753	0,0753	0,0773	0,0654
т.3.4	0,0674	0,0706	0,0687	0,0321	0,0707	0,0723	0,0711	0,0711	0,0744	0,0639
т.4	0,0428	0,0484	0,0475	0,0186	0,0481	0,0474	0,0484	0,0484	0,0517	0,0465
$\tau_{\text{ит}}$	0,0811	0,0783	0,0786	0,0834	0,0802	0,0832	0,0806	0,0806	0,0795	0,0661

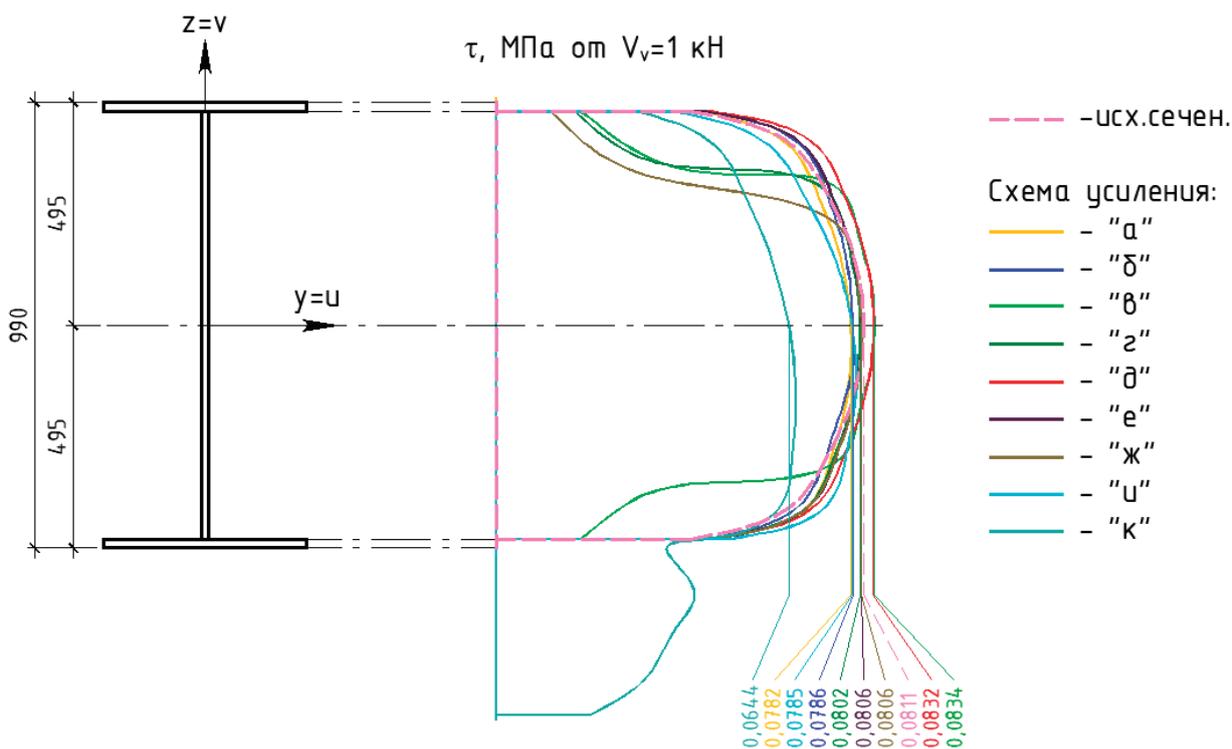


Рис. 3. Эпюры касательных напряжений

4. С точки зрения перераспределения напряжений схема усиления «к» является наиболее эффективной, так как при прочих равных условиях имеет наибольшее смещение ц.т. сечения относительно исходного;

5. При ограниченной строительной высоте рекомендуется использовать близкую к симметричной схему усиления «б» с расположением элементов усиления по возможности дальше от центра тяжести неусиленного сечения балки.

Литература:

1. Ребров И. С. Усиление стержневых металлических конструкций: Проектирование и расчет. Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988 г.

2. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций к СНиП II-23-81\*. Москва, Стройиздат, 1989 г.
3. Михаськин В. В. Влияние сварочных процессов на пространственную устойчивость усиливаемых под нагрузкой элементов стержневых конструкций: Автореф. канд. техн. наук: 05.23.01 / Михаськин Владимир Владимирович. СПб., 2010.
4. Пяткин, П. А. Прочность и пространственная устойчивость усиленных под нагрузкой стержневых элементов конструкций открытого профиля: Автореф. канд. техн. наук: 05.23.01 / Пяткин Павел Алексеевич. СПб., 2000.
5. Дудинова Д. М. Сравнительный анализ схем усиления стальных балок методом увеличения сечений. Серия «Строительство»: сборник статей магистрантов и аспирантов. Выпуск 6. В 2-х т. Т. 1 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2023.

## Особенности расчета элементов конструкций из тонкостенных профилей

Ерастова Любовь Алексеевна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье приведен краткий обзор отечественных и зарубежных исследований, посвященных особенностям тонкостенных стальных конструкций и методикам их расчета.*

*Целью будущего исследования является анализ напряженно-деформированного состояния элементов промышленного здания из тонкостенных элементов. Моделирование и расчет конструкций будет производиться в программном комплексе ЛИРА и IDEA StatiCa.*

*Результатом работы будет оценка напряжений, возникающих в элементах и узлах конструкции из тонкостенных элементов.*

**Ключевые слова:** ЛСТК, тонкостенный стержень, напряженно-деформированное состояние, депланация, бимомент.

Сталь как материал в настоящее время постоянно совершенствуется, вследствие чего появляются новые инновационные продукты и технологии строительства. Одна из современных технологий — ЛСТК (легкие стальные тонкостенные конструкции). Это различные виды профиля, изготовленного из оцинкованной стали толщиной до 4 мм. Применяются для изготовления стоек, прогонов, ферменных и других конструкций.

Основные преимущества ЛСТК:

1) Быстровозводимость

Благодаря легкости элементов, можно сократить использование строительных кранов и грузоподъемных механизмов, а отсутствие «мокрых» технологических процессов позволяет вести строительство в любое время года при любых климатических условиях. Помимо этого, для соединений тонкостенных профилей не используется сварка, что значительно ускоряет монтаж элементов.

2) Экономичность

Тонкостенные конструкции, равные по прочности обычным, обладают меньшей массой, за счет чего снижаются нагрузки от собственного веса и металлоемкость. Кроме того, небольшая площадь сечения позволяет экономично использовать ЛСТК при малых нагрузках на стержни.

3) Сейсмоустойчивость

Здания с каркасом из ЛСТК обладают эластичностью (податливостью), что позволяет им выдерживать сейсмические нагрузки до 9 баллов по шкале Рихтера.

4) Энергоэффективность

Для наружных стен каркаса чаще всего применяется термпрофиль. В отличие от обычных, такой профиль снабжен большим количеством сквозных канавок, нанесенных в шах-

матном порядке, которые затрудняют передачу тепла в поперечном направлении и помогают снизить влияние так называемых «мостиков холода».

5) Стойкость к коррозии

Профиля ЛСТК имеют цинковое покрытие, поэтому менее подвержены коррозии.

Тонкостенные холодногнутые профили (ТХП) изготавливают путем холодного деформирования стальных оцинкованных листов двумя методами:

1) Холодная гибка на кромкозагибочных прессах (рис. 1);

2) Холодная гибка на прокатных многовалковых станах (рис. 2).

Первый способ получил свое распространение благодаря низкой стоимости станков и универсальности. Каждый изгиб выполняется отдельно, что позволяет получать разнообразные формы поперечного сечения. Однако, это замедляет скорость производства, поэтому в промышленных масштабах используют второй метод.

Сортамент тонкостенных профилей очень разнообразен. Форма поперечного сечения элемента зависит от его предназначения. [1]

Основные типы сечений профилей изображены на рисунке 3. **С-профиль** — холодногнутый профиль, образованный стенкой, двумя полками и двумя отгибами на полках. Применяется для несущих и ограждающих конструкций, стоек, балок, элементов ферм и стропил.

**Швеллерообразный профиль** — холодногнутый профиль, образованный стенкой и двумя полками, расположенными по одну сторону от стенки под прямым углом. Используется в качестве направляющей для объединения элементов из С-профилей в общую работу и последующего их крепления к фундаменту.

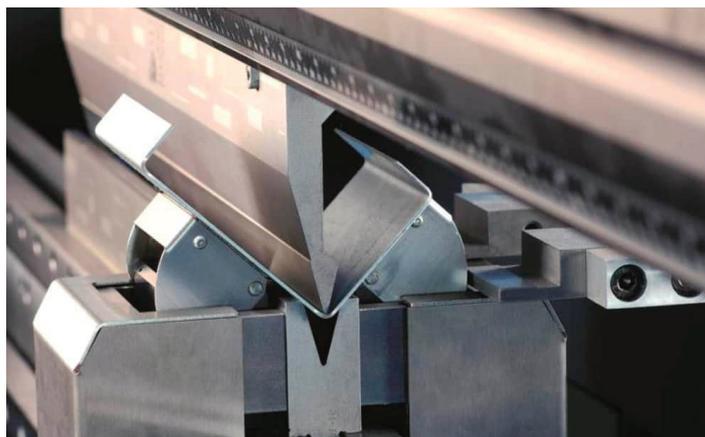


Рис. 1. Изготовление ТХП на кромкозагибочных прессах

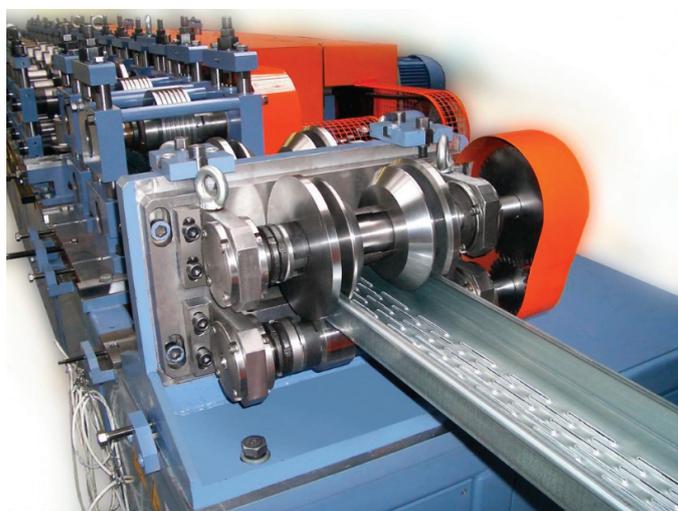


Рис. 2. Изготовление ТХП на прокатных многовалковых станах

**Z-профиль** (зэт-профиль) — холодногнутый профиль, образованный стенкой и двумя полками, расположенными по разные стороны от стенки. Применяется для прогонов и элементов фахверка, допускается использовать комбинированные сечения из нескольких Z-профилей для несущих и ограждающих конструкций.

**Σ-профиль** (сигма-профиль) — С-образный профиль со стенкой, усиленной сгибом или рифом. Применяется чаще

всего для длинных стоек, поскольку наличие рифа повышает сопротивление профиля потери устойчивости.

**Ω-профиль** (омега-профиль) — холодногнутый профиль, образованный тремя стенками, две из которых одинакового размера направлены в одну сторону, и двумя полками, направленными наружу. Применяются для обрешетки и прогонов.

В случаях, когда несущей способности одинарного профиля недостаточно, используют спаренные сечения (рис. 4).

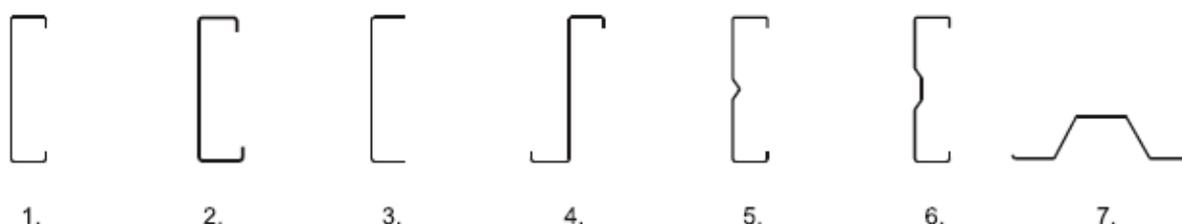


Рис. 3. Основные типы сечений холодногнутых профилей: 1 — С-образное равнополочное сечение (С-профиль); 2 — С-образное неравнополочное сечение (С-профиль); 3 — швеллерное сечение (швеллерообразный профиль); 4 — Z-образное сечение (Z-профиль); 5 — Σ (сигма)-образное сечение (Σ-профиль); 6 — профиль с вытянутым вдоль стенки рифом; 7 — П-образное сечение (Ω-профиль)

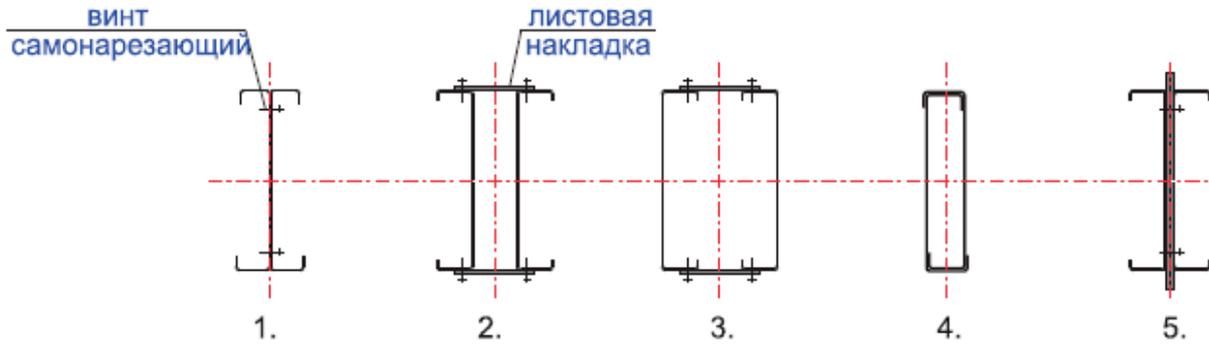


Рис. 4. Типы составных сечений: 1 — двутавровое составное сечение из равнополочных С-профилей; 2 — двутавровое составное сечение из равнополочных С-профилей, объединенных пластиной на всю высоту; 3 — коробчатое сечение из равнополочных С-профилей, объединенных пластиной на всю высоту; 4 — коробчатое сечение из С-профилей; 5 — двутавровое составное сечение из С-профилей, соединенных при помощи пластины на всю высоту

В строительной механике тонкостенные стержни относят к четвертому типу. Это объекты, у которых все три измерения выражаются величинами разных порядков. Толщина стенки такого стержня представляет собой малую величину по сравнению с размерами поперечного сечения, которые, в свою очередь, значительно меньше длины стержня.

Расчетная схема тонкостенных стержней сохраняет в себе основные свойства обыкновенного стержня, и формулы, связанные с растяжением/сжатием, изгибом и кручением остаются в целом справедливыми. Однако, из-за своих геометрических соотношений тонкостенные стержни имеют свойства, отличающие их от стержней сплошного сечения, поэтому методика их расчета требует особого изучения.

Для тонкостенных стержней не соблюдается принцип Сен-Венана, т.к. глубина проникновения крайних напряжений вдоль оси намного больше, чем в сплошном стержне.

Не соблюдается гипотеза плоских сечений, происходит деформация сечения — явление нарушения плоскостности поперечного сечения стержня, характеризующееся неравномерным перемещением точек, преобразующим плоскость сечения в нелинейную поверхность (рис. 5).

В зависимости от характера развития деформации по длине стержня, различают два типа кручения: свободное и стесненное. Если деформация в различных поперечных сечениях различна, кручение называется стесненным, а если во всех поперечных сечениях по длине стержня деформация одинакова, то такое кручение называется свободным.

В случае свободного кручения в поперечных сечениях стержня действуют только касательные напряжения, а при стесненном кручении, помимо касательных возникают еще и нормальные напряжения. Эффект от неравномерной деформации сечения по длине наиболее заметен у стержней открытого профиля.

Еще в 1855 году Сен-Венан разработал теорию кручения призматического стержня. Он установил, что для некруглого стержня при наличии связей, мешающих искажению сечения, возникает изгибное или стесненное кручение, которое приводит к возникновению дополнительных нормальных напряжений. Затем отклонение от закона плоских сечений при действии поперечной нагрузки, не проходящей через центр изгиба, было обнаружено в 1909 году Бахом.

Также данным вопросом занимался С.П. Тимошенко, который экспериментальным путем установил жесткости двутав-

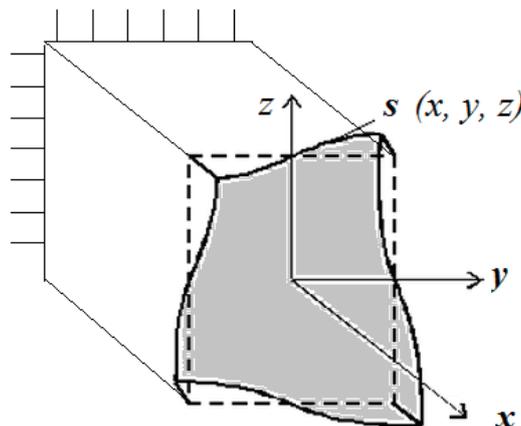


Рис. 5. Деформация сечения стержня

ровых балок при чистом кручении и заложил основные положения теории тонкостенных стержней.

Наибольший вклад в развитие данной теории внес профессор В.З. Власов (1906–1958), поэтому её обычно называют теорией Власова [2].

Его теория стержней открытого профиля построена на двух основных геометрических гипотезах:

- стержень рассматривается как оболочка, обладающая в плоскости поперечного сечения жестким контуром;
- деформация сдвига срединной поверхности отсутствует.

Впоследствии большое количество ученых исследовали напряженное состояние тонкостенного стержня, его характеристики и формы потери устойчивости. Методики расчета подобных конструкций до сих пор продолжают совершенствоваться.

Для получения более точных результатов при расчетах была предложена концепция редуцированного сечения, которая легла в основу методики расчета по Eurocode [3] и СП 260.1325800.2016 [4].

Сечения тонкостенных стержней, согласно Eurocode, относят к 4 классу. В таких сечениях потеря местной устойчивости наступает раньше достижения предела текучести в одной или нескольких зонах поперечного сечения. Поэтому, для учета снижения несущей способности от действия местной потери устойчивости используется эффективная ширина.

Профиль рассматривают как совокупность длинных пластин, жестко соединенных в местах изгиба. При расчете из площади профиля вычитают участки пластинчатых элементов, потерявшие контур при местной потере устойчивости (рис. 6).

Фактическое распределение напряжений, действующее на полной ширине элемента  $b$ , заменяется упрощенными эквивалентными напряжениями, действующими на две равные (эффективные) ширины  $b_{eff}/2$ . Средняя часть, наиболее подверженная местной потере устойчивости, принимается как не воспринимающая нормальные напряжения и исключается из работы.

Таким образом, сложное распределение напряжений при потере местной устойчивости заменяется на упрощенную модель, в которой на редуцированную ширину элемента действуют равномерно распределенные напряжения. Данный подход позволяет снизить сложность и трудоемкость расчетов.

Эффективная ширина пластинки определяется по формуле:

$$b_{ef} = \rho b, \tag{1}$$

где  $\rho$  — коэффициент редукции, зависящий от условий закрепления пластинки и параметра  $\bar{\lambda}_p$ .

Для пластин с двумя продольными закреплениями (например, стенка двутавра):

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1, \tag{2}$$

где  $(3 + \Psi) \geq 0$  ( $\Psi$  — отношение меньшего напряжения к большему).

Для пластин с одним продольным закреплением (например, полка уголка или швеллера):

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1 \tag{3}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{cr}}}, \tag{4}$$

где  $\sigma_{cr}$  — критическое напряжение потери устойчивости пластинки.

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \frac{\pi^2 E t^2}{12(1 - \nu^2) b^2}, \tag{5}$$

где  $k_\sigma$  — коэффициент, зависящий от граничных условий и характера напряжений в пластинке, определяется по таблицам 7.2 и 7.3 [4];

$\nu$  — коэффициент Пуассона.

После определения эффективных ширин вычисляются остальные редуцированные геометрические характеристики сечения: площадь, момент сопротивления и момент инерции.

Далее выполняется проверка несущей способности элемента по первому и второму предельным состояниям с учетом полученных редуцированных характеристик.

Помимо местной потери устойчивости, тонкостенные профили подвержены потере устойчивости формы сечения (рис. 7). В этом случае углы сечения перемещаются и поворачиваются, т.е. нарушается гипотеза недеформированности контура поперечного сечения.



Рис. 6. Замена напряжений на эквивалентные

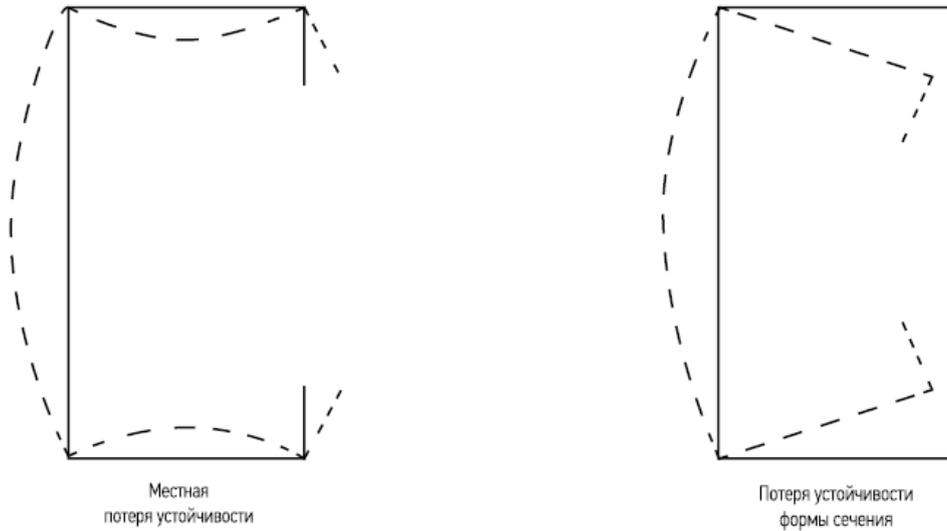


Рис. 7. Потери устойчивости ЛСТК профиля

Для предотвращения этого, в сечении элемента предусматривают элементы жесткости (отгибы в свесах полок, гофры, дополнительные ребра). В расчет для участков с такими элементами принимается уменьшенная (редуцированная) толщина, которая определяется с помощью коэффициента снижения несущей способности  $s_d$  в зависимости от относительной гибкости элемента жесткости [4].

В целом, расчет элемента из тонкостенного профиля можно разделить на три этапа.

1. Определение распределения нормальных напряжений по сечению элемента от действия нагрузок.
2. Разбиение профиля на прямолинейные участки, вычисление коэффициентов редукиции. При этом, необходимо пересчитать положение центральных осей и характеристики редуцированного сечения, а также учесть эксцентриситеты, возникающие из-за смещения осей (рис. 8).
3. Проверки на прочность и устойчивость полученного редуцированного сечения.

В современном строительстве определение НДС элементов выполняется, в основном, при помощи специализированных

программных комплексов, основанных на методе конечных элементов. Поскольку теория расчета тонкостенных стержней появилась относительно недавно, с ее реализацией в программах возникают некоторые трудности.

Недостатками теории Власова В.З. [2] являются зависимость деформации стержня от кручения и отсутствие деформаций сдвига в срединной поверхности стержня. Отсюда, результаты расчета могут иметь большую погрешность.

Учитывая эти несовершенства, в 2005 г. В.И. Сливкер [5] предложил свою модифицированную теорию, получившую название «полусдвиговая теория Сливкера». Его теория более проста, т.к. функции деформации и кручения не зависят друг от друга, и более точна, т.к. учитывает деформации сдвига.

На основании этих и других теорий было написано множество работ, предлагающих различные варианты применения метода конечных элементов для решения задач с тонкостенными стержнями.

Основные способы расчета конструкций из тонкостенных стержней методом конечных элементов:

- Использование оболочечных конечных элементов

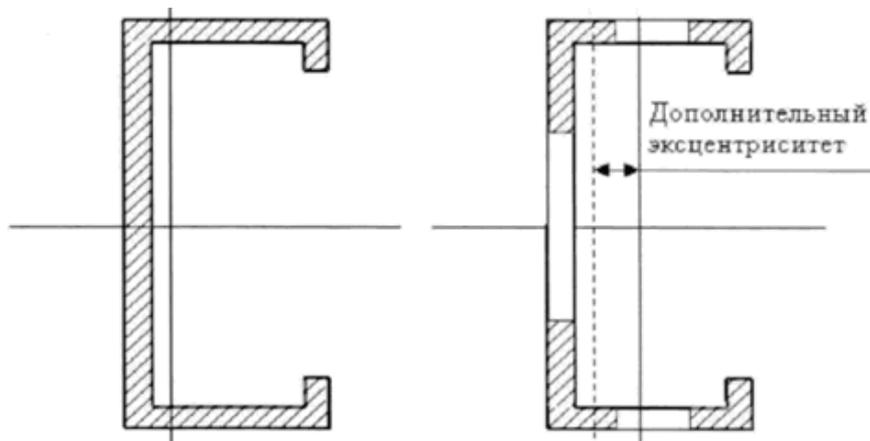


Рис. 8. Дополнительные изгибающие моменты

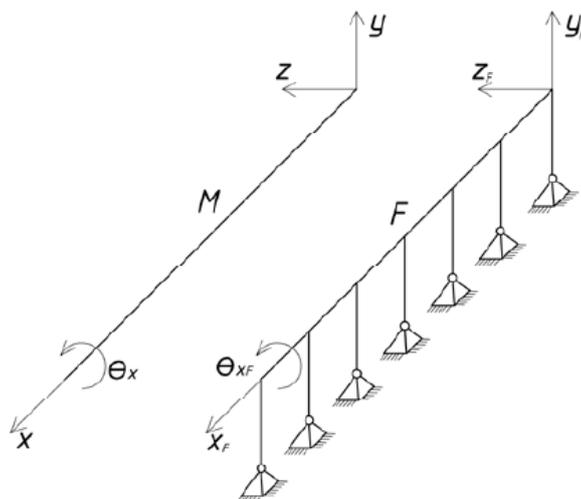


Рис. 9. Основной и фиктивный стержни

При данном методе тонкостенный стержень представляется в виде оболочки и далее рассчитывается с помощью МКЭ в расчетных программах. Недостаток метода состоит в трудоёмкости построения модели и большем числе конечных элементов по сравнению со стержневой моделью.

– Введение дополнительной связи в стержневые конечные элементы

Метод был предложен Тусниным А.Р [6]. Он разделил конструкцию на отдельные тонкостенные конечные элементы, имеющие по 7 степеней свободы в каждом узле. Соответственно в матрице жесткости появились новые компоненты — реакции в связях при их возможных единичных перемещениях: углу поворота относительно продольной оси и деформации сечения стержня.

Однако, данные конечные элементы построены на основе аналитических решений для отдельных элементов и неприменимы для расчета стержней замкнутого профиля.

– Бистержневая модель

Модель изложена в книге А.В. Перельмутера и А.И. Сливкера [7]. Она построена для стержневого элемента с 6 степенями свободы в узлах на основе ряда энергетических соображений.

Для расчёта используется механическая система из двух стержней равной длины: основного и фиктивного (рис. 9).

Здесь  $(X, Y, Z)$  — местная система координат основного стержня, а  $(X_f, Y_f, Z_f)$  — фиктивного стержня.

Углы поворота сечений этих двух стержней относительно осей  $X$  и  $X_f$  принимаются равными, а на перемещения фиктивного стержня в осевом направлении и в направлении одной из главных осей инерции накладываются связи.

Таким образом, при закручивании основного стержня, фиктивный приобретает поперечные перемещения, вызывающие его изгиб.

Энергия деформации в бистержневой модели является суммой энергий в основном и фиктивном стержнях, рассмотренных в отдельности. Чтобы данная энергия была эквивалентна исходному рассчитываемому тонкостенному стержню, необходимо назначить крутильную жесткость основному стержню, а изгибную — фиктивному. Крутильную жесткость фиктивного стержня принять равной нулю.

Исследования ученых показывают, что поведение тонкостенных профилей под нагрузкой отличается от обычных. Напряженно-деформируемое состояние конструкций из тонкостенных элементов зависит от множества факторов:

- начальные несовершенства при изготовлении;
- эксцентриситет приложения нагрузки;
- наличие отверстий в стенке (у термопрофилей);
- геометрические размеры и форма сечения.

Все это требует тщательного изучения, и должно учитываться, чтобы получить расчетную схему, наиболее приближенную к реальности.

Литература:

1. ТУ 1121-001-02562392-2016. Профили холодногнутые из оцинкованной стали для строительства. Технические условия — 2016.— Липецк, 75 с.
2. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни / В.З. Власов.— М.: Физматгиз, 1959.— 566 с.
3. EN1993-1-3 «Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-3: General rules — Supplementary rules for cold formed members and sheeting». 1993.— 192 с.
4. СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов. Правила проектирования (с Изменением N1).— введ. с 04.06.2017 — М.: Госстрой России — 116 с.
5. Сливкер В.И. Строительная механика. Вариационные основы. Учебное пособие.— М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005.— 736 с.

6. Туснин А. Р. Расчет и проектирование конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля / автореферат на соиск. учен. степ.к.т.н. Спец.: 05.23.01. М., 2004. 37 с.
7. Перельмутер А. В., Сливкер, В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Изд-во ДМК Пресс. 2002. 618 с
8. Расчет элементов из стальных холодноформованных профилей в соответствии с Еврокодом 3 / Э. Уэй [и др.]; — К.: УЦСС, — 2015. — 96 с.
9. Пособие по проектированию строительных конструкций малоэтажных зданий из стальных холодногнутых оцинкованных профилей (ЛСТК) / [АРСС, Ассоциация развития стального строительства]; под редакцией Назмеевой Т. В.— Санкт-Петербург: Первый ИПХ, 2021–238 с.
10. Рыбаков, В. А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций: учеб. пособие / В. А. Рыбаков — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.— 207 с.

## Влияние перфорации стенки на напряженно-деформируемое состояние термопрофиля

Ерастова Любовь Алексеевна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье рассмотрены различные формы перфорации, применяемые в «термопрофилях» ЛСТК. Проведен анализ отличия перфорации по длине, расстоянию между отверстиями и их расположению.*

*Задачей исследования является выявление зависимости напряжений и деформаций стержня от вида перфорации и определение оптимальной геометрии перфорации.*

**Ключевые слова:** ЛСТК, тонкостенный стержень, перфорация, термопрофиль.

Термопрофиль представляет собой оцинкованный холодногнутый профиль с продольными просечками или перфорацией в стенке (см. рис. 1). Перфорацию выполняют в шахматном порядке, благодаря чему увеличивается путь прохождения теплового потока и пропадают так называемые «мостики холода» (см. рис. 2). Такое решение помогает предотвратить появление конденсата и исключает возможность промерзания стен изнутри сооружения.

Сфера применения термопрофилей достаточно широка — несущие каркасы малоэтажных зданий, дополнительное утепление наружных стен многоэтажных зданий с несущим железобетонным или стальным каркасом, промежуточные элементы в бесчердачных крышах из несущего профилированного листа, стеллажи в торговых производственных и складских комплексах.

На данный момент прочностные характеристики профилей легких стальных конструкций достаточно хорошо изучены. Но в случае с термопрофилями необходимо дополнительно учитывать их ослабление перфорацией.

Для подбора наиболее эффективного сечения перфорированного профиля необходимо проводить испытания совместно на несущую способность и теплотехнические показатели профилей.

В статьях [8], [9] установлена взаимосвязь теплотехнических характеристик термопрофилей с геометрией и видом их перфорации. В данной статье рассмотрим влияние формы перфорации на НДС профиля.

В качестве объекта исследования принят П-образный профиль марки SA-200-20-U-OUT производителя ООО «ПРОДОМ Тверь». Параметры и геометрические размеры см. рис. 3.



Рис. 1. Перфорированный холодногнутый профиль (термопрофиль)

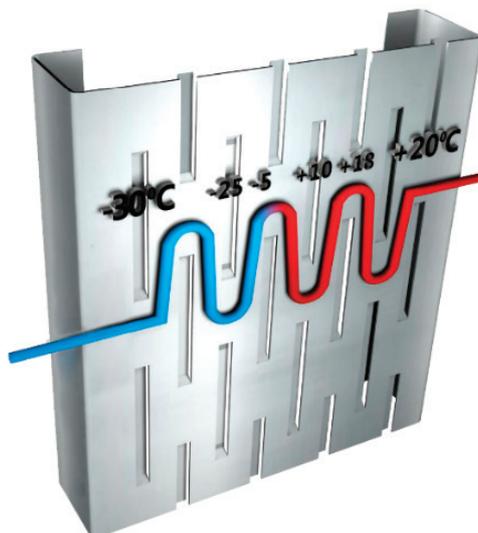


Рис. 2. Путь теплового потока в перфорированном профиле

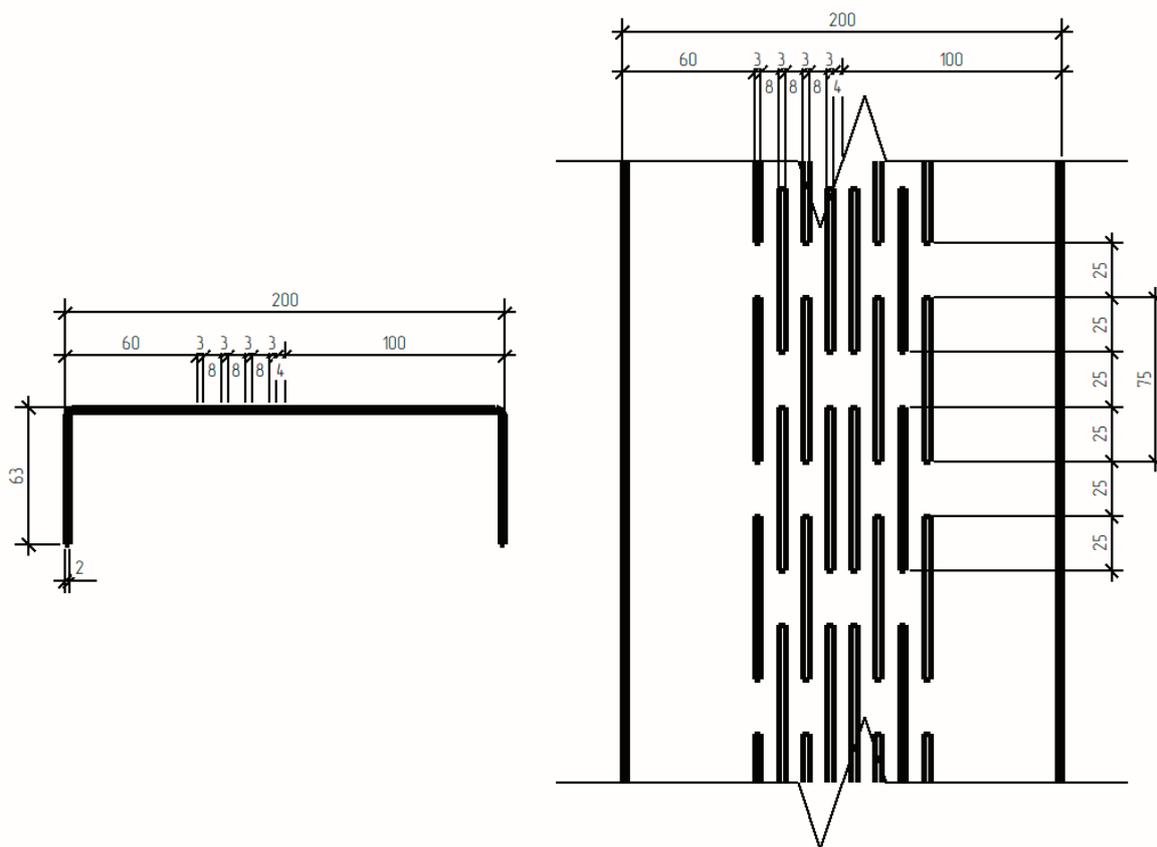


Рис. 3. Размеры профиля SA-200-20-U-OUT

Моделирование производилось в ПК ANSYS. Длина элемента принята 1,5м. К верхнему торцу стержня приложена нагрузка 10Н. Стержень закреплен в опорной зоне и в оголовке шарнирно с запретом линейных перемещений. Граничные условия и нагрузку см. рис. 4. В данном исследовании были рассмотрены несколько модификаций перфорации вышеуказанного профиля:

- 1) Увеличение длины отверстия
- 2) Увеличение расстояния между отверстиями в поперечном направлении
- 3) Разделение перфорации на 2 группы относительно оси симметрии
- 4) Добавление дополнительных рядов отверстий.

Параметры измененной перфорации приведены в табл. 1.

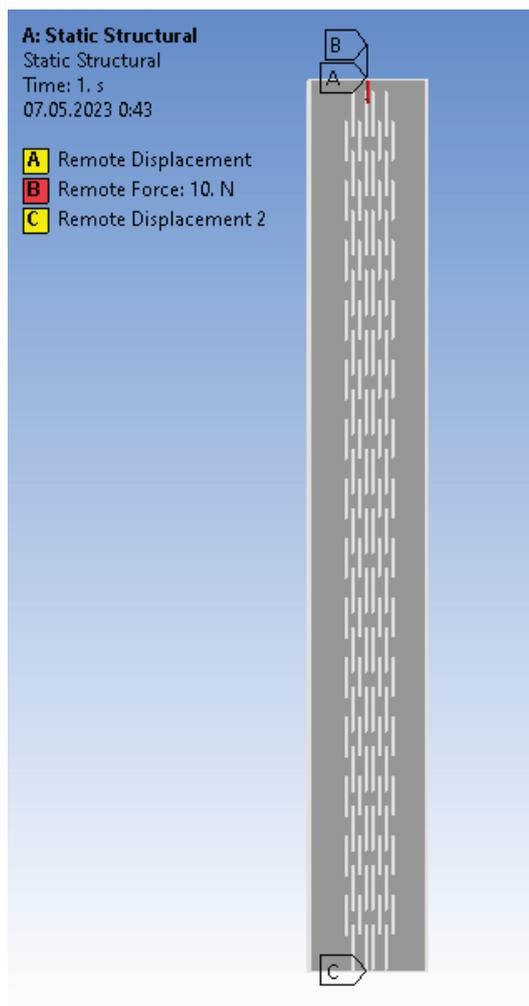


Рис. 4. Граничные условия и нагрузка

Таблица 1. Параметры перфорации образцов

№ образца	Геометрические размеры
1	

№ образца	Геометрические размеры
2	
3	
4	

Для каждого профиля были рассчитаны значения максимальных напряжений в стенке и максимальных деформаций (см. рис. 5–6), а также проведен линейный анализ потери устойчивости с целью приблизительной оценки критической нагрузки, вызывающей потерю устойчивости (см. рис. 7).

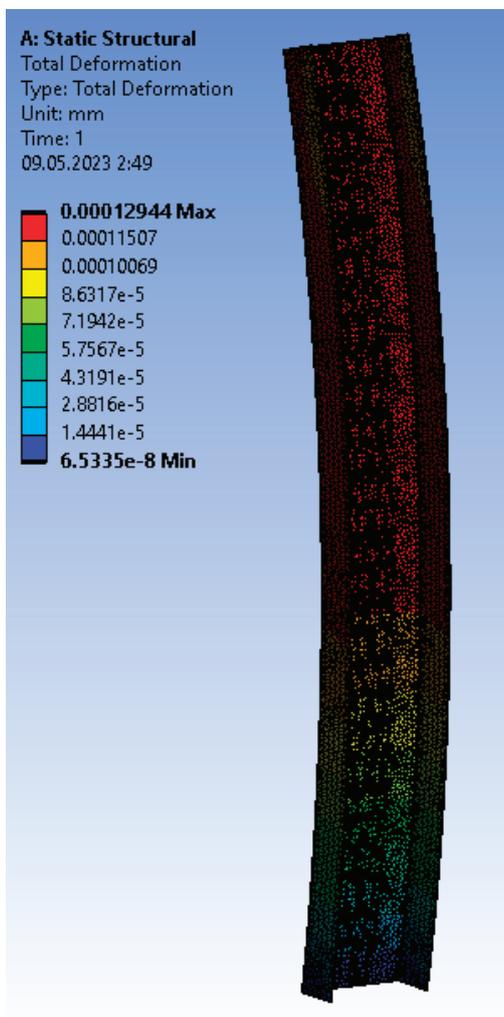


Рис. 5. Общие деформации профиля



Рис. 6. Напряжения в стенке профиля

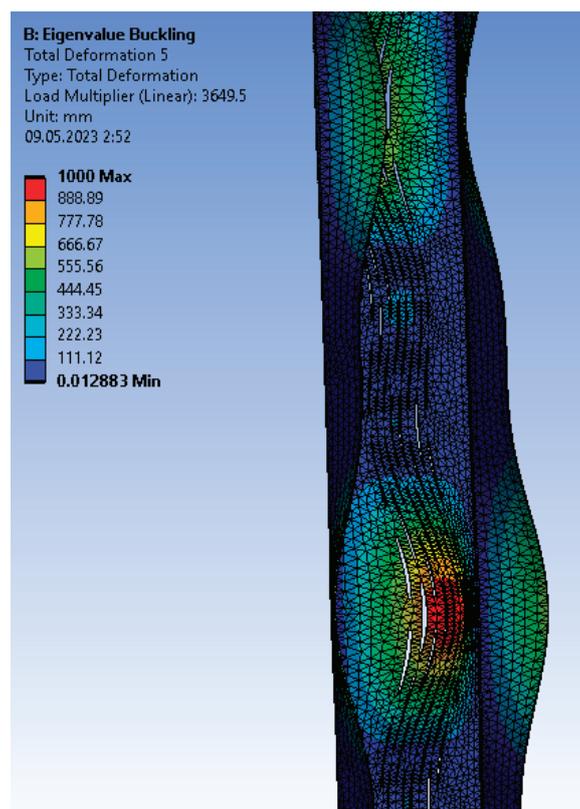


Рис. 7. Одна из форм потери устойчивости

Результаты расчетов приведены в табл. 2. В табл. 3 указаны проценты отклонения значений измененных профилей от первоначального.

Таблица 2. Результаты расчетов

№ образца	Максимальные напряжения в стенке профиля, МПа	Максимальные деформации, $10^{-3}$ мм	Критическая нагрузка, вызывающая потерю устойчивости, кН
без изменений	0,0265	0,129	36,495
1	0,0257	0,132	31,78
2	0,0263	0,13	37,024
3	0,0251	0,13	35,527
4	0,0259	0,143	32,795

Таблица 3. Отклонение результатов измененных профилей от исходного

№ образца	Максимальные напряжения в стенке профиля, %	Максимальные деформации, %	Критическая нагрузка, вызывающая потерю устойчивости, %
1	+0.5	+2.3	-12.9
2	+0.4	+0.8	+1.4
3	-0.1	+0.8	-2.7
4	+2.8	+10.9	-10.1

Согласно исследованиям, приведенным в статье [8], выявлено, что наибольшее влияние на теплотехнические свойства профилей оказывает количество отверстий, расположенных по одной линии поперечного сечения. Однако, по результатам расчета, при добавлении дополнительных рядов перфорации (образец № 4) резко возрастает деформативность и снижается устойчивость профиля.

В случае увеличения длины элемента перфорации (образец № 1) также сильно снижается устойчивость профиля.

Наиболее оптимальными решениями являются увеличение расстояния между отверстиями в поперечном направлении (образец № 2) и разнесение перфорации на 2 группы относительно оси симметрии (образец № 3), так как в этих вариантах слабо меняются прочностные характеристики, а теплотехнические свойства улучшаются.

Стоит отметить, что данные расчеты выполнены без учета начальных геометрических несовершенств и нелинейных свойств материала. Для увеличения точности результатов рекомендуется провести более подробный расчет с учетом данных факторов, а также выполнить нелинейный анализ потери устойчивости.

Для более конкретных решений требуются дополнительные исследования профилей совместно на теплопроводность и несущую способность.

#### Литература:

1. СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования (с Изменением N1).— введ. с 04.06.2017 — М.: Госстрой России — 116 с.
2. Расчет элементов из стальных холодноформованных профилей в соответствии с Еврокодом 3 / Э. Уэй [и др.]; — К.: УЦСС,— 2015.— 96 с.
3. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) проектирование, изготовление, монтаж. Учебное пособие для ВУЗов/ Астахов И. В, Гудков А. Н., Жидков К. Е. и др.; под общей ред. Зверева В. В.— М.: Издательство «Перо», 2023—412 с., ил.
4. Туснина В. М. Перспективы строительства доступного и комфортного жилья на основе стальных каркасов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 43–46
5. Илюхина, Е. А. Мировая практика применения технологии ЛСТК в строительстве / Е. А. Илюхина, А. А. Соболев.— Текст: непосредственный // Ползуновский альманах.— 2018 — № 1 — С. 89–92.
6. Айрумян Э. Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО конструкций «БалтПрофиль». М., 2004
7. Айрумян Э. Л. Перспективы ЛСТК в России / Э. Л. Айрумян, Н. И. Каменщиков, М. А. Липленко // СтройПРОФИЛЬ. 2013. № 10. С. 12–17.
8. Безбородов Е. Л. Влияние перфорации на теплотехнические характеристики «термопрофилей» легких стальных тонкостенных конструкций // Инновации и инвестиции. 2019. № 2. С. 191–194.
9. Безбородов Е. Л. Геометрические характеристики современных «термопрофилей» легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) // Инновации и инвестиции. 2020. № 2. С. 141–143.
10. Ватин Н. И., Попова Е. Н. Термопрофиль в легких стальных строительных конструкциях. СПб, 2006.

## Исследование свойств бетона с добавкой технического углерода

Ибрагимова Динара Фаритовна, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье рассмотрены свойства электропроводящего бетона, получаемого с помощью вовлечения технического углерода как добавки. Рассматриваемая технология применяется в качестве «теплых дорог» и «теплого бетона». Непосредственно цементобетонный материал используется в дорожном и гражданском строительстве для обеспечения чистоты от снега и наледи на поверхностях, без использования снегоуборочной техники и химической обработки. Автором экспериментально подобраны составы бетона с разными процентными содержаниями технического углерода. Оптимальное содержание выявлялось проведением испытаний на изгиб, сжатие, морозостойкость и токопроводность изготовленных образцов. Данная технология способна снизить стоимость обслуживая автомобильных и пешеходных дорог, повысить безопасность и уменьшить негативное влияние на экологию, оказываемое при применении привычных способов очистки.*

**Ключевые слова:** электропроводящий бетон, токопроводящий бетон, «теплый бетон», «теплые дороги», технический углерод, способы очистки дорожных поверхностей.

#### Актуальность темы

Одной из основных, до конца не решенных, дорожных проблем, в зимнее время года, является снеговой покров и обледенение. Последствия мощных снегопадов невозможно ликви-

ровать мгновенно. Объем работ по очистке всех имеющихся дорожных покрытий невозможно выполнить физически и экономически. А во дворах быстрорастущих городов трудно про- извести полноценную уборку и обработку территорий из-за припаркованных автомобилей. В результате чего появляются

многокилометровые заторы транспортных средств, увеличивается количество ДТП, затрудняется передвижение пешеходов и повышается травмоопасность.

Такого рода трудности присущи не только России. В развитых Скандинавских странах, например, при подготовке граждан к обычному получению права на управления рядового автомобиля, существует целый раздел по обучению вождению в зимних условиях. А после получения водительского удостоверения, требуется пройти испытательный срок, который обязательно должен включать в себя зимний период вождения. Граждан готовят, так как при таком количестве снежных осадков, как в Скандинавии, невозможно мгновенно устранить снежные заносы дороге. С гололедом, зачастую, тоже не борются привычными для нас способами, так как химические реагенты оказывают сильное влияние на экологию. Но стоит отметить, что подобная модель доступна Скандинавским странам по причине малого количества населения, и как следствия автомобилей, при высоком уровне развития дорожной сети.

Для борьбы с последствиями зимних природных явлений есть несколько способов — механизированная чистка специальной снегоуборочной техникой, ручная чистка, обработка полотен химическими и фрикционными противогололедными материалами. Но, к сожалению, как уже говорилось выше, из-за загруженности, и зачастую стесненного пространства, специализированные дорожные службы по уборке снега не могут или не успевают очищать все дворы и «скрытые» улочки. Как правило, в порядок приводят только центральные улицы населенных пунктов.

Самой затратной временной и финансовой частью по уборке территорий в зимний период является вывоз загрязненного снега на специальные полигоны или в плавильные цеха. Зачастую, снеговые отложения во дворах жилых кварталов лежат весь зимний сезон, в них накапливаются не только мелкий мусор, но и всевозможные химические реагенты, используемые для борьбы с наледью. Такой грязный снег, в дальнейшем, представляет опасность для экологии и населения. Часть реагентов уходит в грунт и подземные воды, часть превращается в пылевые отложения при высыхании, которые пагубно действуют не только на дыхательные органы человека, но и на эстетический вид городов.

### Способы применения токопроводящего бетона

Учитывая все вышесказанное, становится очевидно, что следует искать дополнительные решения обозначенных проблем. Так как действующих мер недостаточно для энергоэффективной и своевременной очистки дорожных и гражданских территорий. Способы устранения последствий природных явлений зимнего периода должны быть экономически целесообразны, безопасны для граждан и выполнимы по объему. Одно из таких решений — применение в дорожном и гражданском строительстве так называемого «теплого» бетона. Существует различные способы создания такого рода композиционного материала. Например, заложение в тело бетона греющих сеток или кабеля. В данной статье рассматривается способ, основанный на вовлечении в состав бетонной смеси технического углерода, как добавки.

Перспективным направлением данного бетона является производство специальных поверхностей-обогревателей, которыми могут быть не только дорожные одежды, но также и стены, и тротуарная плитка [1].

Химия углерода открывает весьма широкие перспективы в получении композиции на основе углеродсодержащего сырья, в силу достижений последних лет в этой области. Благодаря уникальным свойствам, чрезвычайно высокой химической стойкости, термостойкости, термостойкости и удельной прочности углеродные композиты нашли применение в качестве материалов для изготовления углеродсодержащих огнеупорных, высокотемпературных композиционных материалов, модифицированных электродов, как наполнителей для шинной и резинотехнической промышленности, каталитических систем на основе углеродсодержащего сырья и др. [2].

В мировой строительной индустрии стремительно возрастают доля и роль высокопрочных бетонов, способствующих развитию архитектурных форм и функционально новых видов сооружений. Бетоны классифицируют как многокомпонентные композиционные материалы на основе минеральных вяжущих, свойства которых могут регулироваться в широких пределах за счет модификации различными добавками, в том числе наноразмера [3, 4].

**Лабораторные испытания.** Автором статьи были проведены лабораторные испытания, в ходе которых подобран оптимальный вариант состава электропроводящего бетона с добавлением технического углерода Т-900. Были определены физико-механические свойства, установлены электротехнические, термические и технологические параметры получившегося материала.

Во время испытаний требовалось выполнить следующие задачи:

- Подобрать оптимальный состав токопроводящего бетона по его критериям на прочность и электропроводность;
- Определить физико-механические свойства токопроводящего бетона;
- Проверить цементобетон на электропроводность в зависимости от процентного содержания электропроводного компонента.

В ходе лабораторных испытаний были изготовлены контрольный образец и образцы с различным процентным содержанием технического углерода, обеспечивающего нагрев и электропроводность материалу.

В качестве материалов для приготовления смеси были использованы:

- Цемент по ГОСТ 31108–2003 ЦЕМ II/A-III 42,5 НДП ГОСТ 33174–2014;
- Песок по ГОСТ 8736–96 и 26633–2012 песок для строительных работ;
- Щебень по ГОСТ 8267–93 и 26633–2012 гранитный;
- Углерод технический по ГОСТ 7885–86 Марка 900;
- Пластифицирующая добавка МГ 117;
- Воздухововлекающая добавка МГ 125 air.

Было подобрано несколько составов цементобетонной смеси с различным содержанием технического углерода (табл. 1).

Таблица 1. Составы электропроводящего цементобетона

Материал	Количество материала, %			
	Состав № 1 (0% углерода)	Состав № 2 (5% углерода)	Состав № 3 (10% углерода)	Состав № 4 (15% углерода)
Цемент	17,57	17,42	17,27	17,10
Песок	36,93	36,61	36,30	35,95
Щебень	38,33	38,00	37,66	37,31
Вода	7,03	6,97	6,91	6,84
Углерод	0	0,87	1,73	2,58
Пластифицирующая добавка	0,13	0,12	0,12	0,12
Воздухововлекающая добавка	0,01	0,01	0,01	0,01

Ход работы осуществлялся следующим образом:

- Взвесить все материалы с точностью до тысячных;
- В бетономесителе замесить цемент, песок и щебень;
- Добавить технический углерод;
- В сухую смесь вводиться вода с добавками;

- Готовую смесь уплотняем на виброплощадке;
- Ставим в сушильную камеру.

Из готовых смесей формовались кубики 10x10x10 см и ба- лочки 4x4x16 см, которые затем испытывали на прочность и мо- розостойкость (таблица 2).

Таблица 2. Результаты испытаний на прочность

Состав	Вид испытания			
	Прочность на сжатие, МПа		Прочность на изгиб, МПа	
	28 суток	56 суток	28 суток	56 суток
Состав № 1	42,30	44,45	41,56	43,87
Состав № 2	45,20	49,70	41,98	44,12
Состав № 3	50,49	58,35	43,61	45,50
Состав № 4	49,40	49,70	42,35	44,87

По результатам испытаний образцов на прочность, можно сделать вывод, что оптимальная концентрация технического углерода близка к 10%.

По результатам испытаний образцов на морозостойкость можно сделать вывод, что факт вовлечения и его процент не оказывают влияние на данный показатель.

Для определения электропроводности материала, при фор- мовании образцов, были заложены стальные токопроводящие саморезы. Изготовленные образцы испытывались при ком- натной температуре +21,6°C. При измерении токопроводности с помощью мультиметра были получены следующие резуль- таты (таблица 3).

Таблица 3. Результаты испытаний на электропроводность

Состав	Сопротивление, кОм
Состав № 2	709
Состав № 3	914
Состав № 4	1141

По результатам испытаний было выявлено, что состав с со- держанием технического углерода 5% имеет самый высокий по- казатель электропроводности.

Специально для проведения исследования была разрабо- тана установка, позволяющая определить скорость нагрева образцов, проводя через них ток. Таким образом, с помощью

находящихся на приборе медных пластин и датчиков, опреде- ляющих температуру, удалось отследить скорость нагрева всех образцов. По результатам измерений, можно прийти к выводу, что увеличение процента вовлечения технического углерода ускоряет нагрев тела бетона. Так, образец с наибольшей кон- центрацией нагрелся на 3°C в течении 5–7 минут.

Исходя из всех проведенных лабораторных испытаний, можно сделать вывод, что самым оптимальным вариант при выборе концентрации цементобетона является состав с содержанием технического углерода, близким к 10%.

Данная технология, несмотря на высокую стоимость, не лишена будущего. Использование ее в дорожном строительстве повсеместно, конечно, нецелесообразно. Однако, создание «теплых» покрытий на дворовых территориях, может оказаться тем самым сбалансированным решением проблем, вызванных

зимними природными явлениями. Исследование показало, что вовлечение технического углерода, как способ получения «теплого» бетона, является возможной опцией. Так как, при приобретении способности относительно быстрого нагрева, бетон сохраняет свои физико-механические свойства, не теряет в прочности и морозостойкости. В дальнейшем, для определения жизнеспособности данной технологии, следует провести экономическое сравнение различных способов получения «теплого» бетона с рассматриваемым, в различных масштабах использования.

#### Литература:

1. Урханова Л. А., Буянтуев С. Л., Урханова А. А., Лхасаранов С. А., Ардашова Г. Р., Федюк Р. С., Свинцов А. П., Иванов И. А. Механические и электрические свойства бетона, модифицированного углеродными наночастицами // Инженерно-строительный журнал. 2019. №8(92). С. 163–172. DOI: 10.18720/МСЕ.92.1
2. Кабулов А. Т., Нечипуренко С. В., Ефремов С. А. Получение и исследование новых углеродных материалов из растительных отходов и их применение в очистке газоздушных смесей // Труды Кольского научного центра РАН, 2015. № 5 (31). С. 527–531.
3. Ковтун Г. П., Вережкин А. А. Наноматериалы: технологии и материаловедение: Обзор. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. 73 с.
4. Ремпель А. А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурированных материалов // Успехи химии, 2007. Т. 76. № 5. С. 475–500.

## Воздействие ландшафта на психоэмоциональное состояние человека в условиях климата Западной Сибири

Каткаева Татьяна Игоревна, студент;  
Корнева Нина Сергеевна, ассистент

Нижневартовский государственный университет (Ханты-Мансийский автономный округ — Югра)

*Климатические условия Западной Сибири, выраженные непродолжительным световым днём, длительной зимой и коротким летом, необустроенные ландшафты городов с отсутствием зон для отдыха и развлечения ухудшают психоэмоциональное и физическое состояние местных жителей, вызывают усталость, депрессию и апатию, способствуют профессиональному выгоранию. Россия имеет 70% серверных территорий, поэтому вопрос комплексного подхода к созданию комфортной ландшафтной среды является необходимым для улучшения качества жизни горожан.*

**Ключевые слова:** *Западная Сибирь, парк, типы парков, Крайний Север, психоэмоциональное состояние, функциональное назначение, город, регион, качество воздуха, ландшафт, психосоматика, городская среда, создание парка, наполнение парков, ландшафтоterapia.*

Развитие экономического прогресса в больших городах, ставило перед человечеством новые глобальные задачи, которые требуют быстрого реагирования. Созданная человеком искусственная среда в виде плотной застройки занимает всё больше места в городском пространстве, что практически исключает для людей возможность взаимодействия с природой.

Значительный вред от отсутствия взаимодействия с природой наносится молодому поколению, потому что без трудовых дисциплин, связанных с естественной природной средой, молодёжи тяжело привить понятия уважения к труду, бережного отношения к окружающему миру, терпимости и усидчивости.

Учёные давно заметили, что окружение человека напрямую влияет на его психоэмоциональное состояние. Психосоматика — это раздел в психологии, занимающийся изучением факторов, влияющих на возникновение и развитие различных

соматических заболеваний у людей. В последнее время в современном обществе существует тенденция обострения различного рода негативных психологических состояний: стресса, тревожности, сонливости, депрессии, апатии и неврастении.

Наше общество в условиях современной нестабильности подвергается мощному негативному влиянию окружающей среды и не всегда может адаптироваться под эти психологические нагрузки [4, с. 257]. Промышленный скачок тоже не принёс положительных последствий для экологии, а именно отсутствие природной составляющей в городской среде усугубилось ухудшением качества воздуха, что сделало проблему ещё более критической. Загрязнённый воздух приводит к появлению таких заболеваний, как бронхит, эмфизема, астма, что напрямую сказывается на психическом состоянии человека. Последствия воздействия загрязнённых частиц воздуха у жителей больших

городов проявляются в виде головных болей, тошноты, слабости, пониженной трудоспособности и общих недомоганий. В то время как ландшафт, обогащенный лесами, горами, реками наоборот благотворно влияет на состояние человека, стимулирует жизненный тонус, успокаивает нервную систему, позитивно влияет на физическое и психологическое состояние.

Угнетающее состояние на психоэмоциональное состояние человека оказывает однообразный и суровый ландшафт, который чаще всего присутствует в экваториальных пустынях и районах крайнего Севера [3, с. 437]. Разумеется, при этом сказывается комплекс факторов (температура, количество осадков, длина светового дня, скорость движения воздушных масс и т.д.), поэтому влияние одного ландшафта выделить трудно, но это лишь расширяет список задач, которые необходимо решить для создания комфортной экосреды, отвечающей всем необходимым условиям для психологической разгрузки и поддержания нормального функционирования в условиях подобных ландшафтов.

Формирование городов в Западной Сибири во многом было обусловлено открытием нефтяных месторождений и пришлось преимущественно на советский период (60–70-е годы). Как правило города основывались стихийно без какого-либо плана городской сетки. По началу это представляло собой небольшие вахтовые поселки, куда люди приезжали скорее для работы, чем для постоянной жизни, но со временем объемы добычи росли и это требовало больше квалифицированных специалистов, а также более долгого срока пребывания на местности, поэтому молодые специалисты начали создавать здесь семьи или перевозить их с других более южных регионов. Началось строительство многоэтажных домов, детских садов, больниц, школ, ж/д вокзалов, аэропортов, позже музеев и театров. Города превратились не только в промышленные, но и культурные центры, в которых большое внимание уделялось единству и дружбе народов, так как осваивать нефтяные месторождения приезжали люди и народности со всего советского пространства, но основой направления культурного развития всегда служило поддержание и сохранение культуры коренных народов севера (ханты и манси).

Сейчас Западную Сибирь можно без преувеличения называть сердцем России, что обусловлено не только центральным географическим положением, здесь добываются, транспортируются и перерабатываются уникальные нефтегазовые и угольные ресурсы, на которых строятся все промышленные, торговые и экономические отношения как на общероссийском, так и на мировом уровне.

Западная Сибирь является не только основой энергетической и сырьевой базой страны, но и устойчивым фундаментом финансовой независимости и платежеспособности государства.

Огромные лесные богатства, представленные преимущественно деревьями хвойной породы, называемые тайгой, создают свой особенный микроклимат для обитания различного пушного зверья и птиц. Развит рыбный промысел, а также сбор ягод и грибов, произрастающих в лесной местности.

Тем не менее города нельзя назвать качественно обустроенными и в достаточной мере приспособленными для жизни

в данном регионе. Всё, потому что благоустроенных территорий в виде парков, скверов или зданий с зимними садами внутри не так много. Строительство жилых зданий набирает обороты, но перспектива развития ландшафтов городских пространств не так привлекает застройщиков, потому что, во-первых, требуются большие денежные вложения, и они почти никак не окупаются, во-вторых, необходим постоянный надзор и дополнительные финансы для поддержания надлежащего вида. Тенденция к росту жилого фонда, без улучшения инфраструктуры ведёт к увеличению числа жителей городов, но благоустройство по-прежнему остаётся на том же уровне, что влияет на психоэмоциональное состояние проживающих на данной территории людей. Часто граждане в таких городах жалуются на апатию и отсутствие городских пространств, где можно было бы отдохнуть и провести время с семьёй.

Южные территории, по-прежнему качественно более благоустроенные по сравнению с северными, хотя целых 70% площади России составляют районы Крайнего Севера и местности, приравненные к этим условиям, поэтому освоение и качество жизни граждан, проживающих на них, должно быть в приоритете. В медицине широко распространено понятие ландшафтотерапии. Ландшафтотерапия («лечение пейзажами», от нем. Landshaft-пейзаж) — научно доказанный метод терапии, направленный на оздоровление организма воздействием красоты природы, пейзажей и лечебных прогулок [7, с. 54]. Не зря различные лечебницы, санатории и дома отдыха располагают именно в живописных местах с различными красивыми видами.

Климатический анализ температуры, сделанный в соответствии с СП 131.13330 «Строительная климатология» и анализ влажности, выполненный согласно СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» (рис. 1) объясняет, что рассматриваемая территория соответствует климатическому поясу IB — IV (3 класс защиты). Климат — умеренно-континентальный. Для территории характерна продолжительная и холодная зима (снежный покров держится до 215 дней). Теплый период года короткий (100–120 дней). Следовательно, климатические условия северных регионов являются некомфортными для жизни человека [2, с. 48]. Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что при проектировании парковых зон целесообразно использовать различные архитектурно-планировочные и ландшафтные решения для защиты от ветра, осадков и температурного воздействия [6, с. 8].

Преимущественно равнинный характер рельефа местности обособливает выбор трёх наиболее подходящих типов парка по планировочной структуре — это живописный английский парк, сочетающий в себе пластичные линии и неправильные формы, повторяющие природные элементы; французский регулярный парк, содержащий строгие зоны симметрии и углы пересечения дорожек преимущественно в 90 и 45 градусов; современный парк, построенный на гармоничном сочетании геометрических фигур регулярного парка и плавных линий живописного (рис. 2). Западная Сибирь является краем озёр и рек, поэтому для данной местности более органичным являлся бы выбор английского типа парка или современного. Живописные изгибы английского парка хорошо бы дополнили извилистые

разливы реки Обь, а структура современного парка за счёт совмещения элементов, могла бы повторить и округлую форму озёр, и естественные изгибы рек.

Первый тип парков по наполнению, который мы рассмотрим — природный парк (рис. 3). Западная Сибирь полна водных пространств, которые чаще всего выражаются в реках, озёрах и болотах. Некоторые из этих водных единиц можно преобразовать в необычные природные парки так же, как это сделал японский архитектор Дзюнья Исигами в своём проекте парка Art Biotop Water Garden, который построен на сочетании небольших заводей, зелёных островков и небольших тропинок, подчёркивающих естественный ландшафт. При со-

здании систем озеленения в японском стиле необходимо задействовать ландшафты городских лесов, площадь которых значительна, а расположение, как правило, очень удобно [5, с. 74]. Внутренние пространства крупных озёр легко приспособить под пространства для уединённого отдыха и пикника достаточно лишь поместить туда небольшие островки с отделкой из лиственничного бруса, такой принцип применили при создании парка Copenhagen Islands в Дании. Система островов создаст непринуждённую атмосферу близкую к природе даже в центре шумного города. Вблизи островов можно открыть пункт проката лодок, что создаст для спонсоров парка возможность заработка, а для посетителей подарит возможность от-

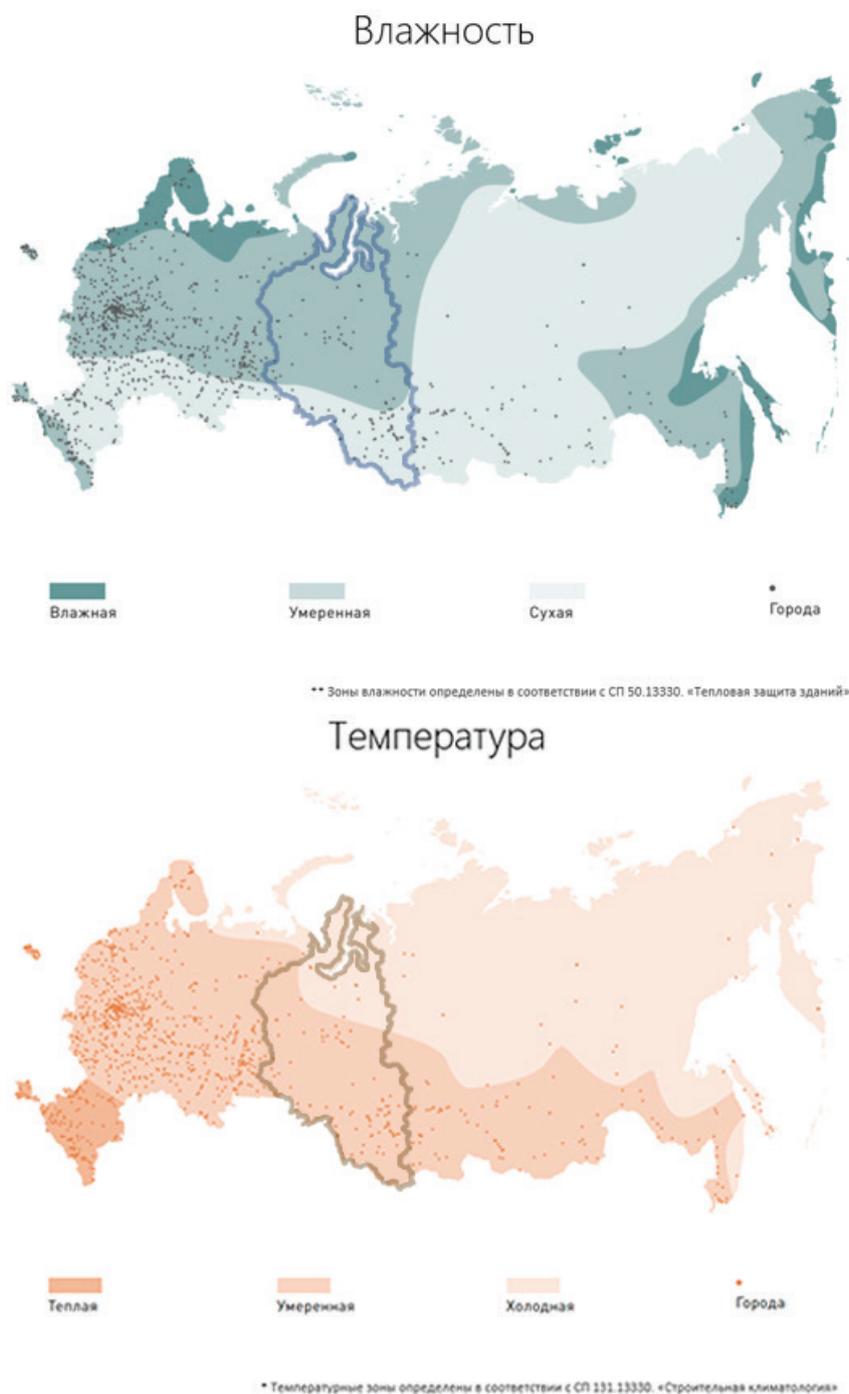


Рис. 1. Климатический анализ Западной Сибири

дохнуть от шума, других посетителей парка и городской суеты на небольшом искусственном оазисе, где можно будет порыбачить или просто уединиться, слушая плеск небольших волн. Голландия всегда славилась целыми полями тюльпанов разных видов, цветов и оттенков. Такое буйство красок не может не восхищать своей красотой и не радовать, поэтому тюльпаны могут использоваться для наполнения парков в Западной Сибири в качестве временных насаждений. В некоторых городах в весеннее время тюльпаны уже используют для украшения небольших городских клумб, но за частую они находятся в труднодоступных для пешеходов местах, где не всегда можно насладиться их запахом или сфотографироваться, поэтому прекрасной идеей является создание целых цветущих природных парков, наполненных тюльпанами и другими яркими цветами как в парке Кекенхов город Лисс. Создание парка подобного типа привлечёт большое количество горожан и поможет вылечить эмоциональную усталость жителей северных регионов, связанную с фактическим отсутствием весны, периодом, когда максимально можно насладиться цветением растений и пробуждением природы.

Помимо природных парков по наполнению выделяют так же городские парки (рис. 4). Они могут быть выражены в виде тематических парков, парков развлечений или парков культуры и отдыха. Городские парки как правило располагаются в черте города, где земля наиболее дорогая, поэтому перед инвесторами всегда стоит сложнейшая задача по привлечению максимального количества посетителей и созданию среды, предполагающей постоянную финансовую отдачу. Различные интерактивные, световые или механические конструкции будут прекрасно справляться с данной задачей долгое время,

радовать горожан и приносить доход для владельца. Парки аттракционов, посвящённые какой-то узкой специализированной направленности, будут привлекать посетителей и одновременно служить наилучшей рекламой для определённого бренда, данный принцип был использован в испанском Ferrari Land Park.

По функциональному назначению типы парков разделяют на многофункциональные и специализированные (рис. 5). Многофункциональные обеспечивают большое разнообразие рекреационных занятий и используется всеми категориями населения. Специализированные делятся на спортивные, прогулочные, выставочные, зоологические, ботанические, этнографические, мемориальные, парки развлечений. В регионах Западной Сибири по функциональному назначению можно использовать и те и другие типы парков использование мостов или переходов необычной формы как в парках Сокольники и Madrid Rio только приветствуется, потому что создаст дополнительную защиту от ветра и будет служить хорошим дополнением к парку, особенно если переключается с его основными формами и планировочными осями. Вечнозелёные топиарии и различные скульптуры придадут парку экзотики и не позволят посетителям скучать, когда основная растительность придёт в увядание. При проектировании парка в северных условиях никогда не стоит забывать, что создаваемый ландшафт нужно создавать таким образом, чтобы он активно использовался и зимой, и летом [1, с. 44].

Следует также учесть, что жители северных регионов ведут менее активный образ жизни, зачастую связанный с сидячей работой в закрытых помещениях, поэтому наличие уличных тренажеров в парке позволит улучшить физическое состояние

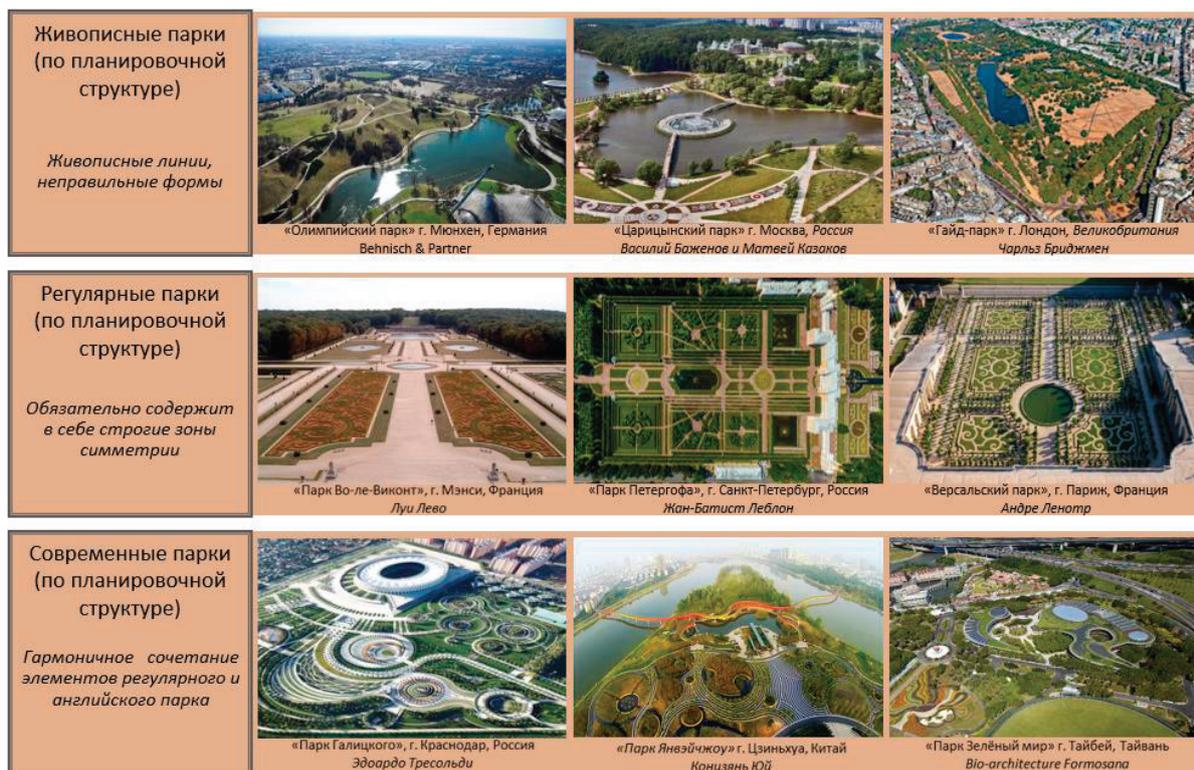


Рис. 2. Типы парков по планировочной структуре на примере аналогов

людей, которые возможно будут не против позаниматься спортом на воздухе, но необходимо создать специальные заграждения от сильных потоков ветра и снега.

Климатические особенности северных регионов заключаются в продолжительной зиме с обильным снежным покровом

и коротким световым днём, что часто вызывает у населения недоумение и стресс. Грамотный подбор растений и наполнения парков для создания привлекательных городских ландшафтов, позволит улучшить психологическое и эмоциональное состояние людей, живущих в суровых условиях Западной Сибири.

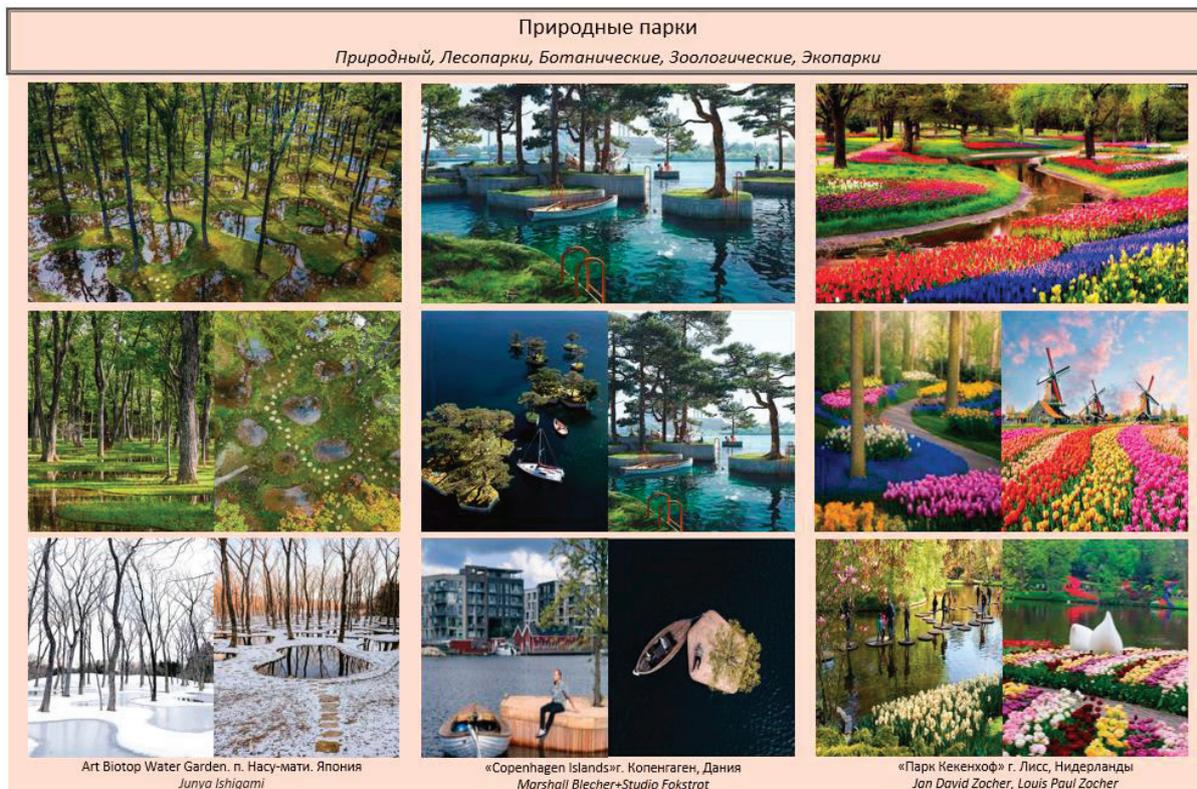


Рис. 3. Основные типы парков по наполнению. Природные



Рис. 4. Основные типы парков по наполнению. Городские



Рис. 5. Основные типы парков по функциональному назначению

## Литература:

1. Кравченко С. Н. Ландшафтное проектирование в условиях крайнего севера и Сибири // Художественное пространство XXI века: проблемы и перспективы. Нижневартонск, 2021. 40–47 с.
2. Маннапов И. И., Новикова М. М. Реновационное проектирование общественных парков в городах крайнего севера (Западная Сибирь) // Интерактивная наука. Чебоксары, 2019. 47–49 с.
3. Носова К. А. Роль ландшафта в жизни человека // Научно-исследовательский центр «Technical innovations». Самара, 2022. 435–441 с.
4. Слюзов С. С., Сухарев М. С. Окружающая среда и психосоматическое здоровье человека // Молодой учёный № 45 М.: 2022. 257–260 с.
5. Сродных Т. Б. Состояние озеленения в городах на севере Западной Сибири // ИВУЗ. Лесной журнал № 36. Архангельск, 2005. 65–74 с.
6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99\* (с Изменениями N1, 2) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 04.06.2019)
7. Трофимова М. П. Влияние ландшафтов на здоровье человека // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. Новосибирск, 2019. 54–58 с.

## Использование цифровых технологий для непрерывного улучшения строительных процессов

Кенжебеков Адилет Мухтарулы, студент магистратуры  
Казахская головная архитектурно-строительная академия (г. Алматы, Казахстан)

*Индустрия 4.0 является первой промышленной революцией, о которой было объявлено априори, и поэтому существует значительная двусмысленность, связанная с термином и тем, что он на самом деле влечет за собой. Этот документ направлен на то, чтобы дать четкое определение цифровизации, ключевому фактору Индустрии 4.0, и проиллюстрировать, как ее можно использо-*

вать для улучшения, предлагая цикл улучшения и соответствующую типологию цифровизации. Эти инструменты могут использоваться организациями для управления процессами усовершенствования, фокусируясь на новых возможностях, предоставляемых огромными объемами данных, доступных в настоящее время. Использование инструментов иллюстрируется представлением четырех сценариев управления Канбан, где каждый сценарий отображается в соответствии с его уровнем цифровизации.

**Ключевые слова:** цифровизация, оцифровка, Индустрия 4.0, цикл улучшения, бережливое производство

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В отличие от трех предыдущих промышленных революций, Индустрия 4.0 является первой, о которой априори объявляют. Хотя это прекрасная возможность сформировать и оптимизировать решения до того, как они будут полностью выпущены, отсутствие эмпирических данных делает исследование сугубо теоретическим, и в литературе существует множество разногласий и расхождений относительно того, что такое Индустрия 4.0 и из чего она состоит. Различные точки зрения в различных исследованиях привели к появлению в литературе более 100 различных определений Индустрии 4.0. Регулярно предлагаются новые определения Индустрии 4.0, и между ними можно обнаружить большие различия как в семантике, так и в содержании. Как правило, определения могут незначительно меняться со временем. Необходимость предлагать новые определения и не соответствовать частично или полностью существующим определениям приводит к предположению, что до сих пор нет единого мнения об Индустрии 4.0.

С другой стороны, возможно, еще слишком рано давать определение Индустрии 4.0. Хотя мы можем найти пилотные проекты Индустрии 4.0, некоторые утверждают, что нам нужно ждать годы, а может быть, даже десятилетия, прежде чем мы увидим «настоящие» умные фабрики, как это предусмотрено Индустрией 4.0. Некоторая двусмысленность в концепциях также может быть ценной, поскольку она позволяет практикующим специалистам гибко адаптировать концепцию к конкретной ситуации. Учитывая высокую скорость, с которой развивается Индустрия 4.0, можно утверждать, что определять ее сейчас бессмысленно, поскольку это будет просто изображение движущейся мишени, т.е. действительное только в определенный момент времени.

Тем не менее, эта двусмысленность в определениях затрудняет согласование исследований в этой области, а также усложняет для практиков понимание того, что влечет за собой Индустрия 4.0 и как добиться этого перехода. Отсутствие четкого и согласованного определения приведет к эмпирической проверке неточной и неточной концепции, и, следовательно, результаты эмпирической проверки вносят незначительный вклад и препятствуют академическому прогрессу. Для исследователей в области Индустрии 4.0 важно как можно раньше решить эту проблему двусмысленности и стандартизировать определение, свести масштабы и синтезировать цели Индустрии 4.0. Германн и др. (2016) подчеркивает текущую двусмысленность термина «Индустрия 4.0» и предлагает четыре принципа проектирования, которые помогут специалистам-практикам и ученым приблизиться к «Индустрии 4.0». Отмечают оцифровку процессов и продуктов как ключевой фактор,

способствующий Индустрии 4.0. Другие называют полную цифровизацию одним из основных элементов Индустрии 4.0, обеспечивающим интеллектуальное планирование и контроль производственных процессов и сетей. Однако, как и в случае с Индустрией 4.0, в исследованиях существует значительная неопределенность в отношении того, что влечет за собой цифровизация, какие шаги необходимо предпринять, чтобы ее достичь, и как измерить прогресс на пути к ней. Для измерения и оценки процессов в организациях модели зрелости были популярным инструментом среди ученых в течение многих лет и, как правило, основаны на заранее определенном описании лучшего в своем классе с заранее описанными этапами на пути к достижению высшего уровня. Хотя модель зрелости может быть полезным инструментом в условиях, когда конечная цель и лучшее в своем классе четко определены, использовать модель зрелости в новой области проблематично из-за очевидной неопределенности в отношении того, что является лучшим в своем классе. собственно влечет. Поэтому разработка модели зрелости для цифровизации — это в лучшем случае условное предположение, в значительной степени основанное на представлении исследователя об идеальном состоянии.

В этой статье предлагается разбить путь к улучшению процессов за счет цифровизации на пять четко определенных шагов, образующих цикл улучшения. Использование этой точки зрения позволяет избежать упомянутых выше возможных проблем предвзятости и обеспечивает четкую дорожную карту для перехода к более высокой степени цифровизации процессов. В этом документе будет представлен предлагаемый цикл улучшения вместе с типологией цифровизации для классификации различных этапов цикла. После этого демонстрируется использование цикла и обсуждаются возможные области использования этого цикла.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА

### 2.1. Разъяснение цифровизации, цифровизации и цифровой трансформации

Следуя предсказаниям закона Мура, теперь доступно аппаратное обеспечение с такой вычислительной мощностью по такой доступной цене, что оно обеспечивает повсеместные вычисления, предсказанные Марком Вайзером (1991). Этот аспект является одним из триггеров тенденции повышения уровня интеграции ИКТ, широко известной как «четвертая промышленная революция». Это приводит к резкому увеличению количества исследовательских работ, в которых говорится о таких терминах, как цифровизация, цифровизация и цифровая трансформация. Некоторые используют эти термины взаимозаменяемо, в то время как другие утверждают, что между ними

есть существенная разница. Эта двусмысленность смущает читателя, неуверенного в том, считает ли автор эти термины взаимозаменяемыми или нет. Целью данной статьи является представление определений этих трех понятий, занимающих центральное место в последних технологических достижениях, влияющих на все сферы бизнеса.

Шумахер и др. (2016) подчеркивают некоторую путаницу в отношении терминов оцифровка и цифровизация. Анализируя литературу, они утверждают, что, хотя оцифровка связана с преобразованием аналоговых сигналов в цифровые вместе с их хранением и передачей, оцифровка описывает эффекты, воздействия и последствия, вызванные доступностью цифровой информации. Таким образом, они считают цифровизацию и цифровую трансформацию эквивалентными (Schumacher et al., 2016), в то время как другие авторы не проводят различия между цифровизацией и цифровизацией. Хан (2016) представляет некоторые разногласия в литературе отно-

сительно разъяснения оцифровки, цифровизации и цифровой трансформации. Мы предполагаем, что существует необходимость дальнейшего разграничения этих трех терминов. Точное определение этих терминов поддерживает конструктивную обоснованность исследований в этой области.

На основании литературных данных мы предлагаем следующие определения:

— Оцифровка: Преобразование аналогового формата в цифровой формат.

— Цифровизация: использование цифровых данных и технологий для автоматизации обработки данных и оптимизации процессов.

— Цифровая трансформация: создание новых возможностей для бизнеса за счет использования цифровых данных и технологий.

На рис. 1 дополнительно показаны отношения между этими тремя терминами.

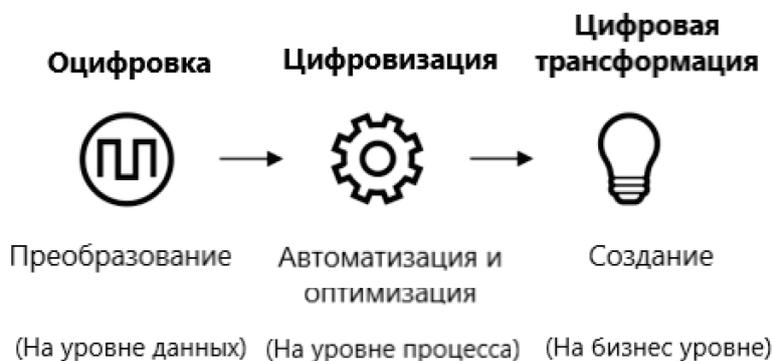


Рис. 1. Оцифровка, цифровизация и цифровая трансформация

Ряд моделей зрелости для цифровизации и промышленности 4.0 предлагались последние несколько лет. Примеры включают Модель зрелости системной интеграции Индустрии 4.0 и Оценочную карту оценки технологической зрелости IoT, составленную. Оба они должны использоваться на общем уровне бизнеса, и им не хватает надлежащих эмпирических доказательств того, что характеризует лучшие в своем классе организации. Это значительный разрыв между оценками высокого уровня в этих моделях и фактическими усилиями по цифровизации, которые необходимы для его достижения. В этом документе предлагается измерять конкретные процессы в зависимости от того, как они используют цифровизацию для улучшения своих процессов с помощью интуитивно понятного цикла улучшения.

## 2.2. Циклы улучшения

Постоянное совершенствование необходимо для каждой организации, стремящейся оставаться конкурентоспособной. Циклы улучшения дают дисциплинированную и структурированную основу для постоянного улучшения. Циклы улучшения можно сравнить с циклами управления в промышленных системах управления, которые непрерывно собирают информацию для управления процессами для достижения конкретной цели.

На протяжении многих лет было предложено несколько циклов улучшения: PDCA (планируй — делай — проверяй — действуй), DMAIC (определяй — измеряй — анализируй — улучшай — контролируй), IDEA (исследуй — проектируй — выполняй — корректируй), 8D (Bicheno). и RADAR (Sokovic et al., 2010) являются одними из ярких примеров.

Циклы улучшения могут использоваться как всеобъемлющий и стандартизированный метод для достижения улучшений в организациях. Хотя они кажутся простыми, они являются мощными инструментами, и PDCA считается основой производственной системы Toyota (Bicheno and Holweg, 2009).

## 3. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование, представленное в этой статье, использовало концептуальный исследовательский подход. Работа мотивирована существующей литературой и известными проблемами, связанными с последними тенденциями цифровизации и Индустрии 4.0. Общие черты и возможности, представленные существующими исследованиями, были адаптированы в перспективе цикла совершенствования посредством использования философской концептуализации.

#### 4. ЦИКЛ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ. ОБЪЯСНЕНИЕ

Конкурентоспособность современной бизнес-среды постоянно растет, и способность к постоянному совершенствованию является ключевым фактором успеха. Стремясь оставаться конкурентоспособными, организации вкладывают значительные средства в развитие своей цифровой инфраструктуры. ИКТ-решения могут обеспечить как экономию средств, так и новые возможности для бизнеса. В качестве «побочного продукта» этих решений создаются большие объемы неструктурированных данных, которые часто не используются в дальнейшем для улучшения. Эти неиспользуемые данные обычно называются «пустыми данными». Было указано, что наличие больших объемов «неиспользуемых данных» является важной частью внедрения Индустрии 4.0. Увеличение вычислительной мощности расширило возможности использования анализа больших данных для обнаружения закономерностей и возможностей улучшения из наборов данных, в которых человек не обязательно нашел бы закономерность. Это основа любой модели, управляемой данными. Однако, даже если в некоторых случаях будет доказано, что анализ больших данных применим, его реализация все еще недостаточна. В этом разделе представлен цикл улучшения процессов на основе данных и его связь с новой тенденцией цифровизации. В этом разделе представлены пять шагов цикла улучшения (раздел 4.1), а также возможные различные состояния для каждого шага (раздел 4.2).

##### 4.1 Пять шагов

###### Шаг 1: Сбор данных

Вам всегда нужны данные для поддержки принятия решений. Как правило, данные могут собираться спорадически, периодически или непрерывно. Данные могут отображаться в физическом или цифровом формате и могут быть собраны с вмешательством человека или без него. Данные могут быть получены различными способами, например, посредством измерения, счета, чтения и т. п. Собранные данные дают вам информацию о сегодняшней ситуации и текущем состоянии ключевых переменных. Таким образом, предполагается, что вы знаете, что представляют собой эти ключевые переменные, и что для этой цели организованы датчики или другие средства получения данных. Этот шаг получает входные данные и преобразует их в совместно используемые данные.

###### Шаг 2. Поделиться

После того, как данные собраны, ими необходимо распределить с нужными участниками, которые будут обрабатывать эти данные дальше. Данные могут быть распределены по-разному; от бумажных документов между людьми до цифровой передачи между машиной и облачным сервером. Основой совместного использования данных является обмен данными один на один между отправителем и получателем. Технологические достижения последних лет расширили возможности обмена данными. Повышение скорости подключения и обмена данными привело к повышению доступности данных. Шаг совместного

использования описывает, каким образом происходит обмен данными между различными участниками.

###### Шаг 3: Анализ

Этап анализа связан с процессом проверки данных, очистки, преобразования и моделирования с целью обнаружения полезной информации. Проверка данных — это первый контроль качества, независимо от того, могут ли данные быть прочитаны в первую очередь или нет. Очистка данных проверяет данные на наличие ошибок с точки зрения полноты. Он обнаруживает и устраняет ошибки и несоответствия в данных для улучшения качества данных. Часть преобразования данных — это подход к поиску детерминированной математической функции для каждой точки в наборе данных. Наконец, моделирование данных анализирует объекты данных и их отношения с другими объектами данных. Он начинается с разработки концептуальной модели, определяющей, как данные связаны друг с другом, а затем переносится в математическую модель.

###### Шаг 4: Оптимизация

Шаг оптимизации представляет собой процесс корректировки изменения заданного набора параметров для поиска оптимального или близкого к оптимальному решения без нарушения каких-либо ограничений. Основой для процесса оптимизации является математическая модель, созданная на шаге 3. Поскольку мощность компьютеров с годами росла в геометрической прогрессии, теперь можно использовать более совершенные алгоритмы оптимизации. При увеличении вычислительной мощности качество решения возрастает. Тем не менее, для получения быстрых результатов и отклика выгодно использовать модели, требующие небольших вычислительных усилий. Результаты этапа оптимизации являются основой для принятия решения об улучшении, которое на следующем этапе необходимо снова интегрировать в систему.

###### Шаг 5: Обратная связь

Анализ собранных данных и обнаружение возможностей улучшения бесполезны, если они не используются в процессе. Результаты и информация на этапе оптимизации должны быть преобразованы, переданы и внедрены, чтобы обеспечить обратную связь с процессом.

Цикл улучшения процесса на основе данных проиллюстрирован на рис. 2.

##### 4.2. Типология цифровизации

В то время как промышленность традиционно делала упор на автоматизацию физических процессов, четвертая промышленная революция фокусируется на автоматизации информационных процессов и их интеграции с физическими процессами посредством использования киберфизических систем (CPS). CPS — это «автоматизированные системы, позволяющие связать операции физической реальности с вычислительной и коммуникационной инфраструктурой». В связи с возрастающей степенью оцифровки процессов каждый шаг в цикле улучшения может быть отображен в соответствии с двумя измерениями: формат данных и обработка данных. Размеры приведены в виде матрицы 2x2 в таблице 1.



Рис. 2. Цикл улучшения процесса на основе данных

Формат данных: данные обычно представлены либо в цифровом, либо в нецифровом формате. Очевидными преимуществами обработки данных в цифровом формате являются, среди прочего, повышенная гибкость, скорость и доступность, а также снижение переменных затрат. С другой стороны, нецифровой формат также имеет некоторые преимущества, такие как простота использования и отсутствие склонности к системным сбоям.

Обработка данных: Цикл также различается в зависимости от того, выполняется ли шаг вручную или автоматически. В ручных операциях люди играют роль в завершении и обеспечении завершения шага. Если шаг полностью автоматизирован и автономен, вмешательство человека не требуется.

Два измерения показаны в таблице 1. Каждый из шагов цикла улучшения может находиться в одном из этих четырех состояний. Состояние 1 представляет собой традиционные бумажные ситуации, характеризующиеся большой долей ручной обработки данных. Состояние 2 может быть эффективным, но по своей сути негибким. Состояние 3 оцифровало поток данных с очевидными преимуществами, связанными, например, с затратами, временем и гибкостью. Однако вмешательство человека все же необходимо. Состояние 4 представляет собой ситуацию, когда данные являются цифровыми и обрабатываются автоматически, что является шагом к включению процессов самооптимизации.

Таблица 1. Типология цифровизации

		Формат данных	
		Не цифровые	Цифровые
Обработка данных	Автоматизированный	Состояние 2: «Определенный»	Состояние 4: «Цифровизованный»
	Ручной	Состояние 1: «Скомплектованный»	Состояние 3: «Оцифровка»

#### 4.3. Пример — Канбан

В этом разделе будет использоваться хорошо известный инструмент бережливого производства Канбан в качестве примера того, как процесс управления может быть отобразен с использованием методов, описанных в этой статье. Канбан используется в качестве сигнала в производстве по

вытягиванию, сигнализируя рабочей станции о том, что они должны поставлять материалы на другую рабочую станцию, расположенную ниже по течению процесса. Мы представляем четыре разных канбан-сценария, каждый из которых образует отдельный уровень в зависимости от степени их цифровизации. В этом разделе кратко представлен каждый из уровней.

*Уровень 1: традиционный канбан на основе физических карт*  
 Канбан-система традиционно в значительной степени описывается на физические данные. Хотя эти карты интуитивно понятны и просты для понимания, с ними есть некоторые проблемы и ограничения. Способность работать с большим количеством вариантов, отсутствие гибкости и риск потери фактических карточек являются одними из проблем, с которыми сталкиваются традиционные системы канбан. Если говорить о цикле улучшения процесса на основе данных, то все пять шагов выполняются как вручную, так и в физическом формате. В большинстве случаев выполняются только первые два шага путем сбора данных о материалах, которые нуждаются в пополнении, а затем передачи их на предыдущую рабочую станцию. Как правило, эти данные редко используются для завершения цикла улучшения путем анализа частоты сигналов Канбан и оптимизации количества карточек Канбан и размеров корзин.

*Уровень 2: электронный канбан*

Электронная система Канбан, известная как e-Kanban, способна решать и решать некоторые задачи, обычно связанные с физическими карточками Канбан. Электронная передача сигнала Канбан также делает его более применимым для межзаводских поставок. Однако, даже если система сейчас цифровая, процесс передачи Канбанов по-прежнему ручной. Как правило, сотруднику по-прежнему приходится вручную проверять, когда требуется пополнение материала (сбор), а затем отправлять Канбан, обычно путем сканирования штрих-кода или ввода его вручную в компьютерную систему (совместное ис-

пользование). Анализ и оптимизация также обычно выполняются вручную.

*Уровень 3: Автономный Канбан*

Возможность автоматизировать принятие решения о пополнении и передачу сигнала Канбан практически автоматизирует цикл Канбана. Промышленным примером автономной системы Канбан является система iBin, поставленная Wurth, представленная в Kolberg et al. (2017). Этот бункер автоматически записывает уровень материала и отправляет его в систему управления запасами. Исходя из этого, заказы автоматически отправляются поставщикам по мере необходимости (Kolberg et al., 2017). Однако, даже если цикл Канбан является автономным, это не означает, что он постоянно совершенствуется автоматически. Количество карточек и размеры корзины по-прежнему фиксированы, что может привести к нехватке материалов, или, в противоположном случае, материалы могут тратить чрезмерное количество времени на промежуточные запысы, останавливая попытки сократить время обработки.

*Уровень 4: Самооптимизирующийся Канбан*

Самооптимизирующийся процесс Канбан, основанный на автономной системе Канбан, может не только автономно запустить цикл Канбан, но и использовать собранные данные для анализа и определения приоритетов улучшений. Самооптимизирующаяся система Канбан самостоятельно регулирует размер корзины, а также количество карточек в обращении в соответствии с заранее определенными показателями производительности, такими как стоимость, время выполнения и т.п.

Таблица 2. Сравнение сценариев Канбана (см. Таблицу 1 для объяснения различных состояний)

	Сбор данных	Распределение	Анализ	Оптимизация	Обратная связь
<b>Уровень 1: Традиционный канбан</b>	Состояние 1	Состояние 1	Состояние 1	Состояние 1	Состояние 1
<b>Уровень 2: Электронный канбан</b>	Состояние 3	Состояние 3	Состояние 3	Состояние 3	Состояние 3
<b>Уровень 3: Автономный Канбан</b>	Состояние 4	Состояние 4	Состояние 3	Состояние 3	Состояние 3
<b>Уровень 4. Самооптимизирующийся Канбан</b>	Состояние 4	Состояние 4	Состояние 4	Состояние 4	Состояние 4

**5. ОБСУЖДЕНИЕ**

Мы предполагаем, что организации получают наибольшую выгоду от цифровизации, когда все пять шагов в представленном цикле усовершенствования будут и цифровыми, и автоматическими (состояние 4). Процессы могут быть частично или полностью оцифрованы, но пока цикл не завершается автоматически, весь потенциал цифровизации не реализуется. Организации могут использовать цикл улучшения процессов на основе данных как часть своей цифровой трансформации. Цикл улучшения процессов на основе данных актуален как для практиков, так и для ученых. В этом разделе описаны некоторые из возможных областей его использования.

*Картирование и измерение уровней цифровизации*

Как упоминалось ранее, не существует установленной модели того, как можно измерить степень цифровизации процесса. Цикл улучшения процессов на основе данных представляет собой простой подход для иллюстрации и измерения усилий организации по цифровизации своих процессов. Метод подчеркивает важность оцифровки и оцифровки не просто так, а концентрации этих усилий на реальном улучшении процессов. Цикл улучшения процессов на основе данных подчеркивает, что усилия по цифровизации должны быть направлены на выполнение пяти шагов, необходимых в любом режиме непрерывного совершенствования.

### Руководство по приоритизации улучшений

Подобно моделям зрелости, процесс, отображаемый в соответствии с циклом улучшения процессов на основе данных, четко указывает области улучшений, в данном случае области для повышения уровня цифровизации. Таким образом, он создает дорожную карту процесса цифровизации. Подобно PDCA, он используется для отдельных процессов, и организациям будет полезно разработать общую бизнес-структуру для координации отдельных проектов по улучшению. Также важно распознавать шаги, необходимые для внедрения новых технологий, такие как стратегическое планирование, обоснование, обучение и установка в дополнение к фактическому внедрению. Метод, представленный в этой статье, сам по себе не указывает, как должен происходить переход к цифровизации, а просто указывает на потенциальные области цифровизации. Этот метод может использоваться как часть более всеобъемлющей методологии внедрения новой технологии, такой как метод APROS (выбор проекта автоматизации).

### План улучшения

Организация обычно начинает с такой цели оптимизации, как повышение производительности или снижение затрат. Цикл улучшения процесса на основе данных предоставляет интуитивно понятный интерфейс для разработки системы непрерывного улучшения конкретной переменной. В этих случаях цикл следует проходить в обратном направлении, начиная с определения целей оптимизации. Затем следует разработать процесс анализа, указав, какие данные следует собрать, чтобы облегчить улучшения. Последние шаги заключаются в планировании того, как данные могут быть предоставлены и собраны соответственно. Такой образ мышления может быть особенно полезен для малых и средних предприятий, чьи огра-

ниченные финансовые ресурсы вынуждают организации прагматично оценивать, какие данные собирать. Таким образом, это «вытягивающий» способ мышления, требующий конкретных данных, а не «нажимать», когда вы пытаетесь найти возможности улучшения из любых предоставленных данных.

## 6. ВЫВОДЫ

В этом документе представлен цикл улучшения процессов на основе данных, метод картирования и направления усилий по цифровизации. Далее в нем подчеркиваются некоторые различия в литературе относительно определений, связанных с Индустрией 4.0, и представляются некоторые проблемы, к которым может привести эта двусмысленность.

Кроме того, проводится четкое различие между оцифровкой, цифровизацией и цифровой трансформацией, что полезно для обеспечения достоверности конструкции в будущих исследованиях в этой области.

Предлагаемый цикл улучшения отличается от более ранних циклов улучшения тем, что в нем выделяются необходимые шаги для усилий по улучшению, основанных на данных. Он универсален в том смысле, что не ограничивается конкретными цифровыми технологиями, а фокусируется на функциональности используемых решений в отношении формата данных и степени автоматизированной обработки данных. Представленные примеры из управления Канбан иллюстрируют, как этот инструмент можно использовать в практических ситуациях.

Цикл улучшения может также применяться в других контекстах, чтобы классифицировать степень цифровизации стадий процесса. Использование цикла «план улучшения» также представляет собой новый и интуитивно понятный метод для организаций, чтобы направлять свои усилия по цифровизации.

Будущие исследовательские усилия должны быть сосредоточены на проверке модели в эмпирических условиях

### Литература:

1. Технология BIM: единая модель и связанные с этим заблуждения [Электронный ресурс]: Интернет-портал: Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы.— Режим доступа: [https://stroim.mos.ru/builder\\_science/tiekh-nologhiibim-iedinaiamodiel-i-sviazannyye-s-etimzabluzhdeniia](https://stroim.mos.ru/builder_science/tiekh-nologhiibim-iedinaiamodiel-i-sviazannyye-s-etimzabluzhdeniia)
2. Зарипова А. В., Хабибуллин А. Э. Применение BIM технологий в строительстве: Россия и зарубежный опыт // Экономика и предпринимательство.— 2017.— № 8-2 (85).— С. 1151-1156.
3. План по внедрению инноваций в отечественном строительном секторе отведена особая роль в задачах, поставленных Первым Президентом — Елбасы Н. А. Назарбаевым в Посланиях народу Казахстана (от 10 января 2018 года «Новые возможности развития в условиях четвертой промышленной революции».
4. Концепция внедрения технологии информационного моделирования в промышленное и гражданское строительство Республики Казахстан от 2017 года.
5. План мероприятий по внедрению технологии информационного моделирования при проектировании объектов строительства (BIM-технологий), утвержденный приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 11 апреля 2017 года № 197 (с изменениями, внесенными приказом № 139 от 27 февраля 2018 года).
6. Проектирование с применением BIM технологий [Электронный ресурс]: Интернет-портал: Проектное бюро «ВЕЛЕС». — Режим доступа: <https://www.bimtechnology.pro/konceptsiiproektirovanija-sprimeneniem-bim>
7. Дронов Д. С., Киметова Н. Р., Ткаченко В. П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия наук.— 2017.— № 10.— С. 529-549.
7. Григорьев, С. Н. Перспективы развития аддитивного производства в России и за рубежом / С. Н. Григорьев, И. Ю. Смуров // Инновации.— 2013.— № 10(180).— С. 76-82.
8. Гусаков, А. А. Системотехника строительства / А. А. Гусаков.— Москва: Стройиздат, 2004.— 368 с.

9. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, С. А. Веремеенко, А. В. Гинзбург; под ред. А. А. Гусакова. — Москва: SvR-Аргус 1994. — 472 с.
10. Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): a literature review. *Integrated Manufacturing Systems*, 12 (1), 35–47.
11. Alfnes, E., Thomassen, M. K. & Bostad, M. (2016) Comparing Techniques for Selecting Automation Technology. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, Iguassu Falls, Brazil. 371–378.
12. Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 Revolution and the Future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3 (4), 16–21.
13. Buer, S.-V., Strandhagen, J. O. & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*. doi: 10.1080/00207543.2018.1442945
14. Bonekamp, L. & Sure, M. (2015). Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation. *Journal of Business and Media Psychology*, 6 (1), 33–40.
15. Bicheno, J. & Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox*, PICSIE Books, Buckingham.

## Анализ статических и динамических характеристик рамной балки, усиленной углепластиком на основе ANSYS

Ли Ци, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*Для исследования статических и динамических характеристик рамной балки, армированной углепластиком, была создана трехмерная конечно-элементная модель с помощью программного обеспечения FEM ANSYS. Рамная балка в неармированном, армированном углепластике и предварительно напряженном армированном углепластике была соответственно подвергнута статическому и модальному анализу. Исследование показало, что пластик, армированный углеродным волокном, может значительно улучшить предельную несущую способность рамной балки. Предварительно напряженный углепластик оказывает большое влияние на собственную частоту вибрации рамной балки и значительно улучшает жесткость рамной балки; обычная углепластиковая арматура едва ли может улучшить сейсмические характеристики рамной балки, тогда как предварительно напряженный углепластик может значительно улучшить уровень горизонтальной сейсмической эффективности рамной балки; при проектировании следует руководствоваться критерием сейсмического проектирования «сильная колонна и слабая балка».*

**Ключевые слова:** Ansys, углеродное волокно, предварительно напряженная, рамная балка, динамическая реакция, анализ методом конечных элементов.

## Static and Dynamic Characteristics Analysis on Frame Beam Reinforced with Carbon Fiber Reinforced Plastic Based on ANSYS

Li Tsi, student master's degree  
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

*To study the static and dynamic characteristics on frame beam reinforced with carbon fiber reinforced plastic, the three-dimensional finite element model was established by the FEM soft - ware ANSYS, when the frame beam in unreinforced, ordinary carbon fiber reinforced and prestressed carbon fiber reinforced has respectively carried on the static analysis, modal analysis and time history analysis. Research showed that carbon fiber reinforced plastics could significantly improve the ultimate bearing capacity of the frame beam, but could be reduced to a corresponding the ductility of the frame beam, prestressed carbon fiber reinforced had great effects on the natural frequency of vibration of frame beam and greatly improved the rigidity of frame beam, ordinary carbon fiber reinforcement could hardly improve the seismic performance of frame beam, whereas the prestressed carbon fiber reinforced plastics could significantly improve the level of frame beam of horizontal seismic performance, the seismic design criterion of «strong column and weak beam» should be followed in design.*

**Keywords:** Ansys, carbon fiber, prestressed, frame beam, dynamic response, finite element analysis.

Проектирование, строительство, старение, стихийные бедствия и многие другие причины приводят к тому, что несущая способность и устойчивость конструкции не соответствуют реальным требованиям и поэтому неизбежно требуют ремонта

и укрепления. Существует много различных способов усиления балок в машиностроении, таких как увеличение сечения, добавление растягивающей арматуры, предварительное напряжение арматуры, внешнее плакированное стальное армирование, армирование углеродным волокном и торкретирование [1].

Ткань из углеродного волокна широко используется в области инженерного обеспечения и армирования благодаря своей высокой прочности и легкому весу, хорошей приспособляемости, удобству конструкции, простоте обеспечения качества, низким эксплуатационным расходам и высокой эффективности армирования [2]. Некоторые ученые провели нелинейный анализ характеристик повреждения при изгибе железобетонных балок, усиленных тканью из углеродного волокна, а также предельной несущей способности балок и вторичных силовых характеристик изгибаемых элементов на основе экспериментов для изучения факторов, влияющих на изгибные характеристики усиленных балок, и предложили полезные рекомендации [3–5]. Однако многие исследовательские работы ограничиваются экспериментальным и принципиальным анализом, а дискретный характер экспериментальных данных и проблемы финансирования в значительной степени ограничивают процесс исследования. Поэтому можно провести конечно-элементное моделирование сдвиговой несущей способности железобетонных балок из FRP, и результаты моделирования находятся в хорошем согласии с экспериментальными результатами, что указывает на то, что программное обеспечение конечных элементов может хорошо моделировать механические характеристики реальной конструкции [6]. Анализ сейсмических характеристик железобетонных каркасных конструкций и узлов, армированных углеволокном арматурой, с использованием конечных элементов показал, что нагрузка текучести и предельная несущая способность боковых узлов железобетонного каркаса, армированных углеволокном, значительно увеличились, а высокая прочность и высокая эластичность углеволокном ткани способствовали увеличению жесткости узлов [7]. Однако существует относительно небольшое количество исследований сейсмостойкости и мер сейсмического проектирования для определения общих сейсмических характеристик рамных балок и колонн. Поэтому в данной работе, с помощью крупной коммерческой программы конечных элементов Ansys, будет создана модель железобетонной рамной балки с использованием подхода раздельного моделирования. Динамические и статические механические свойства рамной конструкции без армирования, с обычным армированием углеволокном и с предварительно напряженным армированием углеволокном рассчитаны соответственно, а кривые прогиба рамной балки под статической нагрузкой получены для сравнения ее статической несущей способности, а также ее пластичности.

## 1. Расчетная модель и выбор параметров

### 1.1. Вычислительное моделирование

Была выбрана рамная железобетонная балка. Для того чтобы убедиться, что конфигурация арматуры рамной балки соответствует требованиям норм, конструкция была рассчитана

с помощью программы PKPM, как указано в литературе [8], с общей высотой 1. 875 м и шириной 2. 600 м. Чистый пролет балки составил 1. 800 м, ширина фланцев на обоих концах — 0. 200 м, размеры поперечного сечения балки — 125 мм × 200 мм, а размеры поперечного сечения колонны — 200 мм × 125 мм. Размеры поперечного сечения балки составляют 125 мм × 200 мм, а размеры поперечного сечения колонны — 200 мм × 125 мм. Для построения конечно-элементной модели использовалось программное обеспечение Ansys, а для построения железобетонной конструкции рамной балки использовался раздельный подход к моделированию. Бетон моделировался с помощью программного обеспечения Ansys специально для железобетона с использованием ячеек Medium Solid65, а арматура — с использованием ячеек Pipe16. Блок углеродного волокна представляет собой блок Shell41, который имеет общие узлы с блоком Solid65 для связи степеней свободы. Для определения его толщины используется реальная константа, а предварительное напряжение прикладывается к углеродному волокну методом повышения температуры [9]. Поскольку коэффициент температурного линейного расширения ткани из углеродного волокна отрицательный, значение температуры можно определить из уравнения (1). В то же время, для предотвращения концентрации напряжений, которые могли бы повредить сходимости последующих расчетов [10], в верхней части колонн были добавлены две подкладки, которые, вместе с фундаментами, были сделаны с помощью трехмерного твердотельного блока Solid45. Общая конечно-элементная модель рамной балки, армированной углеродным волокном, и форма армирования углеродным волокном показаны на рисунке 1. 5130 узлов и 5008 ячеек были разделены с учетом сходимости, точности и эффективности расчетов.

$$\Delta t = \sigma / E / \alpha_{cf} \quad (1)$$

где  $\Delta t$  — изменение температуры,  $\sigma$  — приложенное предварительное напряжение,  $E$  — модуль упругости углеродного волокна,  $\alpha_{cf}$  — коэффициент линейного расширения углеродного волокна.

### 1.2. Эксплуатационные параметры материала

Конструкция выполнена из товарного бетона марки C30. Армирование балок: 2 куса арматуры  $\phi 10$  на верхнем и нижнем уровнях, обручи  $\phi 6$  двуплечие с шагом 100 мм, оба класса HPB235 (класс I), армирование колонн: класс HRB335 (класс II) арматура  $\phi 14$  на углах, обручи с тем же шагом, что и у балок, 100 мм, арматурный каркас балок показан на рис. 2. В качестве углеродных волокон используются углеродные волокна FAW200 толщиной 0. 17 мм, а соответствующие параметры для всех материалов приведены в таблице 1.

## 2. Результаты расчетов и анализ

### 2.1. Статический анализ

Модели конечных элементов были разработаны для рамных балок L0 без армирования, L1 с обычным армированием углеволокном и L2 с предварительно напряженным армированием

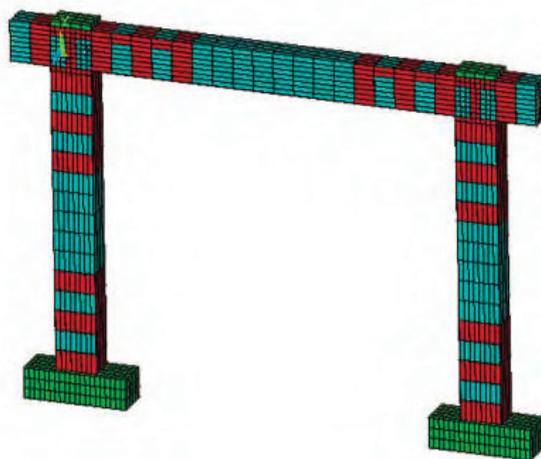


Рис. 1. Интегральная конечно-элементная модель балки рамы

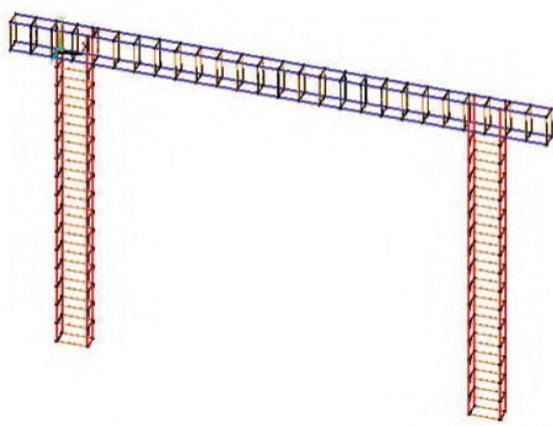


Рис. 2. Арматурный каркас каркасной балки

Таблица 1. Параметры материала

Материалы		коэффициент Пуассона	Модуль упругости/ МПа	Предел текучести/ МПа	Пределная прочность/МПа
арматура	Ф6	0.30	$2.1 \times 10^5$	552.5	650.0
	Ф10	0.30	$2.1 \times 10^5$	347.8	356.7
	Ф14	0.30	$2.1 \times 10^5$	470.0	470.0
бетон		0.20	$3.2 \times 10^4$		
Углеродное волокно		0.17	$2.9 \times 10^5$		

Примечание: Прочность бетона на растяжение составляет 2,51 МПа, а прочность на сжатие 20,9 МПа. Коэффициент передачи сдвига при растрескивании составляет 0,5, а коэффициент передачи сдвига при раздавливании 0,98. Коэффициент линейного расширения углеродного волокна составляет  $0.75 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , а предел прочности на разрыв 3200 МПа.

углеволокном. Поскольку единственным различием между балкой L0 и балкой L1 является наличие или отсутствие ячеек углеродного волокна Shell41, для повышения эффективности моделирования сначала создается конечно-элементная модель балки L1, а затем команда EKILL с «сырыми и мертвыми» ячейками используется для уничтожения смоделированных ячеек углеродного волокна Shell41, чтобы превратить ее в конечно-элементную модель балки L0. Одновременно прикладывая

температурную нагрузку к элементу Shell41 модели L1, что вызывает соответствующее предварительное напряжение в углеродном волокне, ее можно превратить в конечно-элементную модель балки L2. Это значительно снижает трудоемкость моделирования, повышает эффективность и простоту в эксплуатации.

Чтобы смоделировать реальный сценарий силы в балке рамы, сосредоточенная нагрузка 11.85 кН была приложена к концам

каждой из двух колонн, чтобы смоделировать нагрузку, передаваемую на колонны от надстройки, и эта нагрузка присутствовала все время. Для того чтобы предотвратить чрезмерную концентрацию напряжений, которая затруднила бы сходимость расчета, на концах двух колонн были добавлены 2 подкладки жесткости, и сосредоточенные нагрузки были приложены к подкладкам.

В этом расчете предварительное напряжение 200 МПа было приложено к углеродным волокнам балки L2 с помощью метода разогрева. К балке L0, балке L1 и балке L2 была приложена постоянно изменяющаяся равномерная нагрузка, соответственно, и были рассчитаны соответствующие прогибы в пролете балок, соответствующие результаты были извлечены и построены в виде кривых нагрузка — прогиб в пролете, см. рис. 3.

Видно, что кривые нагрузки-среднего прогиба для каждой балки следуют одной и той же тенденции, причем все балки проходят 3 примерно одинаковые стадии упругой деформации, усиленной текучести и разрушения.

На этапе упругой деформации кривая представляет собой прямую наклонную линию, и на этом этапе в бетоне образуются трещины. Первая точка перегиба кривой для балки L0 и балки L1 примерно одинакова, т.е. нагрузки равны в начале процесса растрескивания, обе составляют 17.15 кН, в то время как первая точка перегиба кривой для балки L2 соответствует нагрузке 20.10 кН, что на 17.2% выше по сравнению с балкой L0 и балкой L1. Видно, что обычная углепластиковая арматура не улучшает трещиностойкость рамных балок, в то время как предварительно напряженная углепластиковая арматура увеличивает ее примерно на 17.2%.

Наивысшие точки кривых нагрузки — прогиба в середине пролета для трех балок соответствуют предельной несущей способности и предельному прогибу балок рамы. Предельные несущие способности балок L0, L1 и L2 составляют 39,86, 45,06 и 48,75 кН соответственно, а предельные прогибы — 1,77, 1,62 и 1,68 мм соответственно. По сравнению с балкой L0, предельная несущая способность балки L1 увеличилась на 13,05%, а предельный прогиб уменьшился на 8,47%, в то время как предельная несущая способность балки L2 увеличилась на 22,30%, а предельный прогиб уменьшился на 5,08%. Видно, что балки, армированные углеродным волокном, несомненно, могут значительно увеличить предельную несущую способность балок, особенно предварительно напряженных углеволоконной арматурой, но хорошо видно, что их предельный прогиб уменьшается, что означает, что пластичность балки будет снижена в той или иной степени, что не способствует обнаружению ранних признаков повреждения в каркасных балках и предотвращению и контролю структурных катастроф.

2.2. Модальный анализ

Собственная частота конструкции является неотъемлемым свойством самой конструкции, которое будет иметь огромное влияние на сейсмические характеристики конструкции. Поэтому модальный анализ был проведен для балок L0, L1 и L2 соответственно, чтобы извлечь их первые 5 порядков колебаний, как показано в таблице 2.

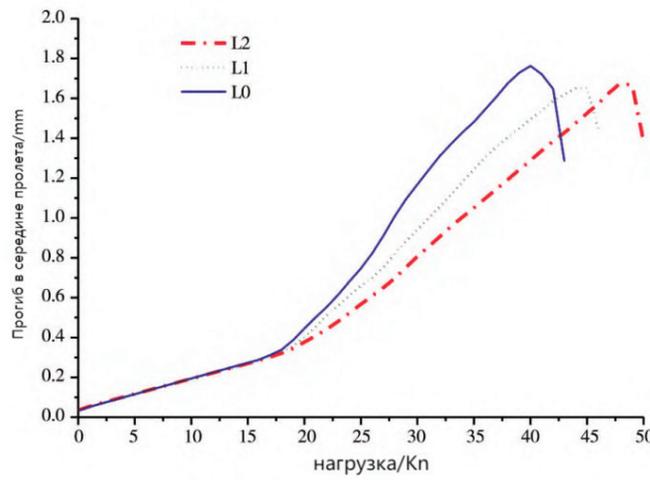


Рис. 3 Кривая прогиба под нагрузкой в среднем пролете

Таблица 2. Частоты автоколебаний структуры

Проекты	Шаг 1	Шаг 2	Шаг 3	Шаг 4	Шаг 5
Частота L0/Hz	13.914	27.385	36.781	77.350	121.080
Частота L1/Hz	14.165	27.940	37.609	78.308	123.050
Увеличение частоты L1/%	1.80	2.03	2.25	1.24	1.63
Частота L2/Hz	15.026	30.041	40.765	81.999	130.160
Увеличение частоты L2/%	7.99	9.70	10.83	6.01	7.05

Из таблицы видно, что разница в частоте между первыми пятью шагами для каркасной балки L1 и балки L0 с обычным армированием углеродным волокном составляет всего около 2%, этого следовало ожидать, поскольку масса балки L1 увеличивается только по сравнению с массой балки L0, а само углеродное волокно не настолько массивно, чтобы оказывать меньшее влияние на общие силы конструкции и, следовательно, меньше влиять на частоту. Изменение балки L2 по отношению к L0 это не только увеличение массы углеродных волокон, но и большое изменение состояния каркасной балки из-за предварительного напряжения самих углеродных волокон, так что влияние на частоту очень значительное, с увеличением на 6–11%. Уравнение (2) показывает, что большее увеличение частоты связано с большим увеличением жесткости балки L2 по сравнению с балкой L0, в то время как увеличение жесткости балки L1 меньше.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (2)$$

где  $\omega$  — частота автоколебаний конструкции,  $K$  — жесткость конструкции,  $M$  — масса конструкции. — масса конструкции.

### 3. Вывод

– Обычные рамные балки, армированные углеродным волокном, не увеличивают способность рамных балок к растрескиванию, но могут увеличить предельную несущую способ-

ность на 13,05%, предварительно напряженные рамные балки, армированные углеродным волокном, могут не только увеличить нагрузку на растрескивание примерно на 17,2%, но и увеличить предельную несущую способность на 22,30%. Использование углеволоконной арматуры, особенно предварительно напряженной углеволоконной арматуры, может значительно увеличить статическую предельную несущую способность рамных балок.

– Использование каркасных балок, армированных углеродным волокном, в той или иной степени снижает пластичность каркасных балок, и ранние признаки структурного повреждения нелегко обнаружить, что наносит ущерб предотвращению и контролю структурных опасностей.

– Обычные каркасные балки, армированные углеродным волокном, оказывают небольшое влияние на собственные частоты автоколебаний, предварительно напряженные конструкции из углеродного волокна будут оказывать большее влияние на частоты, увеличивая их на 6–11%, значительно повышая общую жесткость каркасной балки.

– Из-за сложности моделирования армирования углеволокном, такой как определение метода анкеровки и количества слоев армирования, скольжение углеродных волокон, потеря предварительного напряжения, скольжение арматуры и т.д., трудно добиться точного моделирования армирования углеволокном, поэтому необходимо усилить исследования в этой области.

### Литература:

1. ANSYS numerical simulation study of CFRP reinforcement of reinforced concrete beams / Gao, F. Y, Tang, F. Z. — Текст: непосредственный // Journal of Huaiyin Engineering College. — 2011. — № 20(3). — С. 43–46.
2. Qu, Z. S. Application of carbon fibre fabric for concrete reinforcement construction process / Z. S. Qu, B. D. Zhao. — Текст: непосредственный // Journal of Shenyang University. — 2003. — № 15(2). — С. 68–69.
3. Wu, G. Experimental study of carbon fibre cloth for flexural strengthening of reinforced concrete beams / G. Wu, L. An, C. T. Lu. — Текст: непосредственный // Building construction. — 2000. — № 30(7). — С. 3–10.
4. Zhao, Shaowei Overall seismic performance of reinforced concrete frames after strengthening based on ANSYS / Shaowei Zhao, Zhanyuan Liu, Rong Guo. — Текст: непосредственный // Journal of Tianjin Urban Construction Institute. — 2012. — № 18(3). — С. 169–173.
5. Shang, Shouping Nonlinear analysis of flexural performance of prestressed carbon fiber fabric reinforced concrete beams / Shouping Shang, Hui Peng, Linghong Zeng. — Текст: непосредственный // Engineering Mechanics. — 2006. — № 23(11). — С. 85–90.
6. Wan, Jun ANSYS finite element analysis of CFRP fabric reinforced RC beams / Jun Wan, Gusheng Tong, Jian Zhu. — Текст: непосредственный // Journal of Jiangxi Science and Technology Teacher's College. — 2005. — № 4. — С. 73–76.
7. [Liu, Fulin Numerical simulation of carbon fiber reinforced concrete frame structures / Fulin Liu, Changbo Song, Guanghai Zhang. — Текст: непосредственный // Construction Technology Development. — 2009. — № 36. — С. 17–21.
8. Wang, Xinling Experimental study on the seismic performance of intact concrete frame structures reinforced with carbon fiber cloth / Xinling Wang, Juntao Zhu, Lin Lv. — Текст: непосредственный // Journal of Zhengzhou University (Engineering Edition). — 2008. — № 29. — С. 81–85.
9. Zeng, Xiangrong Nonlinear finite element analysis of prestressed carbon fiber cloth reinforced concrete beams / Xiangrong Zeng, Shiyong Jiang, Jin Chen. — Текст: непосредственный // Journal of the College of Logistics Engineering. — 2004. — № 3. — С. 38–47.
10. Liu, Q. Countermeasures to simulate convergence problems in FRP-reinforced RC beams using ANSYS / Q. Liu, P. Zeng, JR Ye. — Текст: непосредственный // Industrial Building. — 2008. — № 38. — С. 204–208.

## Анализ и сравнение методов укрепления слабого грунта

Петров Кирилл Евгеньевич, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*Рассмотрены три метода укрепления слабых грунтов, их особенности, технологические решения, преимущества и недостатки, приведены примеры их использования в строительстве, выполнен сравнительный анализ представленных методов укрепления слабых грунтов.*

**Ключевые слова:** слабый грунт, метод укрепления, геосетка, инъекционное укрепление, свайное укрепление.

Строительство на слабых грунтах всегда является вызовом для инженеров и строителей, а слабый грунт как таковой — одной из основных проблем при строительстве любых объектов в условиях местности, где они распространены. В связи с этим возникает необходимость применения методов укрепления, которые позволяют усилить и устранить недостатки слабых грунтов, повысить их несущую способность и устойчивость.

Технологические решения методов укрепления слабых грунтов играют ключевую роль в данной области и их значимость только увеличивается в связи с развитием строительной отрасли.

Существует несколько методов укрепления слабых грунтов, которые позволяют снизить риски и обеспечить безопасную эксплуатацию сооружений на таких участках.

**Первый метод** — это укрепление грунта при помощи **геосеток**. Это материалы из полимеров, которые раскрываются и увеличивают площадь контакта грунта с окружающей средой. Они эффективно стабилизируют слабые грунты, которые подвержены размыванию и эрозии.

**Второй метод** — это **инъекционное** укрепление грунта. Этот метод заключается в том, что в слабый грунт вводятся специальные составы, которые затвердевают и уплотняют его. Таким образом, создается плотный слой, который не подвержен деформации и неустойчивости.

**Третий метод** — это укрепление грунта при помощи **свай**. Это самый распространенный метод в строительстве на слабых грунтах. Свайные фундаменты создают устойчивую основу для сооружений, за счет забивания свай в грунт на глубину, достаточную для обеспечения необходимой нагрузки.

Таким образом, методы укрепления слабых грунтов в строительстве позволяют снизить риски и обеспечить безопасную эксплуатацию сооружений на таких участках. Однако, перед выбором метода необходимо учитывать глубину и состояние грунта, а также конструктивные особенности сооружения.

В данной статье мы рассмотрим и сравним данные перспективные методы укрепления слабых грунтов и их особенности.

Рассмотрим подробно каждый метод укрепления слабого грунта для возведения различных объектов.

**Технология укрепления грунта с помощью геосеток** заключается в установке сетки на поверхность грунта или внедрении ее в грунт на определенную глубину. Затем сетка закрепляется в грунте с помощью крепежных элементов, таких как кольца или штыри. Главная цель этого метода — создать прочное устойчивое решение, которое сможет распределять нагрузку на всю площадь конструкции.

Основными требованиями к геосеткам в зависимости от применяемого материала являются:

- водостойкость;
- биостойкость;
- стойкость к действию кислотных и щелочных сред, возможных в условиях эксплуатации;
- светостойкость;
- механические свойства волокон.

Геосетки широко используются в дорожном строительстве для усиления различных элементов дорожной инфраструктуры. Они используются для укрепления нижних слоев дорожных покрытий, укрепления обочин, усиления асфальтобетонных покрытий, укрепления земляного полотна и обеспечения устойчивости откосов.

Главной целью применения геосеток в нижних слоях дорожных покрытий является усиление несущего основания из зернистых материалов или покрытий переходного типа для увеличения сроков службы полотна.

Армирующие прослои на основе геосеток и геокомпозитов используются для замедления трещинообразования и увеличения межремонтных сроков службы дорожного покрытия.

Геосетки также применяются для усиления земляного полотна при наличии слабых оснований или переувлажненных связных грунтов, что улучшает условия производства работ, сокращает расход и потери материалов, сокращает сроки для устройства покрытия.

Кроме того, геосетки используются для укрепления откосов земляного полотна и усиления грунтового массива, что повышает местную и общую устойчивость.

Особенности метода укрепления грунта с помощью геосеток:

- Не требует значительных затрат на материалы и оборудование.
- Позволяет улучшить грунт, обеспечивая дополнительную прочность конструкции.
- При использовании геосеток, возможно сохранение натуральных ландшафтов и биотопов.

**Технология инъекционного метода** укрепления заключается в пропитывании пор грунта раствором или заполнение трещин и пустот в коренной породе, чтобы они со временем затвердели, повысив механические свойства грунта и снизив его проницаемость. Для этого в грунте бурится отверстие, через которое в коренную породу закачивается химический или цементный раствор, который распространяется на определенное расстояние от отверстия и заполняет поры и трещины. По мере затвердевания раствора грунт становится более прочным и во-

донепроницаемым, что позволяет проводить работы в благоприятных инженерно-геологических условиях.

Данный метод может применяться при строительстве подземных сооружений в стесненных условиях современных городов, когда в большинстве случаев требуется проведение мероприятий по обеспечению устойчивости грунта, а также прилегающих зданий, подземных сооружений и линий электропередач. А также когда строительные работы необходимо проводить в сложных инженерно-геологических условиях, таких как: водонасыщенные, рыхлые и неустойчивые песчаные или глинистые грунты, зыбучие пески или мягкие пластичные глины.

— Особенности метода инъекционного укрепления грунта:  
— Эта методика укрепления используется для таких грунтов, которые не могут быть усилены другими методами.

— Процесс инъекционного укрепления грунта является эффективным решением проблемы с обвалами поверхности грунта.

— При помощи инъекционного укрепления, возможно заменять вырванные фрагменты грунта или породы.

**Укрепление грунта с помощью свай** — это процесс, который позволяет улучшить стабильность и несущую способность грунта в конкретном районе благодаря использованию стальных или бетонных свай.

Технологию процесса:

1. Изучение участка: перед началом работ необходимо провести геодезическое и геотехническое исследование участка, чтобы определить характеристики грунта, его свойства и глубину расслаивания.

2. Выбор типа свай: на основе изучения геотехнического отчета, проектировщик принимает решение о том, чтобы использовать стальные или железобетонные сваи.

3. Установка свай: сваи вкалываются в грунт с помощью специализированного оборудования. При необходимости верхняя часть сваи может быть оставлена выше земли и использована в качестве фундамента для здания.

4. Укрепление: после установки свай, они обрабатываются специальными материалами, чтобы защитить их от влияния воды и других агрессивных факторов.

**Общий анализ:** В конце процесса вновь проводится анализ геотехнического состояния участка, чтобы убедиться в эффективности укрепления и безопасности всей конструкции. Таким образом, укрепление грунта с помощью свай является долгосрочным и эффективным способом повысить стабильность строительных объектов на земле, улучшить их надежность и продлить эксплуатационный срок.

Метод укрепления слабого грунта с помощью свай может использоваться в дорожном строительстве при неблагоприятных климатических условиях, таких как вечная мерзлота.

Для таких условий было разработано новое проектное решение для сокращения стоимости и сроков строительства дорог на слабых грунтах. Это решение характеризуется тем, что вместо замены слабых слоев грунта в его слое устанавливаются двухконусные сваи, разработанные на кафедре «Дорожные мосты» Пермского национального исследовательского и технологического университета (ПНИПУ) [5], которые передают нагрузку от насыпи и веса транспорта на прочный массив грунтовых пород.

Сваи характеризуются устойчивостью к морозному разрушению благодаря своей уникальной геометрии, которая не изменяет их проектного положения, в отличие от свай с прямоугольного сечения, которые выступают на 6–10 см в год на проезжую часть. По этой причине квадратные столбчатые сваи не исполь-

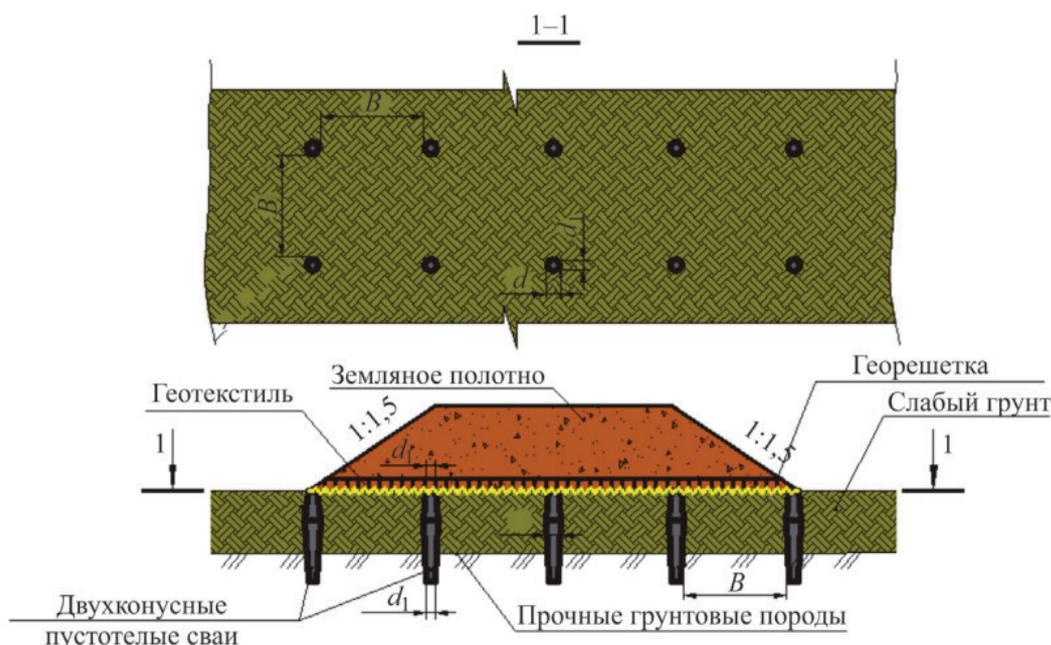


Рис.1. Земляное полотно на ленточном свайном фундаменте из двухконусных свай:  $d_1$  и  $d$  — геометрические характеристики сваи, соответственно диаметры оголовков и диаметр сопряжения плоскостей верхнего и нижнего конусов сваи;  $B$  — расстояние между сваями в свету по диаметрам сопряжения плоскостей верхнего и нижнего конусов сваи. [4, с. 8]

зовались при строительстве дорог на грунтах, подверженных сезонному промерзанию и состоящих из слабой водонасыщенной глины. Из вышеизложенного видно, что биконические сваи могут быть использованы в дорожном строительстве в качестве ленточных свайных фундаментов. Конструкция земляного подпорного сооружения на ленточном свайном фундаменте с использованием биконических свай показана на рисунке 1.

Особенности метода укрепления грунта с помощью свай:

- Это один из самых распространенных способов укрепления грунта.
- При помощи свай, возможно укреплять грунт, находящийся в сложных условиях или при повышенных нагрузках.
- Свайные технологии имеют очень широкий и обширный спектр применений.

В данной статье мною было рассмотрено три метода укрепления слабого грунта, такие как укрепление геосеткой, инъекционное укрепление и укрепление с помощью свай. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, и выбор нужного метода должен основываться на ряде факторов, например,

на типе грунта, геометрии участка, глубине закладки и технической сложности работ.

Укрепление геосеткой является экономически выгодным методом, который позволяет усилить грунтовую основу и увеличить ее деформационную жесткость. В то же время, этот метод может ограничивать доступ к зоне укрепления после завершения работ и восстановление грунта может занять продолжительное время.

Инъекционное укрепление является быстрым методом, который позволяет усилить слабый грунт в труднодоступных местах. Однако этот метод может требовать высокой точности и опыта у исполнителя.

Укрепление с помощью свай является наиболее надежным и проверенным методом, который позволяет устранить деформации и обеспечить стабильность основания. Однако этот метод может быть дорогим, требовать большого объема работ и занимать продолжительное время.

В целом, выбор оптимального метода укрепления слабого грунта должен основываться на анализе всех факторов и требований к конкретному участку строительства.

Литература:

1. Филатова, А. А. Использование геосеток / А. А. Филатова, С. С. Веклов.— Текст: непосредственный // Пути улучшения качества автомобильных дорог.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014.— С. 199–201.
2. Ярмолинский, В. А. Применение армирующих геосеток при усилении асфальтобетонных покрытий / В. А. Ярмолинский, А. С. Жуков, Н. М. Титаев.— Текст: непосредственный // Международный сборник научных трудов.— Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017.— С. 119–123.
3. Инъекционные способы усиления грунтов оснований зданий и сооружений в городских условиях / А. О. Сагыбекова, Б. А. Абиев, А. Г. Белов [и др.].— Текст: непосредственный // Вестник Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета.— 2019.— № 4.— С. 217–222.
4. Дегтярь, А. А. Конструкция земляного полотна на слабых пучинистых грунтах / А. А. Дегтярь, Б. С. Юшков.— Текст: непосредственный // Транспорт, транспортные сооружения, экология.— 2014.— № 4.— С. 6–26.
5. Пат. 42234 РФ, МПК E02D5/30. Свая / Б. С. Юшков, А. О. Добрынин, Д. С. Репецкий.— № 2004121946/22; заявл. 20.07.04; опубл. 27.11.04, Бюл. № 33; Приоритет 20.07.2004.

## Использование инновационных технологий устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения

Толстых Анастасия Михайловна, студент;  
Таперин Денис Владимирович, студент;  
Пыхтин Андрей Алексеевич, студент;  
Русанов Дмитрий Иванович, студент;  
Кешелян Давид Арутюнович, студент

Научный руководитель Толмачева Валерия Михайловна, кандидат биологических наук, доцент  
Юго-Западный государственный университет (г. Курск)

*Статья рассматривает вопрос использования инновационных технологий устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения. В статье описываются различные типы модульных систем, их преимущества и возможности, такие как улучшение внутренней среды здания и здоровья людей, повышение эстетической привлекательности здания, а также упрощение ухода за растениями. В статье также рассмотрены «умные» модульные системы, оснащенные датчиками влажности, температуры и уровня CO<sub>2</sub> в помещении, их преимущества и возможности управления через мобильное приложение. В целом, статья представляет значимость и актуальность использования инновационных технологий для создания уникальных и экологически чистых стеновых покрытий.*

**Ключевые слова:** озеленение, стеновые покрытия, модульные системы, системы озеленения.

## Use of innovative wall covering technologies with modular landscaping systems

The article considers the use of innovative technologies for the installation of wall coverings with modular landscaping systems. The article describes various types of modular systems, their advantages and opportunities, such as improving the internal environment of the building and the health of people, increasing the aesthetic appeal of the building, as well as simplifying the care of plants. The article also discusses «smart» modular systems equipped with sensors for humidity, temperature and CO<sub>2</sub> levels in the room, their advantages and control capabilities via a mobile application. In general, the article presents the importance and relevance of using innovative technologies to create unique and environmentally friendly wall coverings.

**Keywords:** landscaping, wall coverings, modular systems, landscaping systems.

### Введение

Стеновые покрытия являются одним из основных элементов зданий, которые могут в значительной степени влиять на качество внутренней среды и эстетическую привлекательность здания. С развитием технологий, появилась возможность создания стеновых покрытий с модульными системами озеленения, которые сочетают в себе функциональность и эстетическую привлекательность [2, с. 206].

Преимущества использования модульных систем озеленения:

1. Эстетическая привлекательность. Одним из основных преимуществ модульных систем озеленения является их эстетическая привлекательность [3, с. 294–300]. Они создают зеленый уголок в помещении, что улучшает качество внутренней среды и создает благоприятную атмосферу для работы или отдыха. Кроме того, они способствуют улучшению воздухообмена в помещении, что может повысить здоровье людей, работающих или живущих в здании [4, с. 90–97].

2. Использование в различных типах зданий. Еще одним преимуществом модульных систем озеленения является возможность использования их в различных типах зданий, включая офисы, жилые дома, торговые центры и даже обще-

ственные здания. Они могут быть установлены как внутри здания, так и снаружи, в зависимости от конструктивных особенностей здания [9, с. 263].

### Основная часть

Существует несколько инновационных технологий, которые могут быть использованы для устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения.

Одним из примеров является система гидропоники, которая использует специальную систему полива и подкормки растений, не требующую почвы. Эта система позволяет выращивать растения в закрытом помещении, включая офисы, где нет доступа к естественному свету. Также гидропоническая система требует меньше воды, чем обычное выращивание растений [6, с. 26–29].

Еще одной инновационной технологией является использование специальных модульных систем, которые могут быть легко установлены на стену. Эти системы обычно включают в себя отдельные ячейки для выращивания растений, систему полива и дренажную систему для удаления излишков воды. Также многие из этих систем оснащены системой освещения, которая обеспечивает необходимый уровень освещенности для растений [10, с. 349–355].



Рис. 1. Пример использования модульной системы озеленения



Рис. 2. Система гидропонии



Рис. 3. Пример использования специальных модульных систем

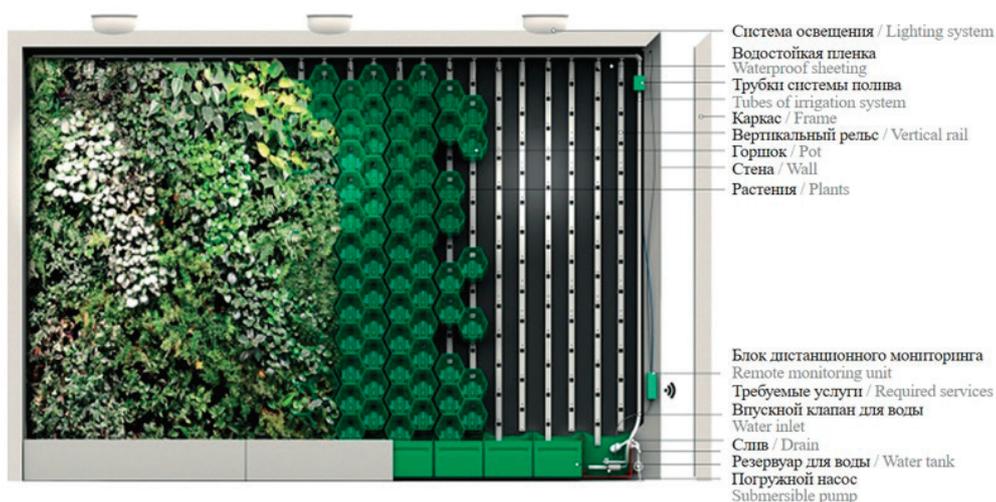


Рис. 4. Пример использования «умных» модульных систем озеленения



Рис. 5. Здание бизнес-центра «Аврора» изнутри

Еще одним инновационным решением является использование «умных» модульных систем озеленения, которые оснащены датчиками влажности, температуры и уровня  $\text{CO}_2$  в помещении [1, с. 6–8]. Эти системы могут автоматически регулировать полив и освещение, основываясь на изменениях в окружающей среде и потребностях растений. Кроме того, они могут быть управляемы через мобильное приложение, что позволяет пользователям контролировать состояние своих растений из любой точки мира [8, с. 98–103].

Один из примеров использования инновационных технологий устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения в России — это здание бизнес-центра «Аврора», расположенного в Москве.

Стены здания покрыты модульными системами озеленения, включающими в себя отдельные ячейки для выращивания растений, систему полива и дренажную систему для удаления излишков воды. Эти системы обеспечивают улучшение внутренней среды здания, повышение эстетической привлекательности и улучшение здоровья людей, работающих в здании.

Кроме того, система оснащена «умными» модульными системами озеленения, оснащенными датчиками влажности, температуры и уровня  $\text{CO}_2$  в помещении. Эти системы авто-

матически регулируют полив и освещение, основываясь на изменениях в окружающей среде и потребностях растений. Также пользователи могут управлять системой через мобильное приложение, что обеспечивает удобство и эффективность использования [5, с. 13–15].

Здание бизнес-центра «Аврора» — это яркий пример использования инновационных технологий устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения в России, что подчеркивает значимость и актуальность этого подхода для создания уникальных и экологически чистых зданий.

### Заключение

Использование инновационных технологий устройства стеновых покрытий с модульными системами озеленения может принести большие выгоды для зданий и людей, живущих и работающих в них. Эти системы не только улучшают внутреннюю среду и эстетическую привлекательность здания, но и способствуют повышению качества воздуха и здоровья людей. Кроме того, инновационные технологии, такие как системы гидропоники и «умные» модульные системы, могут значительно упростить уход за растениями и сделать использование этих систем еще более эффективным и удобным [7, с. 59–71].

### Литература:

1. Грабовый П. Г., Манухина Л. А. Национальная стратегия внедрения энергоресурсов и экологически безопасных (зеленых) технологий и производств в строительство и ЖКХ / П. Г. Грабовый. Недвижимость: экономика, управление. 2014. № 1–2. с. 6–8.
2. Князева В. П. Экологические аспекты выбора строительных материалов в архитектурном проектировании / В. П. Князева: учеб. пособие. М.: Архитектура. 2019. — с. 206.
3. Король Е. А., Киселев И. Я., Шушунова Н. С. Реконструкция предприятий текстильной промышленности с использованием кровельных покрытий с системами озеленения / Е. А. Король. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3 (375). с. 294–300.
4. Теличенко В. И., Слесарев М. Ю. «Зеленая» стандартизация будущего — фактор экологической безопасности среды жизнедеятельности / В. И. Теличенко. Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. с. 90–97.

5. Король О. А. Исследования и наукоемкие разработки в области энергоэффективного строительного производства / О. А. Король. Строительные материалы. 2015. № 6. с. 13–15.
6. Лукинов В. А., Дьяков И. Г. Рейтинговая оценка энергосберегающих проектов с использованием технологий «зеленого строительства» / В. А. Лукинов. Недвижимость: экономика, управление. 2015. № 2. с. 26–29.
7. Лапидус А. А., Жунин А. А. Моделирование и оптимизация организационно-технологических решений при возведении энергоэффективных ограждающих конструкций в гражданском строительстве / А. А. Лапидус. Вестник МГСУ. 2016. № 5. с. 59–71. DOI: 10.22227/1997–0935.2016.5.59–71.
8. Синенко С. А., Славин А. М. К вопросу выбора оптимального организационно-технологического решения возведения зданий и сооружений / С. А. Синенко. Научное обозрение. 2016. № 1. с. 98–103.
9. Шрейдер К. А. Технология производства ремонтно-строительных работ / К. А. Шрейдер. М.: АСВ, 2014. с. 263.
10. Шушунова Н. С. Анализ технологических параметров при устройстве инверсионных кровельных покрытий с озеленением / Н. С. Шушунова. Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 3 (114). с. 349–355. DOI: 10.22227/1997–0935.2018.3.349–355.

## Качество поверхности монолитных конструкций в летний и зимний периоды бетонирования

Уваров Георгий Дмитриевич, студент магистратуры;  
Бравый Александр Юрьевич, студент магистратуры;  
Богданов Артем Сергеевич, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В статье выполнен анализ качества поверхности монолитных конструкций, бетонизируемых в зимнее время, в контексте технологии зимних бетонных работ. Проанализированы соответствия требованиям нормативных документов и рассмотрены в этом контексте технологии работ. Особое внимание уделяется различным типам палуб, влияющих на текстуру будущей поверхности, а также рассмотрен контроль качества опалубочных работ.*

**Ключевые слова:** качество работ, поверхность монолитных конструкций, зимнее бетонирование, опалубка, монолитное строительство, категория поверхности, типы палуб, опалубочные работы.

Монолитные технологии широко применяются не только летом, но и в зимних условиях, как в новом строительстве, так и при реконструкции зданий, особенно при замене перекрытий и усилении кирпичных колонн и стен.

К преимуществам монолитной технологии возведения зданий можно отнести следующее:

- невысокая сложность работ;
- производство всего цикла работ на строительной площадке;
- производство работ в стесненных условиях городской застройки [7,8].

И все же главным достоинством монолитной технологии в сравнении со с возведением зданий из сборных конструкций является возможность придания поверхностям стен, колонн и покрытий сложных форм с лицевой поверхностью высокого качества как в летний период, так и в зимнее время.

В то же время объемно-планировочные и фасадные решения могут обладать архитектурной гибкостью и пластичностью, что расширяет возможность использования железобетона при условии повышения функциональных свойств опалубки [1,2,3]. Уже сегодня в мире доля монолитного домостроения составляет не менее 55%, а в зимнее время выполняются бетонные работы более чем на четверти от этого количества объектов [4]. Рост объемов монолитного строительства

связан в первую очередь с появлением водостойкой фанеры и сборно-щитовой опалубки на ее основе, а также с развитием технологий зимнего бетонирования [5,6]. Однако, фанерная опалубка пригодна в основном для монолитных конструкций с плоской поверхностью среднего качества [9].

Регламентируется качество бетонных поверхностей сводом правил — СП 70.13330.2012. В таблицах 1 и 2 приведены нормативные требования свода правил к классу А3 (поверхность с повышенными требованиями к внешнему виду) и А4 (поверхность, подготовленная под отделку).

Приведенные в таблицах требования к качеству поверхности не исключают необходимость проведения отделочных работ. Что бы добиться высокого качества лицевой поверхности необходимо применять:

- смазочные составы для опалубки;
- пластифицирующие добавки в бетонную смесь;
- новые пластиковые опалубки.

Различные типы палуб и их влияние на лицевую поверхность приведены в таблице 3.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время возрастает актуальность «безотделочной» технологии возведения монолитных конструкций, однако нормативные документы, действующие в России, не опре-

Таблица 1. Классы бетонных поверхностей

Класс бетонной поверхности	Допуски прямолинейности для измеряемых расстояний, мм			
	местные неровности (0,1 м)	1 м	2 м	3 м
A3	2	4.5	7	9.5
A4	3	7.5	10.5	14

Таблица 2. Параметры лицевых поверхностей

Класс бетонной поверхности	Допуски, мм			
	Раковины		Сколы	
	Диаметр	Глубина	Глубина	Суммарная длина на 1 м
A3	4	2	5	50
A4	10	2	5	50

Таблица 3. Типы палуб и их влияние на лицевую поверхность бетона

Тип палубы	Цвет бетона	Текстура бетона
Доска пиленая	темный (после неск. циклов — светлее)	Грубая дощатая текстура; На поверхности могут оставаться волокна древесины; Практически нет пор
Доска строганая	Темный (после неск. циклов — светлее)	Гладкая поверхность с отчетливой древесной текстурой; Небольшое количество пор
Доска профилированная	Темный	Сильно выраженная древесная текстура, углубления в бетоне; Поры отсутствуют
Плиты из древесных материалов	Темный	Шероховатая поверхность; Возможны пятна; Поры практически отсутствуют
Плита DOKA 3-SO 21 или 27 мм	Светлый	Гладкая поверхность с неярко выраженной дощатой текстурой; Поры практически отсутствуют
Плита Doka 3-S plus 21 или 27 мм	Светлый	Гладкая матовая поверхность; Обычное количество пор
ProFrame-панель 21 или 27 мм	Светлый	Гладкая матовая поверхность; Неглубокий оттиск пластмассовой окантовки; Обычное количество пор
Конструктивная плита Doka 3-SO 21 или 27 мм	Светлый	Вид дощатой обшивки благодаря прорезным продольным пазам (образуются рельефные швы); Обычное количество пор
Dokaplex — опалубочная плита / многослойная плита	Светлый	Гладкая неструктурированная поверхность; Обычное количество пор
Xlife-плита 21 мм	Светлый	Гладкая поверхность; Обычное количество пор
Матрицы	Светлый	Может обеспечить различные текстуры; Обычное количество пор
Стальной и алюминиевый лист	Светлый	<b>Гладкая поверхность;</b> <b>Обычное количество пор</b>

деляют соответствующие ей требования, то есть необходимо вводить новые методики и требования к контролю качества данной технологии.

2. Лицевую поверхность, не требующую дополнительной отделки, можно получить, используя специальные типы палуб, смазочные составы и подстилающие растворы.

3. Особое внимание стоит уделить виду используемой палубы. На рынке уже представлен ряд палуб, позволяющих получить высокий класс лицевой поверхности.

4. Немаловажную роль играет контроль качества работ, выполняемых на строительной площадке, особенно в зимнее время.

#### Литература:

1. Рыбнов Е. И., Егоров А. Н., Хайдуцкий З., Гдимиян Н. Г. Организация и планирование работы производственных структур при крупномасштабном жилищном строительстве // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3(68) с. 98–102
2. Дроздова, И. В. Влияние строительного комплекса на развитие Санкт-Петербургской агломерации / И. В. Дроздова, Г. Ф. Токунова, О. А. Жлудова // Вестник гражданских инженеров. — 2017. — № 6 (65). — С. 339–343.
3. Головина с. Г., Сокол Ю. В. К вопросу исследования совместной работы строительных материалов в наружных ограждающих конструкциях в бывших доходных домах исторического центра Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2018 № 3 (68). С. 112–117
4. Judina, A. (2020) Non-reagent methods for the activation of concrete mix raw components in the construction industry, *Architecture and Engineering*, 5 (1), pp. 30–35, DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-30-35
5. Евтюков с. А., Тилинин Ю. И., Щербаков А. П. К вопросу автоматизации процессов монолитного домостроения с учетом исследования конструкционных сталей в строительной робототехнике // Вестник гражданских инженеров. — 3 (74). — С 72–79. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-3-72-79>
6. Yudina A., Oganyan R. Technology of winter concreting of monolithic constructions with application of heating cable, *Architecture and Engineering*. 2017. Т. 2. № 2. С. 43–48
7. Гайдо А. Н. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, Я. В. Иванов. — СПб.: СПбГАСУ, 2014. — 368 с.
8. Гайдо А. Н., Верстов В. В. К вопросу определения технологических параметров производства свайных работ в стесненных условиях // Вестник гражданских инженеров. — 2017–3 (62). С. 84–94. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-3-84-94>
9. Юдина А, Ф., Пономарев М. Ю. Параметры определения оценки качества поверхности при «безотделочной» технологии возведения монолитных конструкций, Вестник гражданских инженеров. № 5, 2018, С. 98–105

## Виды несъемной опалубки и ее применение в монолитном строительстве

Фролова Анастасия Владимировна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В современном мире присутствует значительное количество различных видов опалубки и способов ее устройства в монолитных конструкциях. Поэтому, в процессе строительного производства часто встает вопрос о выборе самого рационального и практичного вида опалубки. В данной статье представлена информация о несъемной опалубке, которая является инновационным решением в строительстве. Значительное внимание уделяется видам, сферам применения и отличиям данного вида опалубки от остальных. В статье показано, какой материал для несъемной опалубки применяется чаще всего, а также какие преимущества и недостатки имеет данная конструкция, в сравнении с другими видами опалубки.*

**Ключевые слова:** несъемная опалубка, монолитное строительство, виды несъемной опалубки, преимущества несъемной опалубки, недостатки несъемной опалубки, опалубка из арболита, опалубка из пенополистирола.

## Types of fixed formwork and its application in monolithic construction

Chakhkiev Islam Musaevich, candidate of technical sciences, associate professor;

Frolova Anastasiya, student

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

*In the modern world, there is a significant number of different types of formwork and ways to arrange it in monolithic structures. Therefore, in the process of construction production, the question often arises of choosing the most rational and practical type of formwork. This article provides information about fixed formwork, which is an innovative solution in construction. Considerable attention is paid to the types, areas of application*

and differences between this type of formwork and the rest. The article shows which material for fixed formwork is most often used, as well as what advantages and disadvantages this design has in comparison with other types of formwork.

**Keywords:** fixed formwork, monolithic construction, types of fixed formwork, advantages of fixed formwork, disadvantages of fixed formwork, wood concrete formwork, expanded polystyrene formwork.

Монолитное бетонное и железобетонное строительство в современном мире позволяет создавать конструкции любой сложности с повышенными конструктивными характеристиками благодаря своим технологическим особенностям. Эффективность монолитного строительства во многом зависит от совершенствования опалубочных систем. Опалубочные системы — сложные конструкции, состоящие из формообразующих, поддерживающих, соединительных, технологических и других элементов [1].

Опалубка ускоряет и упрощает строительство за счёт объединения нескольких этапов строительства в один технологический цикл. Качество опалубки напрямую влияет на качество формирующегося объекта и внешний вид бетонной конструкции здания. Поэтому при строительстве монолитных зданий и сооружений зачастую встает вопрос о выборе основной вспомогательной конструкции для устройства стен, перекрытий, колонн и других составляющих элементов здания.

Современные виды опалубки могут иметь различные конструктивные характеристики, предназначаться для разных климатических условий эксплуатации и отвечать различным требованиям по оборачиваемости (возможности повторного использования). Одним из наиболее прогрессивных и перспективных видов является несъёмная опалубка. Главная отличительная черта данной системы — несъёмная опалубка после схватывания в ней бетона становится частью конструкции здания. Это обеспечивает точность и прочность бетонной конструкции, а также ускоряет процесс строительства.

Технология возведения строительных конструкций с использованием несъёмной опалубки более 30 лет успешно применяется в западных странах. В России дома из несъёмной опалубки стали востребованы и строятся уже около 10 лет [2].

Усилия разработчиков и производителей опалубок сконцентрированы не только на создании эффективных опалубочных систем, но и на снижении стоимости как самих опалубок за счёт повышения их оборачиваемости, использования долговечных и легких материалов, так и в комплексе всех бетонных работ.

Несъёмная опалубка чаще всего несет двойную функцию — при бетонировании конструкции она является формообразующим элементом, а после этого остается частью возведенной конструкции, внося новые свойства: теплоизоляционные, гидроизоляционные и др. Главным плюсом данного вида опалубки для рабочих, находящихся непосредственно на строительной площадке, является сокращение строительно-монтажных работ по демонтажу и распалубке, а также, соответственно, минимизацией строительных отходов. Также видимым преимуществом можно отметить то, что работы по электромонтажу выполняются при создании стен и перекрытий, что исключает повреждения проводки в процессе эксплуатации [3].

Существует несколько видов несъёмной опалубки, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки:

**Опалубка из деревянной фанеры.** Характеризуется большой шириной панели, плоской поверхностью и большой несущей способностью. Они изготавливаются из дерева и обладают высокой прочностью и устойчивостью к влаге. Деревянные панели легко устанавливаются и снимаются. Они также могут быть легко обрезаны и изменены в размере, что делает их очень удобными в использовании. Однако деревянные панели могут быть менее прочными, чем металлические или бетонные, и могут требовать дополнительного ухода и обслуживания.

**Стальная опалубка из металлических щитов.** Это современная технология опалубки, обладающая преимуществами высокой универсальности и удобной сборки. Они изготавливаются из стали или алюминия и имеют различные размеры и формы. Металлические панели легко устанавливаются и снимаются, что делает их очень удобными в использовании. Однако металлические панели имеют некоторые недостатки. Они могут быть тяжелыми и сложными в транспортировке, а также могут требовать дополнительных инструментов для установки.

**Опалубка из стекломагнезита.** Конструкция представлена из листов стекломагнезита, которые скрепляются друг с другом с помощью специальных крепежных элементов. В состав материала входит стекло и магнезит — горная порода. Стекломагнезит обладает высокой прочностью и пожаробезопасностью. Такая опалубка имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными опалубками из дерева или металла. Она долговечна и не подвержена коррозии или плесени, а также легка в установке и не требует специальных навыков в работе.

**Опалубка из арболита.** Материал на основе щепы, цемента и связующего. Для несъёмной опалубки используются панели или полые блоки из арболита. Для скрепления панелей между собой применяются гвозди, стяжки или клей. Одним из главных преимуществ несъёмной опалубки из арболита является ее легкость. Арболит обладает низкой теплопроводностью и является отличным утеплителем. Материал также обеспечивает качественную шумозащиту.

**Опалубка из бетонных блоков.** Она состоит из специальных блоков из бетона, которые соединяются между собой и образуют определенную форму. Главным преимуществом несъёмной опалубки из бетонных блоков является ее простота и удобство в установке. Она не требует специальных навыков и инструментов для монтажа, что экономит время и деньги на строительстве. На блоки выстилается паро- и гидроизоляция для обеспечения герметичности. Бетонный раствор заливается между блоками и при затвердевании образует монолитную конструкцию с высокой несущей способностью.

**Опалубка из пенополистирола.** В настоящее время в мире и в нашей стране наибольшее распространение получила несъёмная изоляционная опалубка из пенополистирола. Надежная теплоизоляция, обеспечиваемая несъёмной опалубкой из пенополистирола, позволяет относить здания с такой опа-



Рис. 1. График использования различных материалов в системах несъемных опалубок

лубкой к энергоэффективным строительным системам, что особенно важно для наших дней, когда проблема экономии энергетических ресурсов никогда еще не была столь острой [4].

Несъемная опалубка из пенополистирола — это новое поколение строительных материалов, которые используются для формирования бетонных поверхностей. Она изготавливается из высококачественного пенополистирола, который имеет высокую прочность и устойчивость к воздействию влаги. Одним из главных преимуществ является ее легкость. Она весит гораздо меньше, чем металлические или деревянные панели, что делает ее легкой в установке и транспортировке.

Рассмотрим основные преимущества и недостатки конструкции для устройства монолитных конструкций, не требующей демонтажа.

Итак, первым преимуществом несъемной опалубки является экономия времени и денег на строительстве благодаря простоте и удобству в установке. Строительство из несъемной опалубки также экономично благодаря тому, что стены сразу получают теплыми и не требуют дополнительных затрат на утепление.

Кроме того, такие конструкции создают меньшую удельную нагрузку на фундамент, что позволяет проводить строительство без больших затрат на производство фундамента [5]. Несъемная опалубка обеспечивает равномерное распределение нагрузки на всю поверхность конструкции, что исключает возникающие дефекты и позволяет создавать более прочные и качественные здания.

Дома из несъемной опалубки возводятся быстро благодаря легкости блоков и панелей. Несъемная опалубка способствует созданию более прочных и надежных зданий и сооружений, так как исключает появление швов и просветов между элементами, что обеспечивает монолитность и герметичность конструкции.

После укладки бетона в несъемную опалубку, не требуется проводить дополнительные работы по отделке стен, так как поверхность готова к нанесению декоративного покрытия, и есть

возможность использования различных видов отделки как снаружи, так и изнутри: от штукатурки и до каменной облицовки.

К недостаткам, в первую очередь, можно отнести ограниченность в выборе формы и размеров — несъемная опалубка не может быть изменена в процессе строительства, что может стать проблемой при необходимости создания нестандартных форм и размеров [6]. Этот факт делает ее неприменимой для некоторых видов строительства, а также для многоэтажного строительства.

Вопрос сложности монтажа, также относится к недостаткам данного вида опалубки. По сравнению со съемной опалубкой, несъемная опалубка установлена намного сложнее и требует большего количества людей при монтаже. Более того, данный процесс требует специальных навыков и квалификации кадров, что может привести к дополнительным затратам на обучение персонала и увеличению времени проведения работ [7].

Еще один момент, усложняющий процесс устройства несъемной опалубки, это предварительная подготовка. Построение конструкции из несъемной опалубки требует тщательной подготовки поверхности, на которой она должна быть установлена, чтобы обеспечить ее точность и прочность.

Также стоит отметить более высокую стоимость несъемной опалубки в сравнении с остальными видами, так как требуется высокое качество материалов и производство индивидуального комплекта деталей. Но, данный недостаток не является передовым, так как применение данной опалубки экономит намного больше средств в процессе строительного производства в целом.

**Вывод.** Несъемная опалубка является важным элементом конструкций в современном строительстве. Каждый вид несъемной опалубки имеет свои преимущества и недостатки, и выбор определенного типа зависит от технико-экономических показателей и особенностей конкретного проекта. Независимо от выбора, все виды несъемной опалубки должны соответствовать высоким стандартам безопасности и качества, чтобы обеспечить прочность и долговечность окончательной конструкции.

## Литература:

1. Афанасьев А. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: Стройиздат. 1990. — С. 111–121.
2. Юдина А. Ф., Верстов В. В., Бадьин Г. М. Технологические процессы в строительстве: учебник / А. Ф. Юдина, В. В. Верстов, Г. М. Бадьин. М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 253 с.
3. Гарькин, И. Н. Технология применения несъёмной опалубки в монолитном строительстве / И. Н. Гарькин, Н. В. Аганфонкина // Аллея науки. — 2018. — Т. 2. — № 2(18). — С. 376–379.
4. Современные опалубочные системы: учебное пособие / А. В. Киянец. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. — 17 с.
5. Ершов, М. Н. Технологические процессы в строительстве [Текст]: учебник / М. Н. Ершов, А. А. Лapidус, В. И. Теличенко. — Москва: АСВ, 2016, 126 с.
6. Ворона-Сливинская, Л. Г. Анализ конструктивных и технологических особенностей применения несъёмной опалубки для устройства монолитных перекрытий объектов монолитного строительства / Л. Г. Ворона-Сливинская, Г. Д. Макаридзе // Перспективы науки. — Тамбов: ТМБпринт. — 2019. — № 10(121). — С. 141–144.
7. Бадьин Г. М. Несъёмные опалубочные системы для наружных стен малоэтажных зданий // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 1. С. 137–142.

## Анализ технологических способов монтажа крупногабаритного оборудования в атомной промышленности

Фуртаева Анна Александровна, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В данной статье рассматриваются основные технологии монтажа крупногабаритного оборудования при строительстве атомных электростанций. Проведен анализ применяемых способов по установке оборудования АЭС в проектное положение и используемого грузоподъемного оборудования. Каждый из методов имеет свои недостатки и преимущества и по-разному эффективен в различных условиях. Сделан вывод о потребности в совершенствовании организационно-технологических процессов монтажа крупногабаритного оборудования по сокращению сроков строительства для поддержания конкурентоспособности российских атомных электростанций и дальнейшего их развития.*

**Ключевые слова:** АЭС, монтаж, крупногабаритное оборудование, грузоподъемные механизмы, технология, строительство.

Экономическая сторона развития энергетического российского рынка стремится к снижению тенденции доминирования природного газа за счет потребления топливно-энергетических ресурсов, а именно увеличению выработки электроэнергии на АЭС. Россия является мировым лидером по экспорту ядерных реакторов, строительству и финансированию новых АЭС в ряде стран, поэтому так остро встает факт конкурентоспособности, а именно своевременной процессе модернизации ядерной энергетике, внедрение инновационных подходов в строительстве АЭС [1]. Оценка конкурентоспособности основывается не только на развитии тепловой энергетике, но и сроков строительно-монтажных работ, объеме затраченных ресурсов. Атомные электростанции не имеют на сегодняшний день альтернатив в ядерной энергетике для производства электрической энергии в требуемых количествах, позволяющих снять угрозу органической и топливной недостаточности. Необходимо ускоренное развитие строительно-монтажного комплекса, а именно совершенствование способов монтажа и качественное планирование строительно-монтажных работ.

Совершенствование организационно-технологических процессов монтажа крупногабаритного оборудования в атомном

строительстве является важной задачей, которая помогает улучшить эффективность работы и обеспечить безопасность рабочих. Опыт сооружения АЭС в России показывает, что сооружение атомных электростанций по новым проектам растягивается на 8–10 лет вместо заявленных 5 лет. Необходимо провести анализ текущих технологических процессов и выявить узкие места, чтобы оптимизировать монтаж крупногабаритного оборудования и снизить затраты на время и ресурсы, так как основное влияние на продолжительность строительства оказывает выбор метода монтажа.

Монтаж крупногабаритного оборудования является одним из самых сложных и ответственных этапов строительства АЭС. Для его успешной реализации необходимо организовать работу команды специалистов, состоящей из инженеров, технологов, монтажников, сварщиков и других специалистов. В настоящее время на атомных электростанциях применяются различные методы для монтажа крупногабаритного оборудования.

### 1. Блочный монтаж

Одним из наиболее распространенных способов монтажа, суть которого заключается в осуществлении части работ на сбо-

рочно-укрупнительной площадке и в цехах [2]. Укрупненные монтажные узлы и заготовки инженерных коммуникаций изготавливаются в заводских условиях, а затем практически готовые объекты поставляются на строительную площадку и подлежат дальнейшей сборки [5]. Недостатком данного метода может стать не учтенные требования при конструировании, изготовлении и поставке оборудования. Примером отрицательного опыта стало строительство AP1000 в Китае, где нарушения в поставках привели к увеличению сроков строительства [3]. Также данный метод возведения АЭС крупными блоками может столкнуться с проблемой обеспеченности на строительной площадке кранов большой грузоподъемности, высокой стоимостью аренды грузоподъемного механизма и его наличие в регионе.

## 2. Комплектно-блочного монтаж

Способ комплектно-блочного монтажа рассматривает технологию предварительной сборки установки оборудования на жесткую раму со всеми связывающими коммуникациями, и последующего монтажа в уже готовое помещение [2] (рисунок 1). Например, успешный опыт АЭС компании Toshiba с реакторами типа BWR и ABWR, производственная база которых находилась на берегу Токийского залива. Применение такого способа сокращает трудозатраты как строительно-монтажных работ на объекте, так и самих монтажных организаций, сокращаются сроки строительства. Недостатком могут стать дополнительные затраты устройства площадок укрупнительной сборки, временных зданий, транспортных путей и необходимость в мощном грузоподъемном оборудовании. Затраты на работы демонтажа собираемых блоков могут превысить по стои-

мости строительство новой АЭС. Возведение реакторного отделения с новым реактором АЭС, расположенным вне зоны завода-изготовителя, может повлиять на точность монтажа и в целом безопасности дальнейшей эксплуатации АЭС [2].

Для строительства АЭС крупными блоками необходимо оборудование с высокими грузоподъемными характеристиками. Например, строительство Белоярской АЭС удалось выполнить в поставленные срок лишь при совместной работе многоосного транспортного тягача и крана Демаг, с показателем грузоподъемности в 600 тонн, но не всегда есть возможность найти подходящее оборудование с высокими грузоподъемными характеристиками, да еще и в рамках бюджета проекта [6]. Поэтому появляется вопрос реализации нового метода монтажа, влекущего за собой минимальные риски срыва сроков проекта.

## 3. Совмещенный монтаж/метод «open-top»

Наиболее популярный способ осуществления строительных работ и монтаж тепломеханическое оборудование на одном объекте строительной площадки, в одном помещении одновременно. Применение совмещенного монтажа заключается в осуществлении монтажа самого оборудования и параллельно идущими строительными работами. Тепломеханическое оборудование монтируется строительно-монтажным краном через открытый верх защитной оболочки, до момента установки купольной части. Корпусы реакторов массой более 500 тонн монтируются через открытый верх защитной оболочки главного здания реактора [2]. Метод «open-top» позволяет уменьшить количество операций монтажа оборудования с 8-ми (при штатном монтаже через транспортный шлюз) до 3-х

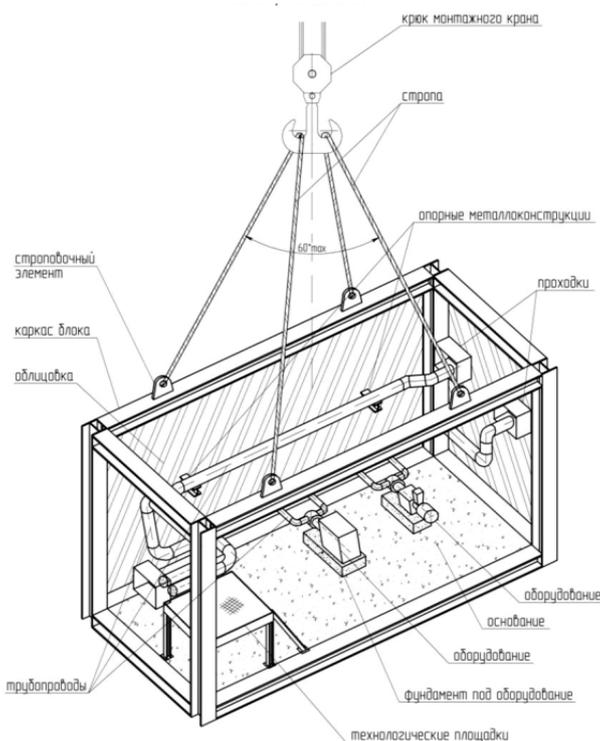


Рис. 1. Блок помещения 10UKC04R054 массой до 300 т совместно с оборудованием и трубопроводами Нововоронежской АЭС

(кантование, подъем, опускание), снизить риски и сроки монтажа за счет упрощения схемы установки, но может повлечь трудности накладки работ, дополнительных затрат на грузоподъемного оборудование с высокими техническими характеристиками [4]. К минусам данного метода можно отнести риски срыва графика из-за повторного такелажирования и кантования объемных блоков, срыв поставок комплектующего обо-

рудования, задержки выдачи ПД, РД, ППР, дополнительное привлечение большегрузного гусеничного крана на подъем оборудования [4].

Первый опыт применения технологии «open-top» при подаче корпуса реактора в России произведена на Энергоблоке № 1 ЛАЭС-2. Примеры реализации технологии «open-top» в различных проектах приведены на рисунках 2, 3, 4.



Рис. 2. АЭС Lungmen (Тайвань) проект Hitachi



Рис. 3. АЭС Тагаруп (Индия) Канадский проект



Рис. 4. Строительство Балаковской АЭС методом «open-top»

Важным аспектом технологического процесса монтажа помимо выбора способа установки является решение по подбору применяемого грузоподъемного оборудования. При возведении Атомных электростанций предъявляются строгие требования к точности установки оборудования и его надежности. Это связано с тем, что работа на АЭС при несоблюдении требований безопасности может привести к серьезным негативным последствиям для всего мира. Поэтому к выбору оборудования необходимо подходить с особой точностью, с учетом всех условий строительства, конструктивных особенностей реактора и требований безопасности.

Для монтажа реактора на АЭС используются специальные краны: мостовые, козловые, башенные и др. Каждый тип крана имеет свои особенности и может быть использован в зависимости от условий монтажа.

При монтаже наклонного оборудования (транспортные устройства, вращающиеся цилиндрические печи-реакторы), выполненного с помощью укрупнительной сборки, для установки в проектное положение применяются самоходные стреловые и башенные краны. Пространственное оборудование (резервуары, газгольдеры, конденсаторы воздушного охлаждения) устанавливается чаще с помощью самоходного стрелового крана. Для перемещения тяжелых элементов конструкций может использоваться козловый кран, который обладает высокой грузоподъемностью. Также применяется стреловой кран на гусеничном ходу, который имеет высокую маневренность, большую грузоподъемность, простую перебазировку в пределах строительной площадки между стоянками крана и может

перемещаться по мостовым конструкциям. Примером применения стрелового крана стал СС4000 Демаг при строительстве АЭС «Козлодуй» в Болгарии, Калининская АЭС [6]. Помимо стрелового крана при возведении АЭС широко используются башенные краны. Например, при строительстве Запорожской АЭС с помощью башенного крана KROLL K10000 осуществлялся подъем металлоконструкции гермозоны [6].

Выбор грузоподъемного механизма ответственный и индивидуальный процесс, требующий учета условий высоты поднятия груза, технической оснащённости, массы монтируемого оборудования, удаленности от рабочей площадки, экономической обоснованности и оптимизации затрат ресурсов, поэтому невозможно без сравнительного анализа сходу подобрать наиболее успешное оборудование по опыту прошлых лет

В целом, успешный монтаж крупногабаритного оборудования в строительстве АЭС — это сложный процесс, требующий профессиональных знаний и опыта, а также использования передовых технологий и инновационного оборудования. Применение развитого и проанализированного со стороны технической оснащённости метода позволит снизить сроки выполнения работ, оптимизировать эксплуатационные расходы и расходы на техническое обслуживание. Благодаря правильной организации монтажных работ и соблюдению всех требований и норм можно обеспечить безопасное и высокоэффективное строительство Атомных электростанций, достичь максимальной производительности и экономической эффективности энергетического сбыта, тем самым подкрепить конкурентоспособность отечественных АЭС.

#### Литература:

1. Ковальчук, Н. Б. Сокращение государственных инвестиционных расходов на строительство АЭС с применением инновационной технологии контейнерного монтажа оборудования / Н. Б. Ковальчук, И. Т. Гараев. — Текст: непосредственный // Вестник образовательного консорциума среднерусский университет. — 2016. — № 7. — С. 74–75.
2. Пергаменщик, Б. К. Проблемы и перспективы строительства АЭС / Б. К. Пергаменщик. — Текст: непосредственный // Вестник МГСУ. — 2014. — № 2. — С. 140–153.
3. Феник Б. С. Опыт сооружения 111 очереди АЭС «Козлодуй» в Народной республике Болгарии: обзорная информация. М.: Информэнерго, 1990. Вып. 1. 56 с. (Сер. Атомные электростанции).
4. Колесниченко, В. С. Сокращение сроков строительства энергоблока № 2 Ленинградской АЭС-2 с помощью использования технологии «OPEN-TOP» / В. С. Колесниченко. — Текст: непосредственный // «Технология и организация строительного производства»: Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. — С. 111–116.
5. Бусыгина, А. Н. «Комплектно-блочный метод организации строительства нефтепромысловых объектов» / А. Н. Бусыгина, А. Н. Коркишко. — Текст: непосредственный // Вестник МГСУ. — 2017. — № 4. — С. 429–436.
6. Холопов, А. А. «Транспортировка и монтаж укрупненных элементов АЭС» / А. А. Холопов, К. А. Дудкевич, Б. К. Пергаменщик. — Текст: непосредственный // Вестник МГСУ. — 2010. — № 4. — С. 266–274.

## Совершенствование системы организационно-технологических решений при строительстве школ с применением энергоэффективных технологий

Червяков Максим Артемович, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В статье автор проводит анализ существующих методов повышения энергоэффективности зданий и пытается выявить факторы, мешающие их внедрению. Автор предлагает пути решения проблемы по повышению энергоэффективности школ.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, школа, рекуперация тепла, энергоэффективные ограждающие конструкции, ЭВОК.

Сегодня в нашей стране около половины всей вырабатываемой энергии тратится на эксплуатацию зданий [1], [2], поэтому снижение теплотерь и повышение энергоэффективности имеет огромное значение для развития строительной и энергетической отрасли. Одна из главных характеристик энергетической эффективности зданий — удельный расход энергии на вентиляцию и отопление 1 м<sup>2</sup> здания в год. Россия значительно отстает в этом показателе от других европейских стран.

Но следование темпам снижения затруднительно и в наше время не осуществляется. На это есть много причин, но одной из основных является редкое использование в массовом строительстве современных энергосберегающих технологий. Также влияют пассивность региональных властей в отношении энергосбережения, и высокая стоимость новых технологий по сравнению с традиционными технологиями, особенно это заметно в бюджетных заведениях.

В 1972 г. в Манчестере было построено одно из первых энергоэффективных зданий. Компенсация энергозатрат на вентиляцию здания происходит за счет уменьшения объема поступления наружного воздуха, это достигается за счет оптимизации воздухораспределения и грамотной планировки здания, а также замены внешнего воздуха очищенным рециркуляционным. Рекуператоры тепла позволяют уменьшить на 60–75% затраты энергии на охлаждение и нагрев приточного воздуха. Экономия электроэнергии происходит за счет системы управления искусственным освещением [5].

Хорошим примером энергоэффективности здания является EKONO-house в Отаниеми, Хельсинки. Энергоэффективность здания заключается в эффективном использовании внутреннего объема для минимизации площади ограждающих конструкции, теплоизоляции, аккумулировании тепла солнечной радиации в основании сооружения для снижения нагрузки на систему отопления, применении вентилируемых окон, системы вентиляции с рекуперацией тепла, эффективном освещении для снижения затрат электрической энергии, системе автоматического управления оборудованием климатизации и освещением. Ежегодное удельное теплотребление первой секции здания ЕКО-NO-house составило на 50% ниже, чем в обычном здании [6].

В 2004 г. была построена одна из первых энергоэффективных школ в Германии в соответствии с со стандартами пассивного домостроения. Здание позволяет экономить до 90% затрат на энергию. Это происходит за счет соответствующей теплоизоляции, пеллетного котла и вентиляционной установки с рекуперацией тепла. Потребление энергии зданием снижается за счет равномерного поля температуры по помещению с поддержанием воздухообмена с помощью механической вентиляции.

Окна здания, расположенные на крыше ориентированы на южную сторону для инсоляции помещений и максимального получения естественного солнечного тепла. Кроме того, для сохранения тепла, крыша школы имеет зеленую кровлю. Газовый котел обеспечивает тепло в здании, потребность его нагрева составляет менее 12 кВт\*ч/кв.м [7].

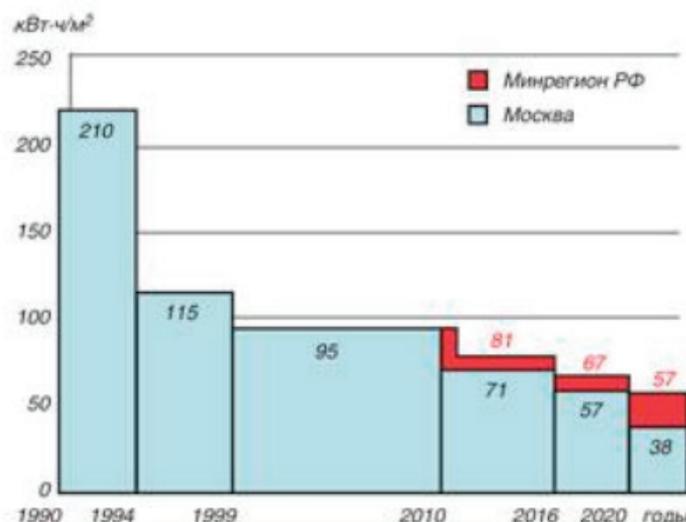


Рис. 1. Снижение удельного энергопотребления на отопление и вентиляцию зданий [3], [4]



Рис. 2. Начальная школа Montessori, г. Ауфкирхен, Германия

В Нью-Йорке была построена абсолютно зеленая начальная школа Kathleen Grimm School. Преимущество школы заключается в том, что она не потребляет энергию из городской сети. Необходимое количество энергии вырабатывается огромным навесом, который состоит из фотоэлементов и ветровой турбиной. Благодаря этому здание потребляет на 50% меньше энергии. Планировка здания привязана к сторонам света. Так, основная часть учебных помещений расположена на южной стороне здания, также часть классов находится на восточной и западной сторонах. На северной стороне располагаются окна служебных, технических, складских и подсобных помещений. Потребность в искусственном освещении заметно сокращается за счет световых люков и отражающих потолочных панелей, которые пропускают много солнечного света. Горячую воду в здание дают солнечные нагреватели, а система отопления основана на энергии земли. От излишнего перегрева здание предохраняют специальные окна, расположенные на южном фасаде [8].

В России чаще всего внедряются энергосберегающие технологии уже в построенные школы и тем не менее есть небольшое количество проектов, в которых учтены энергосберегающие технологии, но пока не реализуются. В 2011 г. провели энергосберегающие мероприятия для школы в Рыбинске. Были проведены работы по замене стеклопакетов, утепление ограждающих конструкций, ремонт системы отопления, которая включала в себя установку системы погодного регулирования в тепловом пункте, радиаторы были оснащены терморегуляторами, реализация закрытой системы ГВС через теплообменники по двухконтурной схеме [9]. Потребление энергоресурсов после реализации здания снизилось на 31,2%. Таким образом, результаты показывают, что вложения в энергоэффективные технологии дают существенный экономический эффект.

Одним из современных эффективных решений энергосбережения является применение энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций (ЭВОК) с использованием систем активного энергосбережения (САЭ) с рекуперацией тепла, которые позволяют повысить степень теплозащиты и качества микроклимата внутри зданий при высоком уровне эко-

номии энергетических ресурсов. В данных вентилируемых конструкциях использован метод активной рекуперации уходящего тепла (трансмиссионного и радиационного) через наружные ограждения, а также дополнительная рекуперация и утилизация низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов в условиях существующей вентиляции и при использовании теплообменников с обменом тепла и влаги. Основным принципом действия системы по рекуперации трансмиссионного тепла и радиационного тепла является определенная организация условий попадания потока наружного воздуха и дальнейшее прохождение его внутри конструкции стены или окна, а также теплоотражение при помощи специальных отражателей (автономных или в виде покрывающих слоев). В воздушном зазоре на входе воздушного потока образуется вертикальная воздушная завеса холодного поступающего воздуха, которая максимально сильно охлаждает все поверхности и элементы, которые могут передавать уходящую тепловую энергию в атмосферу. Внешние поверхности ограждающих конструкций становятся холодным, а уходящая ранее тепловая энергия передается приточному потоку воздуха, который подогревается и используется для вентиляции помещений, что улучшает качество микроклимата и дает возможность интенсивно вентилировать помещение при нахождении в нем людей. Тепловая энергия вентиляционных выбросов передается поступающему воздушному потоку с помощью рекуператоров с высоким КПД (до 90%), которые могут быть встроены в ограждающие конструкции.

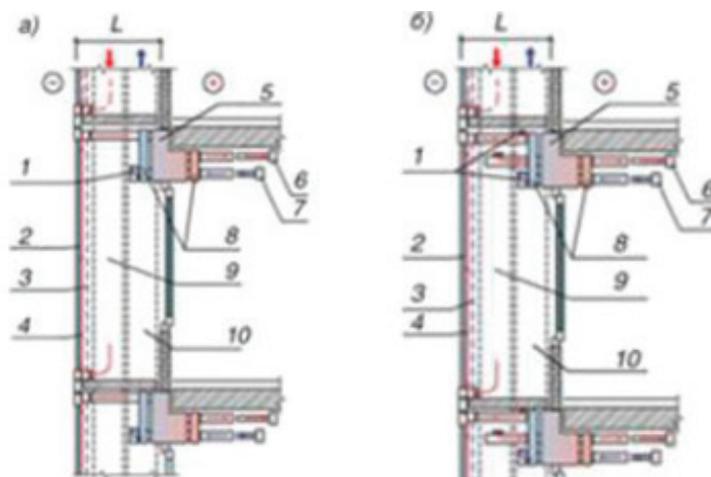
Таким образом, в данной системе поток наружного воздуха используется для трех целей:

- вентиляции и увеличения качества микроклимата;
- увеличения степени теплозащиты;
- активной рекуперации тепла в помещении как удобный, безопасный и имеющий высокую эффективность теплоноситель, который может осуществлять съем тепла с любой поверхности, отдающей тепло в атмосферу.

Поток холодного наружного воздуха эффективно производит съем тепла с поверхностей наружных ограждающих конструкций, значительно повышая теплопотери и снижая энерго-

сбережение. Но это происходит только тогда, когда поток после съема тепла с поверхностей выбрасывается в атмосферу. Если же воздушный поток, который произвел эффективный съем

тепла с наружных поверхностей, будет направлен внутрь помещения при помощи изменения пути, получится также высокий тепловой эффект [10].



**Рис. 4. Ограждающая конструкция с системой активной рекуперации, где: 1 — в вентилях выбрасываемого воздуха, 2 — наружная облицовка, 3 — теплоотражающий экран, 4 — движение приточного воздуха, 5 — рекуператор, 6 — приточная решетка, 7 — вытяжная решетка, 8 — секции теплохладоаккумуляторов, 9 — вентилях приточного воздуха с ветровым приточным вентиляционным дефлектором повышенной энергоэффективности, 10 — вентилях выбрасываемого воздуха с ветровым вытяжным вентиляционным дефлектором повышенной эффективности**

В заключение можно сказать, что при стремительном росте строительства школ, все острее встает вопрос об использовании энергоэффективных технологий не только на этапе строительства и проектирования, но и на этапе эксплуатации.

Применение и внедрение новых технологий (например, энергоэффективных вентилируемых ограждений) в совокупности с имеющимися знаниями значительно повысят энергоэффективность учреждения и снизят затраты на эксплуатацию. Внедрение этих конструкций поможет значительно снизить энергопотребление зданий, даст большой толчок в развитии новейших энергосберегающих технологий, поможет выполнению плану по снижению энергопотребления. Поскольку наша страна постоянно нуждается в огромных затратах на

отопление, снижение этих затрат может стать стимулятором роста экономики.

В связи с комфортным, здоровым микроклиматом повышается обучаемость и работоспособность детей, что является большим преимуществом для образования. Энергоэффективность заключается не только в технологиях, но и в объемно-планировочном решении здания, в связи с этим идет не только внедрение технологий в функционирующие школы, но и проектирование образовательных заведений с учетом климатических особенностей. Школа является одним из основных институтов воспитания бережного отношения к ресурсам у молодого поколения, и решение энергоэффективности в школах имеет первостепенное значение.

Литература:

1. Смирнова С. Н. Принципы формирования архитектурных решений энергоэффективных жилых зданий: дис... канд. архитектуры.— Н. Новгород, 2009.— 216 с.
2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N261-ФЗ.
3. Самые известные в мире энергоэффективные здания [Электронный ресурс].— URL: <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mireenergoeffektivnye-zdaniya> (дата обращения: 17.12.2022).
4. Энергоэффективное здание: синтез архитектуры и технологии [Электронный ресурс].— URL: <https://ecoteco.ru/id565/> (дата обращения: 17.12.2022).
5. Начальная школа, Франкфурт-Ридберг/Германия [Электронный ресурс].— URL: <http://ru.4a-architekten.com/projekte/schule-frankfurt-am-main-riedburg> (дата обращения: 17.12.2022).
6. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области [Электронный ресурс].— URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=1659](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1659) (дата обращения: 17.12.2022).
7. Мировой опыт формирования школьных зданий на основе энергосберегающих технологий Смолина С. И., Киселева О. В.// Сибирский федеральный университет — 2017.— С. 43–52

8. США: в Нью-Йорке построили «зеленую» школу [Электронный ресурс].— URL: <http://ukrbuild.dp.ua/2016/01/12/ssha-v-nyu-jorke-postroili-zelenuyushkolu.html> (дата обращения: 17.12.2022).
9. Школа как образец энергоэффективности [Электронный ресурс].— URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5576](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5576) (дата обращения: 17.12.2022).
10. Ахмяров Т. А., Беяев В. С., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Системы с активной рекуперацией теплового потока в ограждающих конструкциях зданий // Энергосбережение.— 2014.— № 6.— С. 26–34.

# ХИМИЯ

## Особенности электроосаждения латуни из водных растворов

Гремчук Владислав Алексеевич, студент  
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (Беларусь)

*В статье рассмотрены сферы применения латунных покрытий, основные технологии электроосаждения латуни, а также особенности электроосаждения латуни на металлическую основу.*

**Ключевые слова:** электролит, латунирование, латунь, комплексообразующие, электроосаждение.

Латунные покрытия, получаемые путем гальванического осаждения, часто применяют для защиты металлов от коррозии, для придания поверхности металла декоративного вида, а также для улучшения сцепления изделий из алюминия и стали с резиной, при их обклейке последней. Для этого применяют латунные покрытия толщиной, не превышающей 3–5 мкм. Также латунные покрытия применяются в качестве промежуточных слоев под никель, олово, серебро и золото. Толщина таких покрытий составляет порядка 12–15 мкм. Одной из особенностей латунных покрытий является способность окрашиваться в различные тона растворами аммиака, сульфида натрия, а также при помощи химического оксидирования [1].

Латунь — двойной или многокомпонентный сплав на основе меди, в котором основным легирующим компонентом является цинк. Типичная латунь, содержащая порядка 60% меди, имеет золотистый цвет.

Особенность осаждения латуни заключается в том, что осаждаются два металла, электродные потенциалы которых в водных растворах различаются более чем на 1,0 В. С целью сближения потенциалов выделения цинка и меди широко применяют комплексообразование. Комплексообразующие вещества должны уменьшать активность ионов меди в большей степени, чем активность ионов цинка [2].

В промышленности наибольшее распространение получили цианистые электролиты латунирования. В таких электролитах достигается наименьшая разность равновесных потенциалов, а также наименьшая разность катодных потенциалов [3]. В зависимости от того, какие свойства должна иметь гальванически осажденная латунь, составы цианистых растворов могут широко варьироваться. Так, например, чтобы получить тонкое покрытие, применяют следующий состав электролита:

- цианистая медь — 20 г/л;
- цианистый цинк — 20 г/л;
- цианистый натрий — 20 г/л;
- карбонат натрия — 15 г/л;
- аммиак водный — 1,5 мл/л.

Также в него добавляется одна из блескообразующих присадок: 0,001–0,01 г/л трехоксида мышьяка, растворенного в едком натре; 0,01 г/л декстрина, растворенного в едком натре; 0,3–0,5 г/л фенола, растворенного в едком натре; 0,5–1,0 г/л крезолсульфата натрия. Рабочая температура 22–28 °С, рН = 10–11,5. Отношение площадей анода и катода от 2:1 до 3:2.

Для электроосаждения специальных томпаковых сплавов (латунь с содержанием меди 80% и более) в основном применяют следующий электролит:

- цианистый калий — 15 г/л;
- карбонат натрия — 10 г/л;
- кислый серноокислый натрий — 20 г/л;
- хлористый аммоний — 2 г/л.

После нанесения покрытия необходимо тщательно промыть попеременно под горячей и холодной водой, а затем пассивировать в растворе, содержащем хромовый ангидрид, концентрированную азотную кислоту и оксид цинка при комнатной температуре. После промывки изделия нужно сразу же сушить сжатым воздухом или в сушилке. С целью сохранения декоративного вида латуни их покрывают прозрачным лаком (методом погружения или напыления) [1].

Основное влияние на качество покрытий и их химический состав оказывает не соотношение солей осаждаемых металлов, а концентрация свободного цианида. При ее повышении осадок обогащается цинком, так как катодная поляризация меди в этом случае возрастает в большей степени. Потенциал меди становится более отрицательным, чем потенциал выделения цинка, и на катоде происходит преимущественный разряд цинка. Внесение в электролит небольших количеств водного раствора аммиака позволяет улучшить внешний вид осадков, стабилизировать их химический состав в широком интервале плотностей тока и повысить выход по току. [4]

Имея множество преимуществ, цианидные электролиты имеют существенный минус — они являются очень токсичными для человека (в соответствии со стандартом NFPA 704 все цианиды имеют класс опасности для здоровья 2 — интен-

сивное или продолжительное, но не хроническое воздействие может привести к временной потере трудоспособности или возможной остаточной травме). Также цианистые электролиты чрезвычайно токсичны при попадании в почву [5].

Бесцианистые электролиты не получили широкого распространения в промышленности ввиду низкой стабильности, плохой воспроизводимостью результатов, сильной зависимости состава сплава от катодной плотности тока.

В качестве альтернативы цианистым электролитам выступают электролиты, комплексообразующими веществами в которых выступают пирофосфат-, роданид-, оксалат-, этилендиамин-анионы. В таких электролитах разность равновесных потенциалов остается весьма существенной, но из таких электролитов все же можно осадить латунь высокого качества. Примером таких электролитов могут служить следующие электролиты: на основе пирофосфата калия — медь серноокислая 5-водная 5–10 г/л, цинк серноокислый 7-водный — 55–60 г/л, пирофосфат калия — 240–250 г/л, сульфосалициловый натрий — 28–33 [4]. Подобный электролит служит в основном для придания антикоррозийных свойств, для декоративных целей подобный электролит не подходит, так как разность потенциалов осаждения все также велика.

Существенные возможности для сближения равновесных потенциалов имеют комплексные электролиты, то есть электролиты, состоящие из двух комплексообразующих веществ. В таком случае образуются комплексы, в которых лиганды разнородны, а у одного иона металла координируются два комплексообразующих вещества.

Примером может служить следующий электролит, содержащий в качестве комплексообразующих веществ пирофосфат калия и хлористый аммоний: медь серноокислая — 1,5–2,5 г/л, цинк серноокислый — 6,5–9,0 г/л, калий пирофосфорнокислый — 30,0–50,0 г/л, кислота борная — 30 г/л, аммоний хлористый. Осаждение проводится при pH 7,8–8,5, температуре 25–30 °С, плотности тока 0,5–1,5 А/дм<sup>2</sup> с использованием комбинированного анода из латуни марки Л68 и нержавеющей стали при соотношении 1:2. Из такого электролита осаждаются золотисто-желтые, стабильные по составу и цвету латунные покрытия. Электролит имеет высокую стабильность и практически исключает пассивацию латунных анодов [4].

#### Литература:

1. Синдеев, Ю. Г. Гальванические покрытия / Ю. Г. Синдеев. — 1-е издание. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. — 256 с. — Текст: непосредственный.
2. Поветкин, В. В. Латунирование из трилонатных электролитов / В. В. Поветкин, Т. Е. Иванова, А. В. Исмагилова. — Текст: непосредственный // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. — Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2011. — С. 67–68. Шапников. Гальванические покрытия
3. Дасоян, М. А. Технология электрохимических покрытий / М. А. Дасоян, И. Я. Пальмская, Е. В. Сахарова. — 1-е издание. — Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. — 391 с. — Текст: непосредственный.
4. Патент № 80100 Российская Федерация, МПК C25D3/58 (2006.01). Электролит латунирования: № 2015114013/93: заявл. 27.11.2014; опубл. 27.05.2015 / Барнашев А. В., Расторгуева Е. А., Булгакова Ю. В.
5. Copper(I) Cyanide. — Текст: электронный // Chemicalbook: [сайт]. — URL: <https://www.chemicalbook.com/msds/Copper-I-Cyanide.htm> (дата обращения: 09.05.2023).

Для получения покрытий, имеющих равномерное осаждение, хорошую адгезию, а также для стабилизации процесса электроосаждения необходимо уделить большое внимание предварительной подготовке поверхности, на которую будет осаждаться покрытие. Первым этапом подготовки является механическая обработка поверхности. Суть механической обработки заключается в удалении с поверхности окислов, заусенцев, раковин и придании поверхности необходимой шероховатости.

Обезжиривание в органических растворителях применяется для очистки от минеральных масел, неомыляемых жиров, полировальных паст, остатков консервационной смазки. После такого обезжиривания на поверхности металла остается тонкая пленка жиров, которая препятствует прочному сцеплению покрытия с основным металлом. Для удаления этой пленки проводят химическое или электрохимическое обезжиривание. Химическое обезжиривание заключается в том, что под воздействием щелочи жиры омыляются и переходят в раствор, а минеральные масла в присутствии специальных ПАВ — эмульгаторов — образуют эмульсию. Электрохимическое обезжиривание главным образом применяется для удаления тонких жировых пленок, которые остаются после других видов обезжиривания и которые трудно удалить другим способом.

После обезжиривания поверхность подвергают травлению (химическому или электрохимическому). Травление необходимо для удаления оксидов с поверхности металлической детали.

Также перед загрузкой в ванну необходимо произвести активирование поверхности. Активирование — процесс удаления тончайшего, зачастую незаметного глазу слоя оксидов, которые могли образоваться в промежутке между операциями. При активировании происходит одновременно легкое протравливание верхнего слоя металла и выявление кристаллической структуры металла, что благоприятствует прочному сцеплению покрытия с основой. Если детали поступают в гальванический цех непосредственно после механической обработки и на их поверхности имеется только тонкая оксидная пленка, то активирование может производиться без предварительного травления детали [1].

## Совершенствование процесса получения сероуглерода

Мохов Владимир Михайлович, доктор химических наук, доцент;  
Поляков Кирилл Сергеевич, студент магистратуры  
Волгоградский государственный технический университет

*В статье рассматривается способ получения сероуглерода из метана и серы, в качестве совершенствования процесса предложен новый более селективный катализатор.*

**Ключевые слова:** сероуглерод, производство сероуглерода, природный газ, парогазовый процесс, катализатор, синтез сероуглерода.

Сероуглерод является многотоннажным продуктом химической промышленности. Производство сероуглерода началось еще в 20-е годы прошлого столетия и с тех пор развивается, и совершенствуется на сегодняшний день. [1, с. 7]

Молекула сероуглерода имеет линейную симметричную структуру:



Внешний вид: тяжелая бесцветная жидкость. Чистый свежеприготовленный сероуглерод имеет эфирный запах, при долгом хранении запах становится резким

- дипольный момент молекулы равен нулю
- относительная молекулярная масса 76,143

Точки фазового перехода:

- температура плавления минус 111,61±0,03 °С
- температура затвердевания минус 116,8 °С
- температура кипения минус 46,25±0,01 °С
- криоскопическая постоянная  $K_f = 3,8$
- эбулиоскопическая постоянная  $K_b = 2,37$

Механические свойства:

- плотность 1292,7 кг/м<sup>3</sup> при 0 °С
- плотность в твердом агрегатном состоянии 1539 кг/м<sup>3</sup>

Критические параметры:

- критическая плотность  $\rho_{кр} = 0,3679$  г/см<sup>3</sup>
- критический объем 2,718 см<sup>3</sup>/г
- критическая температура  $t_{кр} = 279$  °С — наивысшая температура, при которой пары сероуглерода еще могут быть превращены в жидкость.

Диффузия:

- коэффициент диффузии  $D$  сероуглерода в воздухе при атмосферном давлении: 0,0892 см<sup>2</sup>/с при 0 °С. [2, с. 6]

Сероуглерод является важным химическим соединением, поскольку он используется для получения других химикатов. Он может действовать как промежуточный химический продукт.

Он также используется в качестве технологического растворителя, например, для растворения фосфора, серы, селена, брома, йода, жиров, смол, восков, лаков и камедей.

Это позволяет, среди прочего, производить фармацевтические продукты и гербициды.

Из сероуглерода получают ксантаты, которые представляют собой соединения, используемые при производстве вискозы и целлофана.

Для получения искусственного шелка или искусственного шелка используется целлюлоза, которую обрабатывают ще-

лочью и сероуглеродом, и она превращается в ксантогенат целлюлозы, растворимый в щелочи. Этот раствор вязкий и поэтому называется «вязким». [3]

Синтез сероуглерода заключается в том, что жидкая сера и очищенный природный газ поступают в змеевик печи синтеза, где начинается частичное взаимодействие паров серы и метана, входящего в состав природного газа.

Синтез сероуглерода протекает в печах, выполненных из стали, футерованных внутри огнеупорным кирпичом. Окончательно реакция проходит в реакторе, заполненном катализатором.

Внутри каждой печи находится змеевик из специальной стали, по которому проходит реакционная смесь. Змеевик обогревается теплом, получаемым в результате сжигания топливного газа в горелках. Для осуществления процесса синтеза сероуглерода в верхний виток змеевика печей подают жидкую серу.

Серу на синтез подают с избытком, расход серы регулируют в зависимости от расхода природного газа. Давление природного газа при подаче его в змеевик печи должно быть в пределах от 2,8 до 7,5 бар.

Температуру реакционной смеси на выходе из печи регулируют в пределах от 650 до 680 °С. Подогретая в змеевике парогазовая смесь поступает в верхнюю часть реактора.

Реактор представляет собой вертикальный аппарат, изготовленный из стали, футерованный внутри огнеупорным кирпичом и бетоном, заполненный насадкой (кольцами Рашига) и катализатором.

Температура реакционных газов на выходе из реактора должна быть в пределах от 575 до 645 °С. [2, с. 142]

На основании проведенного анализа научно-технической и патентной литературы предложен вариант усовершенствования процесса синтеза сероуглерода путем замены используемого алюмоксидного катализатора на никелевый катализатор состава: 4,7–5,4% NiO и ~1,3% активной окиси  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на носителе (технический глинозем ~ 93,6% общей массы).

Природный газ совместно с парами серы при соотношении CH<sub>4</sub>:S<sub>2</sub> = 1: 2,3 пропускают через реактор при температуре 580–680 °С. [4]

При этом конструкция реактора не нуждается в модификации и доработке.

Данный катализатор является более селективным и позволяет получить выход сероуглерода по стадии синтеза равный 98,00%.

Таблица 1. Сравнение параметров способа промышленного аналога и нового способа получения целевого продукта

Параметр процесса	Способ производства аналога	Новый способ
Давление процесса, бар	2,8–7,1	2,8–7,1
Температура процесса, °С	575–680	580–680
Катализатор	Алюмоксидный	Никелевый, состава: 4,7–5,4% NiO и ~1,3% активной окиси $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> на носителе (технический глинозем ~ 93,6% общей массы).
Фазовое состояние системы	Парогазовый процесс	Парогазовый процесс
Мольное соотношение реагентов	CH <sub>4</sub> : S <sub>2</sub> = 1: 2,158	CH <sub>4</sub> : S <sub>2</sub> = 1: 2,3
Конверсия по метану	98,10%	98,10%
Селективность	96,94%	99,89%
Выход по стадии синтеза	95,10%	98,00%

## Литература:

1. Смуров, В. С. Производство сероуглерода. / В. С. Смуров, А. А. Аранович. — Ленинград: Химия, 1966. — 267 с.
2. Пеликс, А. А. Химия и технология сероуглерода. / А. А. Пеликс, Б. С. Аранович, Е. А. Петров, Р. В. Котомкина. — Ленинград: Химия, 1986. — 224 с
3. Справочник физико-химических свойств — Режим доступа: <https://ru1.warbletoncouncil.org/disulfuro-de-carbono-8797> (дата обращения 19.03.2023)
4. Патент NL 014709B1, МПК C01B31/26, Способ получения сероуглерода / Местерс Каролус Маттиас Анна Мария, Схонебек Рональд Ян; заявитель и патентообладатель ЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ МААТСХАППИЙ Б. В. (NL); заявл. 14.05.2007; опубл. 28.02.2011.

## Совершенствование процесса синтеза метионина

Поляков Даниил Сергеевич, студент магистратуры;  
Латышова Снежана Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент  
Волгоградский государственный технический университет

*В статье рассматривается способ получения метионина с использованием калиевой щелочи. Выбран способ, при котором не будет образовываться сульфат натрия — побочный продукт.*

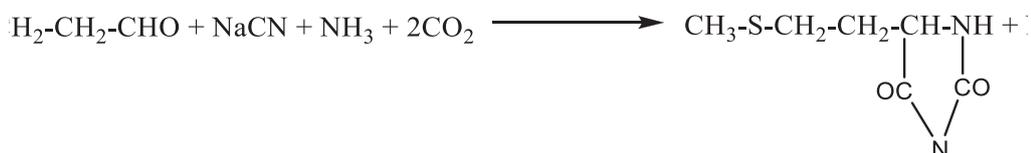
**Ключевые слова:** метионат натрия, гидролиз гидантоина, едкий натр, сульфат натрия, метионин.

Актуальность производства метионина обусловлена тем, что метионин — это незаменимая аминокислота, необходимая для поддержания роста и азотистого равновесия организма. Содержит метильную группу, которая участвует в процессе переметилирования и необходима для синтеза холина. За счет этого нормализует синтез фосфолипидов из жиров и уменьшает отложение в печени нейтрального жира. [3]

Участвует в обмене серосодержащих аминокислот, в синтезе эпинефрина, креатинина и других биологически активных веществ, активизирует действие гормонов, витаминов (В<sub>12</sub>, аскорбиновой, фолиевой кислот), ферментов, белков, реакциях переметилирования, дезаминирования, декарбоксихлирования. Необходим для дезинтоксикацииксенобиотиков. При атеросклерозе снижает концентрацию холестерина и повышает концентрацию фосфолипидов крови.

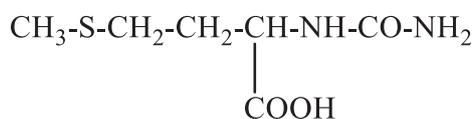
Метионина получают путем гидролиза гидантоина натриевой щелочью до метионата натрия, который в дальнейшем нейтрализуют серной кислотой до метионина.

Гидантоин по методу Бухерера получают путем воздействия цианистого натрия на метилтиопропионовый альдегид (в водном растворе аммиака и углекислого газа): [1]

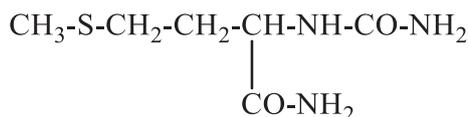


Гидантоин не является единственным продуктом реакции (его массовая доля составляет 75%). Наряду с гидантоином в процессе реакции получаются:

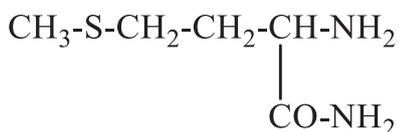
— гидантоиновая кислота (10%);



— уреидоамид (около 10%);



— амид (около 5%)



Все эти побочные продукты, как и гидантоин, приводят к получению метионата натрия при последующем гидролизе.

Реакцию получения гидантоина проводят:

- при мольном соотношении углекислого газа и метилтипропионового альдегида, равном 2,25;
- при мольном соотношении аммиака и углекислого газа, равном 1,3–1,5;
- при избытке цианистого натрия, равном 3–4%.

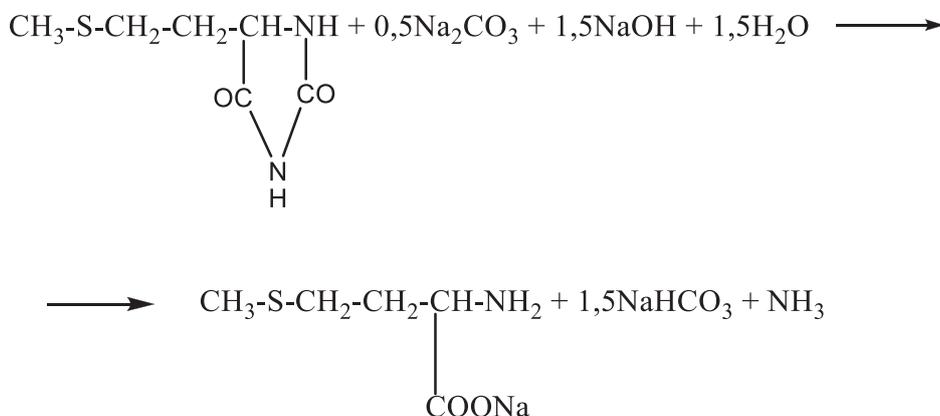
Разложение бикарбоната натрия и удаление избытка аммиака и углекислого газа паром происходит по реакции:



Процесс гидролиза состоит из двух последовательных стадий:

- непосредственно реакции гидролиза;
- разложения бикарбоната натрия.

Реакция гидролиза гидантоина протекает путем воздействия едкого натра на гидантоин:



Температура реакции должна быть 175–185°C, при дополнительном повышении температуры наблюдается образование продуктов разложения и понижение выхода.

Мольное соотношение едкого натра и гидантоина равно 1,5–2,0.

Далее полученный метионат натрия нейтрализуют до метионина серной кислотой:



## Анализ влияния технологических параметров на удельную производительность и селективность процесса получения сероуглерода из метана и серы

Поляков Кирилл Сергеевич, студент магистратуры;  
 Мохов Владимир Михайлович, доктор химических наук, доцент  
 Волгоградский государственный технический университет

В статье рассматривается процесс получения сероуглерода из метана и серы. Проведен анализ влияния технологических параметров на удельную производительность и селективность реакции синтеза сероуглерода на основе результатов моделирования в программе COMSOL Reaction Engineering Lab.

**Ключевые слова:** сероуглерод, сера, удельная производительность РИВ, COMSOL, конверсия метана.

Сероуглерод получают из метана, входящего в состав природного газа и серы. Синтез сероуглерода проходит в парогазовой среде со стехиометрическим избытком серы на катализаторах различного состава по следующей схеме [1]:



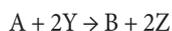
При этом также протекает побочная реакция процесса синтеза сероуглерода:



Сероуглерод — это бесцветная жидкость с приятным «эфирным» запахом. Молекула сероуглерода имеет линейное строение. Данное соединение токсично, огнеопасно, имеет самый широкий диапазон концентрационных пределов взрываемости.

Хорошо растворяет жиры, масла, смолы, каучук, используется в качестве экстрагента; растворяет серу, фосфор, иод, нитрат серебра. Сероуглерод применяют для получения ксантогенатов, четыреххлористого углерода, роданидов, поэтому потребность в производстве данного продукта является актуальной. [2]

Для формализации процесса рассмотрим реакцию синтеза сероуглерода:



При температуре 550–700°C скорость реакции описывается уравнением второго порядка [1]:

$$k = [P_A]^* [P_Y]$$

Константа скорости реакции описывается следующим уравнением:

$$k = 12,26 * 10^8 e^{-43000/(RT)}$$

Для моделирования процесса в программе «COMSOL Reaction Engineering Lab» зададимся начальными параметрами процесса. В настоящее время процесс синтеза сероуглерода проводят при следующих параметрах:

Таблица 1. Параметры процесса синтеза сероуглерода

Мольное соотношение реагентов	$\text{CH}_4 : \text{S}_2 = 1 : 2,1$
Температура реакции T, °C	575 до 680°C
Давление P, бар	От 2,8 до 7,1
Степень превращения, % (по метану)	98,10
Селективность основной реакции, %	95,10
Тип реактора	Реактор идеального вытеснения (РИВ)

Для реактора РИВ удельную производительность вычисляют по уравнению [3]:

$$G_{B, \text{РИВ}} = \frac{F_B}{V_{\text{РИВ}}} = \frac{v_B}{v_A} \cdot \frac{F_{A,0} \cdot X_A \cdot \Phi_B}{V_{\text{РИВ}}} = \frac{v_B}{v_A} \cdot \frac{X_A \cdot \Phi_B}{\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{|r_A|}}$$

где  $F_B$  — мольный поток целевого продукта (B);

$V_{\text{РИВ}}$  — реакционный объем;

$F_{A,0}$  — начальный мольный поток реагента Y;

$X_A$  — конверсия реагента Y;

$\Phi_B$  — селективность основной реакции по целевому продукту (B).

Кинетические кривые построим с помощью программы «COMSOL Reaction Engineering Lab», выглядят они следующим образом [4]:

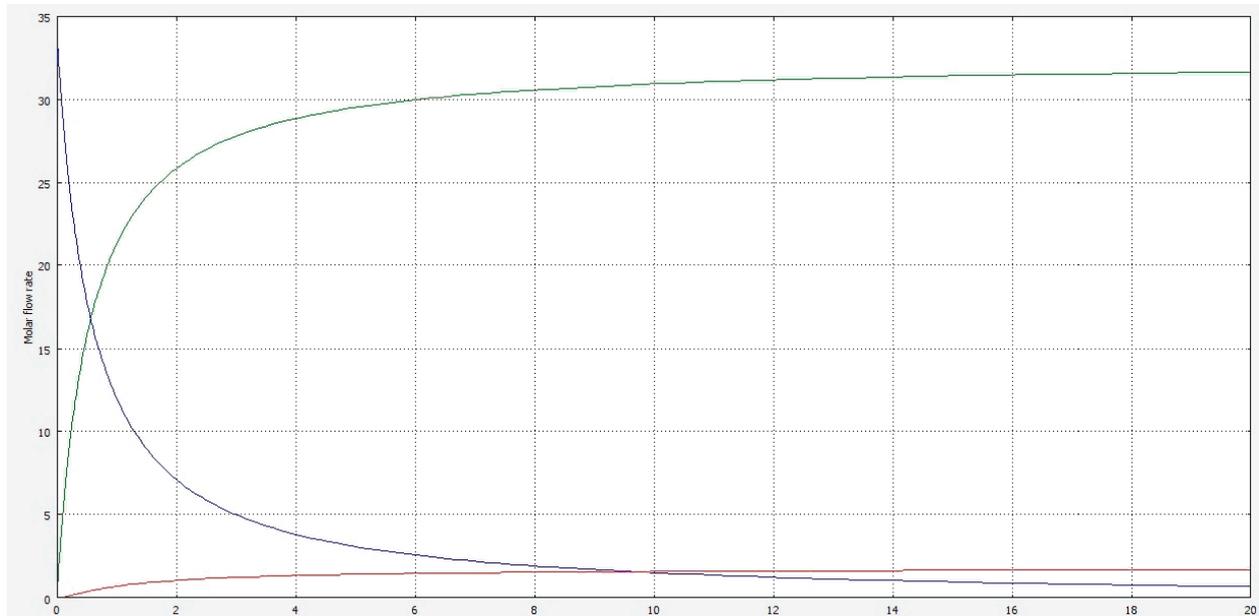


Рис. 1. Кинетические кривые процесса получения сероуглерода (B) в реакторе идеального вытеснения (РИВ)

Влияние конверсии метана на удельную производительность РИВ:

По заданным значениям построим график зависимости удельной производительности реактора от конверсии метана:

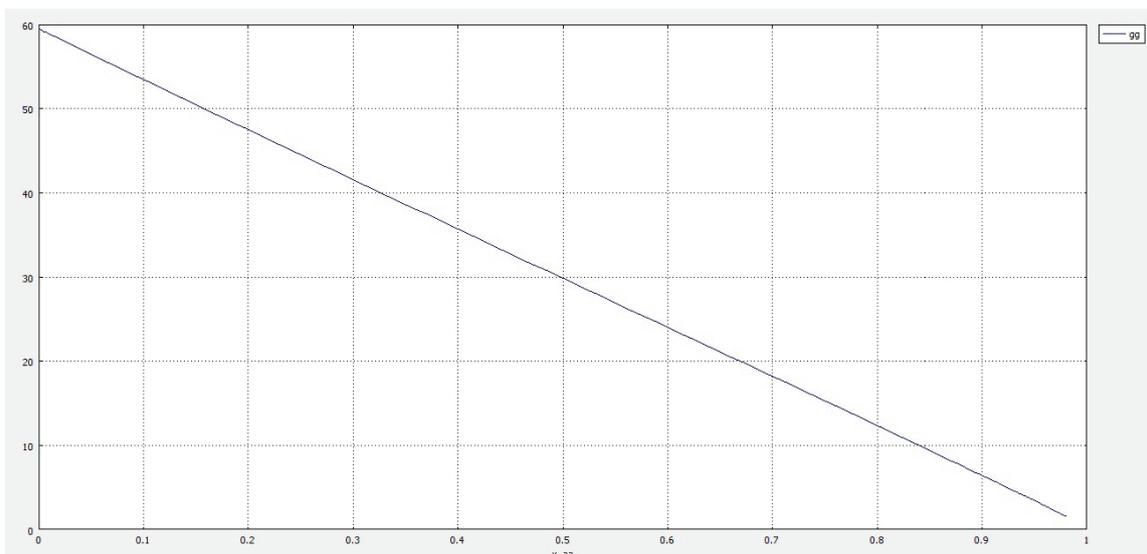


Рис. 2. График зависимости удельной производительности РИВ от конверсии метана ( $x_{aa}$ )

Падающий характер кривой  $G_B = f(x_{aa})$  объясняется тем, что скорость реакции синтеза сероуглерода уменьшается с повышением степени конверсии.

Влияние избытка второго реагента на удельную производительность РИВ:

Для определения зависимости удельной производительности РИВ от избытка серы выберем значение, при котором будем определять значение производительности: (A: Y = 1: 2,1):

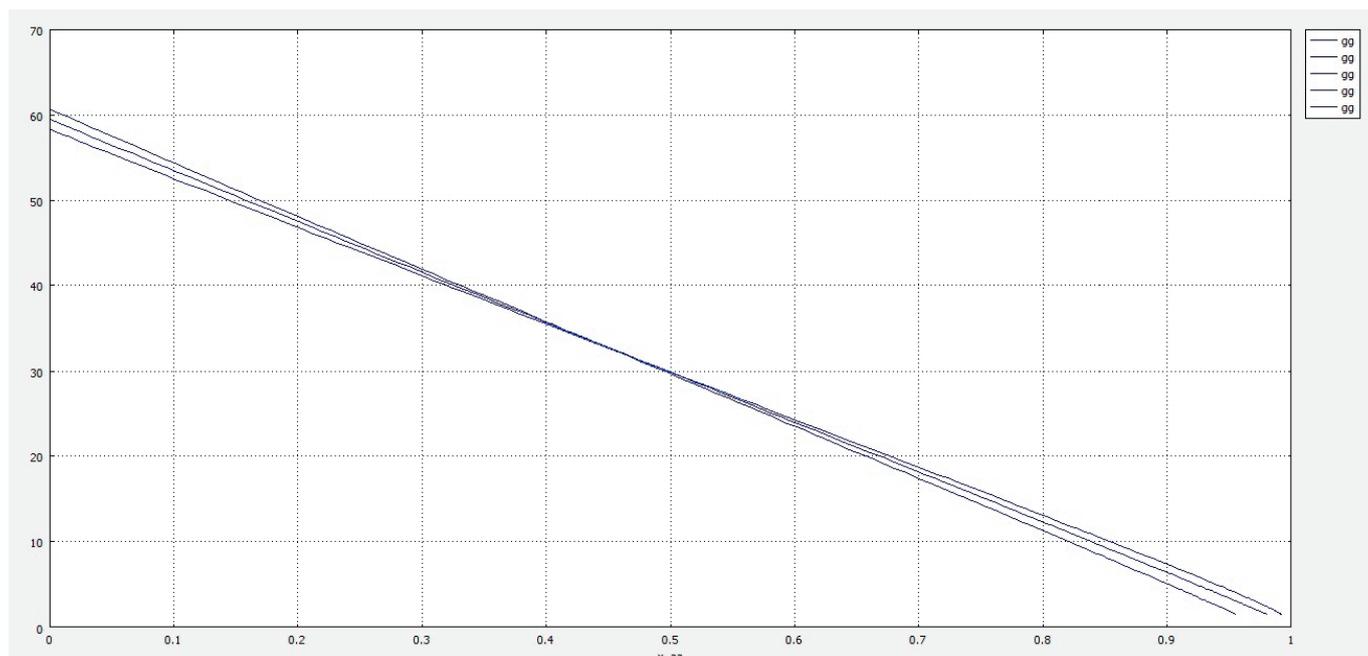


Рис. 3. График зависимости удельной производительности РИВ от конверсии метана, при избытке серы  
 1 — избыток серы 73,37 + 4,0 mol/s; 2 — базовое значение серы 73,37 mol/s; 3 — значение серы 73,37–4,0 mol/s

Повышение удельной производительности объясняется тем, что с увеличением избытка серы по отношению к метану скорость реакции возрастает, а, следовательно, возрастает и удельная производительность реактора.

Влияние температуры на удельную производительность РИВ:

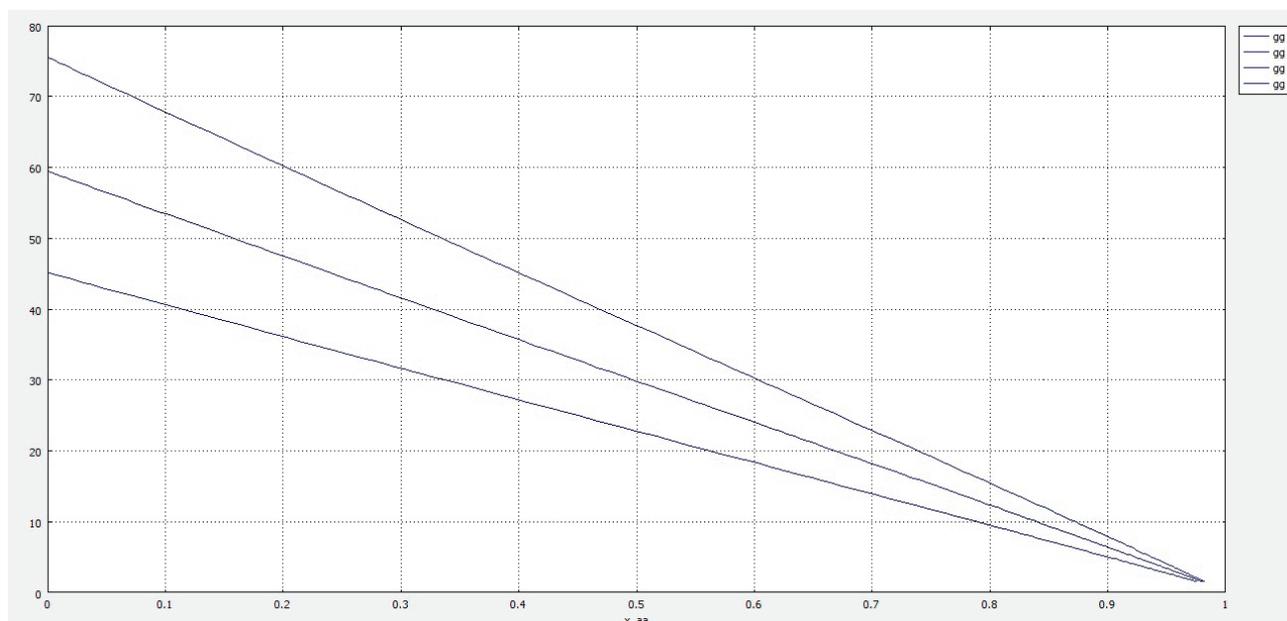


Рис. 4. Зависимость удельной производительности от конверсии метана для РИВ при температуре 298 + 600 (550, 650) К

Из графика видно, что значения удельной производительности РИВ повышаются при росте температуры. Это связано с тем, что рост температуры приводит к росту скорости, так как реакция получения сероуглерода является необратимой с положительной величиной энергии активации.

Далее рассмотрим влияние конверсии сероуглерода на селективность для РИВ:

Зависимость селективности от степени превращения:

Построим графики зависимости селективности реакции по продукту В для типа реактора РИВ:

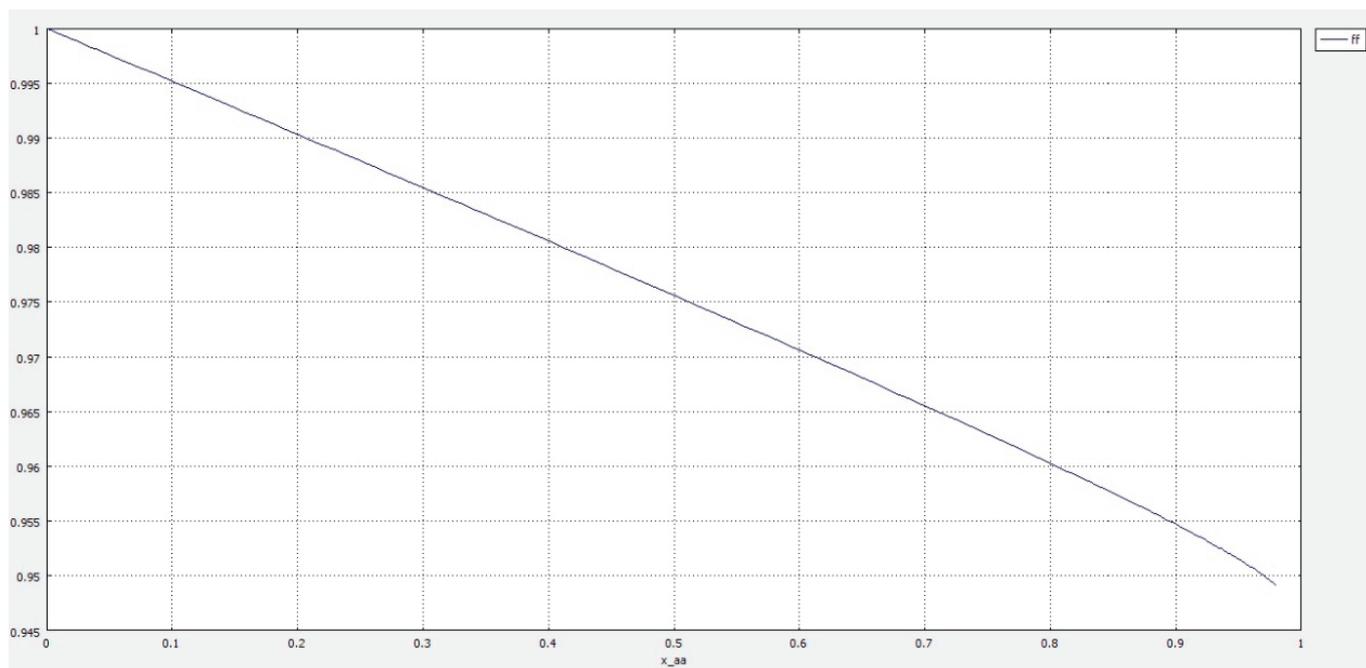


Рис. 5. График зависимости селективности реакции по целевому продукту от конверсии для РИВ

Падающий вид кривой  $\Phi_B^A = f(X_V)$  объясняется тем, константа скорости реакции синтеза сероуглерода  $k_1$  много больше константы скорости побочной реакции реакции  $k_2$ , поэтому селективность с увеличением конверсии значительно падает.

Влияние избытка второго реагента на селективность для РИВ:

Изменяя значение избытка второго реагента, построим графики зависимости селективности от конверсии метана.

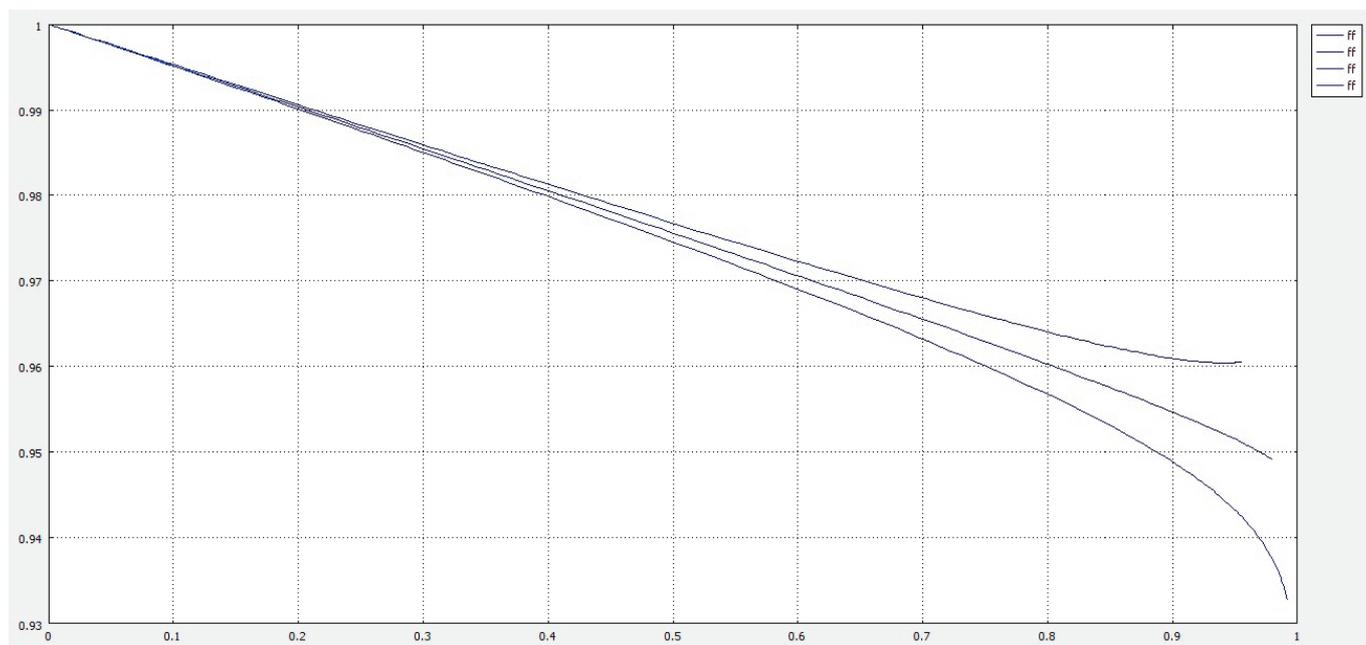


Рис. 6. График зависимости селективности РИВ от конверсии метана при различных значениях избытка серы

1 — избыток серы 73,37 + 4,0 mol/s; 2 — базовое значение серы 73,37 mol/s; 3 — значение серы 73,37–4,0 mol/s

При увеличении избытка второго реагента селективность процесса возрастает.

Влияние температуры на селективность РИВ:

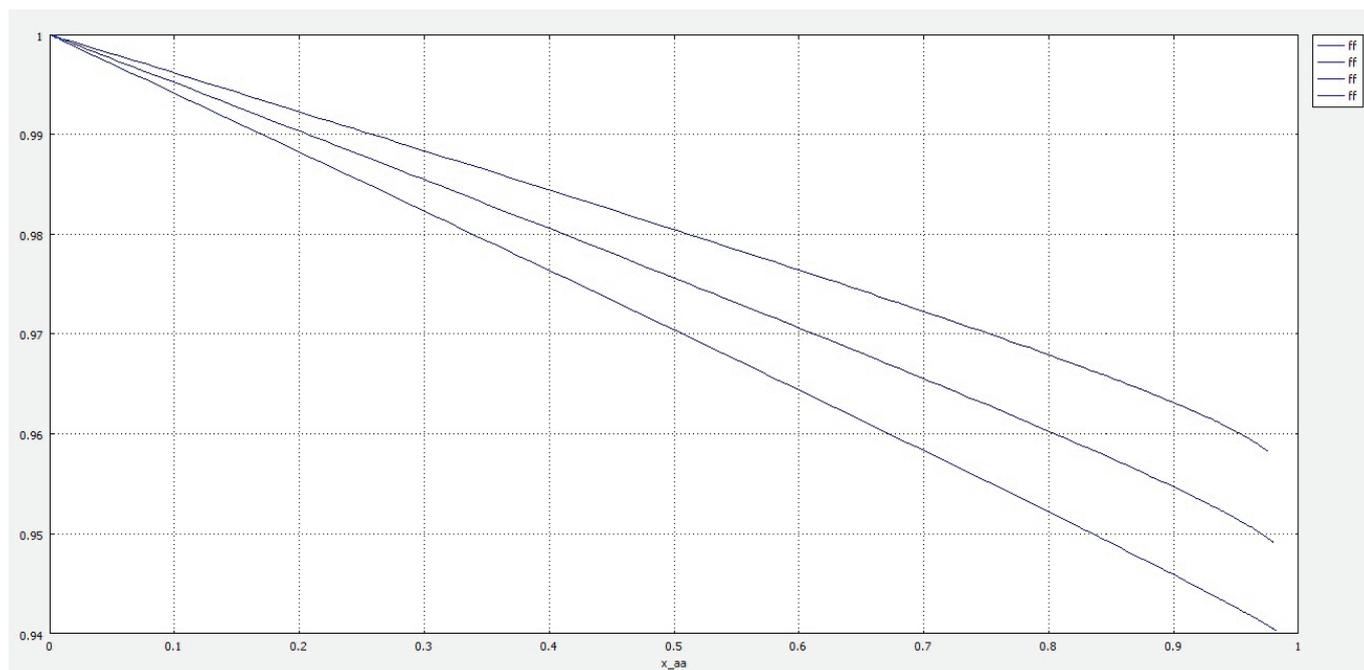


Рис. 7. График зависимости селективности РИВ от температуры

Селективность РИВ возрастает с повышением температуры процесса, что связано с большим (по модулю) значением энергии активации основной реакции, чем побочной.

Из графика зависимости удельной производительности РИВ от конверсии метана видно, что высокая удельная производительность при данной степени превращения может быть достигнута при использовании реактора РИВ, что соответствует тому, что для всех реакций с кинетическими уравнениями простого типа, имеющих суммарный порядок больше нуля, реакторы вытеснения наиболее производительны.

Реакция, протекающая в данном процессе — это необратимая реакция. Для данного процесса, чтобы получить высокую удельную производительность и селективность, выгодно проводить процесс в реакторе РИВ.

В ходе анализа были построены первичные кинетические кривые, был проведен анализ зависимостей удельной производительности и селективности реакции синтеза сероуглерода от параметров процесса.

В ходе анализа, увеличение температуры процесса свыше 650 °C слабо влияет на удельную производительность реактора, поэтому повышение температуры не рекомендуется, также повышение температуры ведет к понижению селективности процесса, что нежелательно. А также ведет к износу технологического оборудования

Было определено, что оптимальными условиями для проведения процесса являются — температура 600 °C в реакторе РИВ. Это позволит обеспечить высокую производительность и селективность процесса.

При оценке моделирования синтеза сероуглерода, можно сделать вывод, что наиболее выгодным будет использование реактора типа РИВ при высоких степенях конверсии.

#### Литература:

1. Пеликс, А. А. Химия и технология сероуглерода. / А. А. Пеликс, Б. С. Аранович, Е. А. Петров, Р. В. Котомкина. — Ленинград: Химия, 1986. — 224 с
2. Смуров, В. С. Производство сероуглерода. / В. С. Смуров, А. А. Аранович. — Ленинград: Химия, 1966. — 267 с.
3. Лебедев, Н. Н. Теория химических процессов основного органического и нефтехимического синтеза / Н. Н. Лебедев, М. Н. Манаков, В. Ф. Швец; под ред. Н. Н. Лебедева. — 2-е изд. перераб. — Москва: Химия, 1984. — 376 с.
4. Огородников, А. С. Моделирование в среде MatLab COMSOL 3.5a. Часть 1 / А. С. Огородников. — Томск: Изд-во ТПУ, 2012. — 104 с.

## Подбор реактора для процесса получения метионина

Поляков Даниил Сергеевич, студент магистратуры  
Волгоградский государственный технический университет

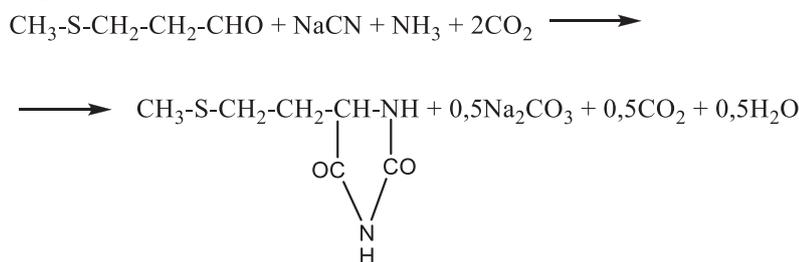
В статье рассматривается процесс получения метионина гидролизом гидантоина до метионата натрия и нейтрализацией до метионина. Выбран реактор для данного процесса на основе результатов моделирования в программе «COMSOL Reaction Engineering Lab».

**Ключевые слова:** метионат натрия, гидантоин, селективность, удельная производительность, реактор, моделирование.

Метионат натрия получают проведением двух последовательных реакций: [1]

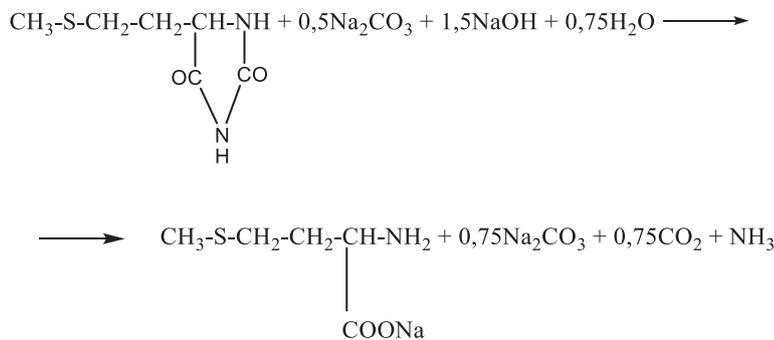
- синтеза гидантоина по методу Бухерера;
- гидролиза гидантоина раствором едкого натра.

Гидантоин по методу Бухерера получают путем воздействия цианистого натрия на метилтипропионовый альдегид (в водном растворе аммиака и углекислого газа):



Гидролиз гидантоина с получением метионата натрия.

Реакция гидролиза протекает путем воздействия едкого натра на гидантоин:



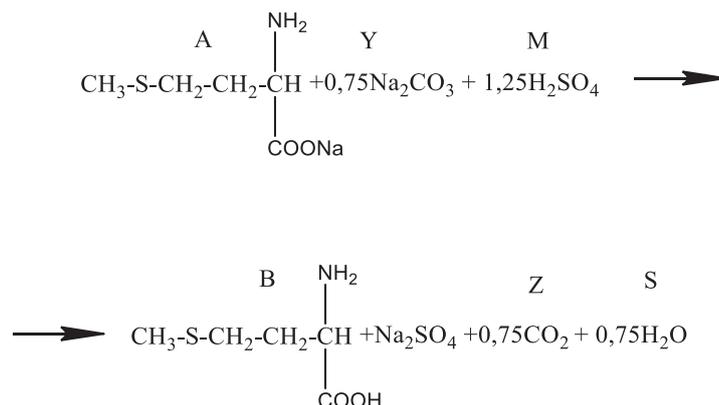
Мольное соотношение едкого натра и гидантоина равно 1,5–2,0.

Затем метионат натрия нейтрализуют серной кислотой до метионина. Побочной реакцией является образование дипептида (метионилметионина).

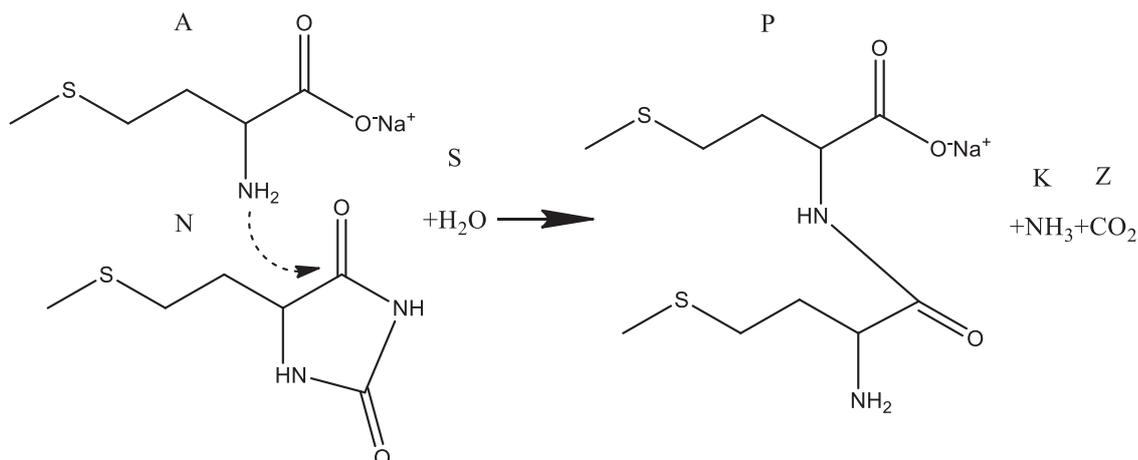
Формализованная схема процесса

Для формализации процесса рассмотрим две реакции. Основную и побочную реакции. Реакции являются параллельными.

Основная реакция:

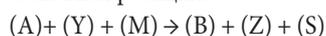


Побочная реакция:

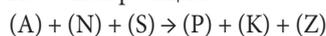


Реакции являются параллельными:

Основная реакция:



Побочная реакция:



Кинетическое уравнение реакции метионата натрия и углекислого газа: [2]

$$r = k[CO_2][Am]$$

где  $r$  — скорость образования метионина;

$CO$  — концентрация углекислого газа;

$Am$  — концентрация водного раствора метионата натрия.

$$k = 3,23 \cdot 10^6 \cdot e^{\frac{-11700}{RT}}$$

При выборе реактора учитываются два параметра — удельная производительность и селективность. Удельная производительность показывает какое количество целевого продукта образуется в единице реакционного объема в единицу времени.

Для выбора основного реактора проведем сравнение данных показателей для реакторов: идеальный периодический реактор (ИПР) и реактор идеального вытеснения (РИВ).

Для ИПР удельную производительность вычисляют по уравнению:

$$G_{B, ИПР} = \frac{n_B}{V_{ИПР} \cdot (v + v_{всп})} = \frac{v_B}{v_A} \cdot \frac{n_{A,0} \cdot X_A \cdot \Phi_B}{V_{ИПР} \cdot (v + v_{всп})} = \frac{v_B}{v_A} \cdot \frac{X_A \cdot \Phi_B}{\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{|r_A|} + \frac{v_{всп}}{C_{A,0}}}$$

Для реактора РИВ удельную производительность вычисляют по уравнению:

$$G_{B, РИВ} = \frac{F_B}{V_{РИВ}} = \frac{v_B}{v_A} \cdot \frac{F_{A,0} \cdot X_A \cdot \Phi_B}{V_{РИВ}} = \frac{v_B}{v_A} \cdot \frac{X_A \cdot \Phi_B}{\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{|r_A|}}$$

Сравнение удельной производительности (УП) для реакторов ИПР и РИВ произвели с помощью построения графика зависимости УП реактора от степени конверсии метионата натрия с использованием программы COMSOL Reaction Engineering Lab.

Из графиков видно, что более высокая удельная производительность при данной степени превращения может быть достигнута при использовании реактора РИВ, что соответствует тому, что для всех реакций с кинетическими уравнениями простого типа, имеющих суммарный порядок больше нуля, реакторы вытеснения более производительны, чем аппараты смешения.

Для сравнения селективности ИПР и РИВ построили график зависимости селективности от конверсии с использованием программы COMSOL Reaction Engineering Lab.

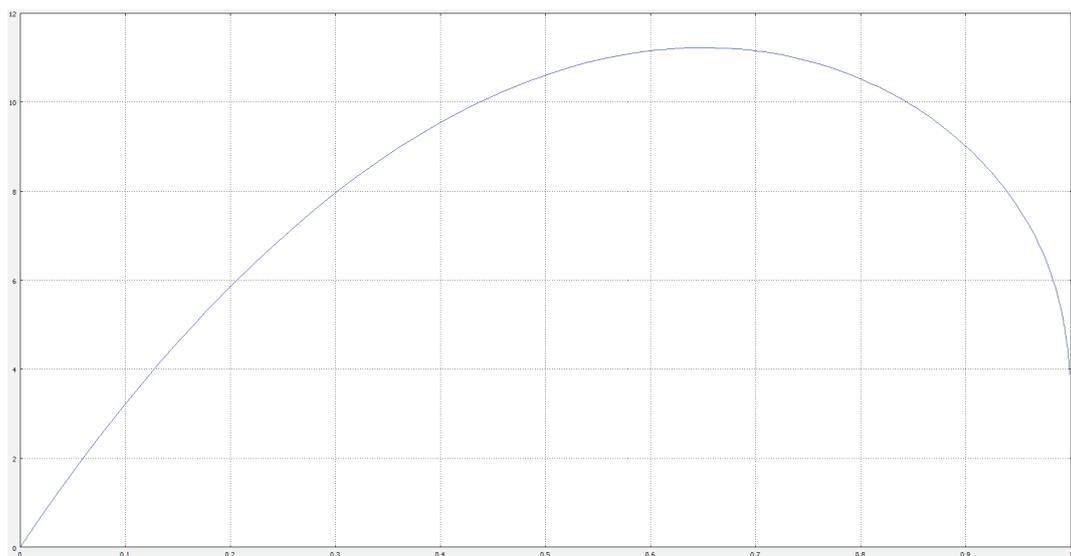


Рис. 1. График зависимости удельной производительности ИПР от конверсии метионата натрия

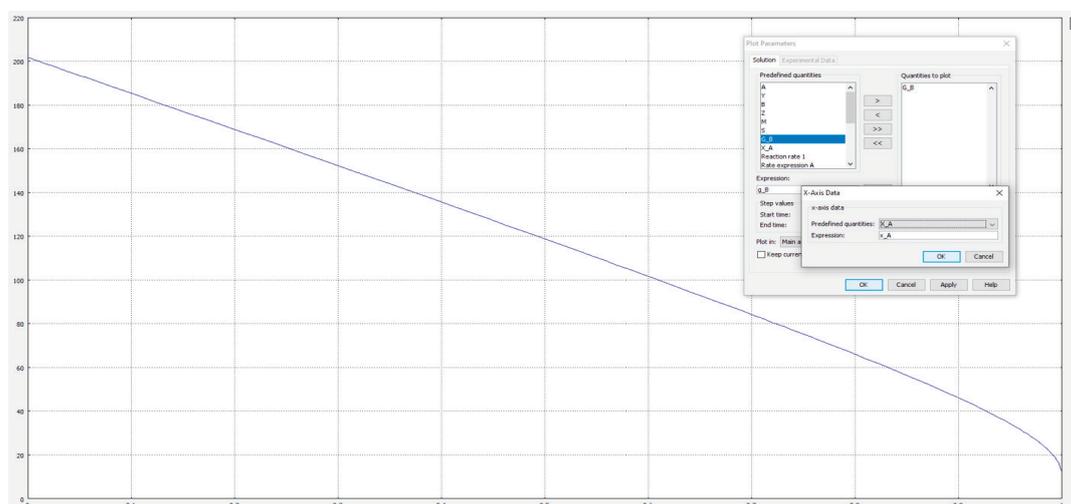


Рис. 2. График зависимости удельной производительности РИВ от конверсии метионата натрия

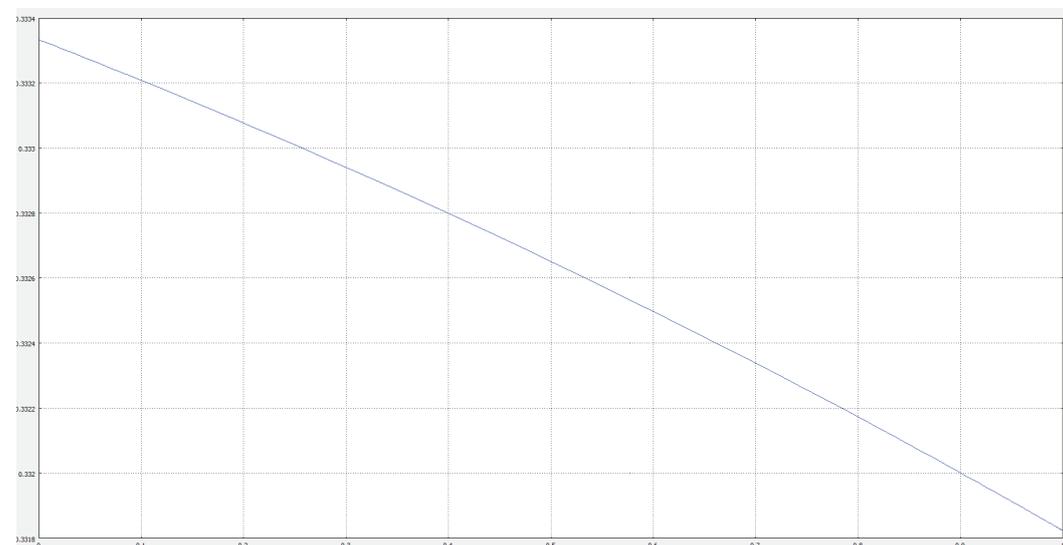


Рис. 3. Зависимость селективности от степени превращения метионата натрия в реакторе ИПР и РИВ

Реакция, протекающая в данном процессе — это параллельная необратимая реакция. Обычно при оценке селективности таких реакций в реакторах ИПР и РИВ оперируют соотношением этой селективности  $\Phi_{в, ИПР}^A / \Phi_{в, РИВ}^A$ . При высокой степени конверсии, которая имеет место в данном процессе, различие между ИПР и РИВ возрастает и при  $x_A \rightarrow 1$ , это отношение стремится к нулю. Так же имеет место соотношения констант  $k_2/k_1 \ll 1$ , что обычно характеризует падающую прямую соотношения от степени превращения сырья. Следовательно, для данного процесса, чтобы получить более высокую удельную производительность и селективность, выгодно проводить процесс в реакторе РИВ.

#### Литература:

1. Патент RU2708258 МПК C07C319/20, Способ получения метионина / Капель Никола, Рей Патрик. Заявитель и патентообладатель Адиссео Франс (FR). Заявл 15.04.2016; опубл.: 05.12.2019.
2. Исследование кинетики получения метионина [Текст]: деп. Редкол. ж. «Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим. / А.П. Хардин [и др.]; депонент Редкол. ж. »Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим. (Рига), 1981. — 19 с., ил.
3. Патент RU2618042 МПК B01D3/14 C07C319/20 C07C323/58, Способ получения соли метионина / Хассельбах Ханс, Йоахим Кёрфер, Мартин Грюнер, Кристоф П. Ханрат, Франц Х. Шток Йюрген, Гангдвала Джигнеш, Круль Хорст. Заявитель и патентообладатель Эвоник Дегусса Гмбх (DE). Заявл 23.08.2012; опубл.: 02.05.2017.
4. P. S. Kumar, J. A. Hogendoorn, and G. F. Vesteeg Kinetics of the reaction of CO<sub>2</sub> with aqueous potassium salt of taurine and glycine.— University of Twente, 7500 AE Enschede, The Netherlands, 2003. — 11 с.

# Молодой ученый

Международный научный журнал  
№ 19 (466) / 2023

Выпускающий редактор Г. А. Кайнова  
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова  
Художник Е. А. Шишков  
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.  
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.  
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.  
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 24.05.2023. Дата выхода в свет: 31.05.2023.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.