

Булкин В.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23*

### **Проблемы организации комплексного оперативного контроля физических и химических факторов окружающей среды в селитебных зонах населенных пунктов**

Влияние загрязняющих факторов на состояние селитебных территорий, на биоту и, в конечном итоге, на здоровье человека, безусловно. Среди причин, оказывающих негативное влияние на состояние здоровья населения и демографическую ситуацию, существенную роль играет экологическая составляющая. Как показывают данные Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды уровни загрязнения природной среды в последние годы в целом оставались высокими, не адекватными промышленному спаду.

Обозначенная в данной работе проблема имеет значение практически на всей территории Российской Федерации, поскольку уровень таких загрязнений и фиксируемые заболевания, обусловленные этими загрязнениями, высоки на всей территории России.

#### **Общее состояние проблем загрязнения окружающей среды**

Антропогенное воздействие в городах является одной из важных проблем, имеющих фундаментальное и прикладное значение. Его результаты определяют состояние городской среды. В современном городе в результате развития промышленности, транспорта, и бурного роста самого города складывается неблагоприятная экологическая обстановка.

Оставшиеся природные экосистемы не способны компенсировать негативное воздействие антропогенных факторов, а реально принимаемые административные меры лишь частично сдерживают рост агрессивного воздействия бытовых, транспортных и промышленных отходов на среду обитания человека в городе. Исследование этих вопросов входит в круг проблем, представляющих интерес для учёных практических специалистов.

#### **Загрязнение атмосферного воздуха и почвы**

Загрязнение атмосферного воздуха продолжает оставаться одним из главных факторов риска для здоровья населения.

Приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха остаются пыль, окислы азота, окись углерода, формальдегид, углеводороды, сернистый газ. В ряде областей России в районах активного движения автотранспорта превышение уровня ПДК по количеству проб с содержанием окислов азота и углерода в атмосферном воздухе выше ПДК доходит до 60%. Наряду с этим в последние годы увеличивается количество проб с превышением ПДК по бензопирену — крайне токсичному веществу. В том числе и влияние этих загрязнителей приводит к тому, что хронические болезни респираторной системы приобретают все большую распространённость среди детей и подростков.

Кроме загрязнения селитебных территорий соединениями свинца и кадмия, в местах расположения автотрасс с активным движением происходит насыщение подстилающей поверхности твёрдыми соединениями углерода и жидко-капельными несгоревшими фракциями углеводородов. Уровень среднемесячных разовых концентраций таких загрязнителей, как оксид углерода, взвешенные частицы, сажа, может возрастать, в зависимости от изменения климатических условий, в 3-5 раз. Концентрации главных загрязнителей (диоксид серы и др.) наиболее часто превышают допустимые уровни во многих городах России.

Вблизи крупных автотрасс отмечается устойчивый (в пределах 6%) годовой рост максимально наблюдаемых среднегодовых концентраций мелких взвешенных частиц с размером менее 10 мкм: 2004г. – 0,045 мг/м<sup>3</sup>, 2005год – 0,046 мг/м<sup>3</sup>, 2006 г. – 0,049 мг/м<sup>3</sup>. С 2004 года наметилась тенденция устойчивого прироста загрязнения диоксидом азота (3-5 % в год). При этом рост содержания диоксида азота отмечен и на жилых территориях города.

В ряде городов до четверти населения проживает на территориях с недопустимым риском развития онкологических заболеваний. Имеет место превышение допустимых уровней: по бенз(а)пирену – 1,4 ПДК, по формальдегиду – 4,6 ПДК, по взвешенным веществам – 1,4 ПДК.

#### Электромагнитный смог в техносфере

Существенное увеличение уровня ЭМП наблюдается и в жилой зоне. Полученные данные говорят о влиянии увеличивающегося числа электронной техники на уровень ЭМП. Не защищены от такого влияния и учреждения, связанные с пребыванием людей, организм которых ослаблен или ещё не имеет надёжной защиты – больницы, детские учреждения.

Существенный вклад в увеличение уровня ЭМИ вносит и то, что в существенной части жилых или административных зданий отсутствует требуемое по современным стандартам заземление (в настоящее время Правила устройства электроустановок предусматривают трёхпроводные системы электропитания TN-S и TN-C-S, но во многих домах старой постройки присутствует прежняя двухпроводная система). Как показывают результаты исследований, даже простое дополнение двухпроводной системы электропитания в квартире заземляющим проводом существенно снижает уровни ЭП и ЭМП.

Поскольку снижение уровней полей является значимой задачей, необходима разработка системы соответствующего мониторинга.

#### Акустошумовое загрязнение техносферы

Значимой проблемой с точки зрения влияния на состояние человека является воздействие акустических сигналов, в частности, инфра- и ультразвука. Нарушения в органе слуха, вызванные интенсивным шумом, занимают первое место в общероссийской структуре профессиональных заболеваний ЛОР-органов (54,8%). В крупных городах средняя интенсивность движения достигает 2000-3000 транспортных единиц в час и больше, а максимальные уровни шума - 90-95 дБА. Не составляют исключения и малые города, в которых загруженность автотранспортом резко выросла в последние годы. За последнее время средний уровень шума, производимый транспортом, увеличился на 12-14 дБ.

К акустическим сигналам относятся инфра- и ультразвуковые колебания. Известно, что воздействие колебаний частотой 2–15 Гц и интенсивностью 95–105 дБ вызывает замедление зрительной реакции, увеличивает число ошибок слежения за измерительными приборами, нарушает функции вестибулярного аппарата, изменяет ритм сердечной деятельности, дыхания. Измеренные уровни интенсивности инфразвуковых составляющих в спектре для ряда промышленных источников (частота/интенсивность): газотурбинные установки 2–6 Гц / 120–133 дБ, грузовые автомашины (выхлоп) - 2–32 Гц / 117–128 дБ, промышленные воздуходувки - 3–12 Гц / 110–130 дБ, и т.д..

С влиянием инфразвуковых колебаний сливается воздействие вибраций. Кроме понятного влияния на несущие конструкции механических систем, фундаменты и стены зданий, вибрации оказывают влияние и на организм человека. Известно, что тело человека обладает собственными резонансными частотами, имеющими значения, например, для головы - 20–30 Гц, глаз - 40–100 Гц, сердца - 4–6 Гц, позвоночника - 4–6 Гц, и т.д.

#### Влияние макро- и микроклимата на состояние окружающей среды

Существенное влияние на жизнь техногенной зоны оказывает изменение климатических условий, в силу чего анализ характера и уровней загрязнения во многих случаях невозможен без учёта влияния урбанизации на локальные или региональные климатические условия, поскольку города создают специфический климат внутри себя, что происходит под влиянием самих загрязнений. В силу чего становится актуальной задача совмещения экологического мониторинга с мониторингом метеорологическим.

Контроль метеопараметров осуществляется на специальных метеорологических станциях, результаты измерений считаются средними для данной территории. Однако каждая из характерных территорий города имеет свои климатические особенности, что может менять, причём принципиально, некоторые из параметров, влияющих на характер локализации или распространения шума. В первую очередь к таким параметрам относятся скорость и направление ветра, а также температура воздушной среды и её распределение в горизонтальной и

вертикальной плоскостях. Существенное влияние на распространение рассмотренных выше загрязнителей оказывают и такие метеопараметры, как атмосферное давление и влажность, количество жидких осадков. Например, повышенная влажность в атмосфере уменьшает интенсивность ультра- и инфразвуков, повышенная влажность грунтов и строительных конструкций, изменяющаяся в результате наличия осадков, увеличивает степень демпфирования вибраций, и т.д.

Современные автоматизированные системы мониторинга естественно-природных и техногенных зон

Создание автоматизированных систем мониторинга естественно-природных и техногенных зон в настоящее время является актуальной задачей. Применительно к различным задачам мониторинга (метеорологического или экологического) такая задача решалась различными вариантами. Как показывает анализ указанной информации, построение таких систем имеет ряд общих принципов, реализуемых посредством известных технических решений. Вместе с тем, с учётом конкретных особенностей построения самой контрольно-измерительной системы, решаемых задач, структура системы будет иметь свои особенности.

Визуализация результатов мониторинга (уровня загрязнений, состояния среды и других параметров наблюдения) наглядно осуществляется средствами геоинформационных систем (ГИС). Для этих целей успешно используются как коммерческие (ArcInfo, MapInfo, Panorama, Ingeo) так и свободно распространяемые ГИС (Quantum GIS, vSIG). Одним из преимуществ использования ГИС является возможность привязки данных наблюдений к картографической основе. Это позволяет учитывать пространственное распространение исследуемых явлений и проводить математическое моделирование.

Таким образом, разработка методов и средств мониторинга селитебных территорий, обеспечивающих осуществление комплексного анализа влияния различных физических и химических параметров, является актуальной задачей.

В настоящее время известны системы мониторинга, включающие контроль за совокупностью параметров окружающей среды и обеспечивающие визуализацию полученных данных. Среди таких систем можно, например, отметить систему экологического мониторинга окружающей среды «СЭМОС».

Также известен комплекс средств автоматизации «Единый центр оперативного реагирования» (КСА ЕЦОР) - решение ряда вопросов в рамках программы «Безопасный город».

Система мониторинга параметров окружающей среды (СиМПОС) — позиционируется как универсальная, многофункциональная система, предназначенная для оперативного контроля основных параметров окружающей среды. Однако и она, в целом, предназначена для решения специфических задач МЧС.

Одной из самых развитых систем мониторинга является система Государственного природоохранного бюджетного учреждения «Мосэкомониторинг».

В целом можно сказать, что во всех рассмотренных системах не учитывается наличие в городской среде электромагнитного смога (загрязнения), наличие акустического шума в области инфразвука, отсутствует прогнозирование распространения акустического шума вглубь жилой территории, возможность карстовой активности на территории города.

#### Заключение

Выявление взаимосвязи и совместного влияния указанных параметров на характер экологической обстановки, относится к задачам фундаментального порядка. Решение такой фундаментальной задачи невозможно без применения соответствующего оборудования, что ставит задачу разработки и построения измерительно-информационной системы получения, обработки и представления данных.

Гусейнов Н.Г.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
tb-mivlgu@mail.ru*

### **Определение содержания железа в растворе методом гравиметрии**

В основе гравиметрического анализа лежит закон постоянства состава, по которому отношение массы элементов, входящих в состав вещества, всегда одинаково, и закон эквивалентов, по которому массы элементов, участвующих в реакции, всегда обнаруживают постоянное и неизменное отношение друг к другу.

Гравиметрический анализ состоит в определении массы и содержания какого-либо элемента, иона или химического соединения, находящегося в испытуемой пробе. Искомую составную часть выделяют либо в чистом виде, либо в виде определенного соединения и выражают в процентах.

Целью работы является: практическое знакомство с гравиметрическим методом количественного химического анализа, его особенностями и приемами проведения. Освоить методику определения железа, включающую операции - осаждение; фильтрование и промывание; высушивание; прокаливание; взвешивание.

В результате проведенной работы последовательно, поэтапно изучено определение содержания железа в растворе методом гравиметрии. Рассмотрены вопросы содержания железа в виде различных соединений в природных ресурсах (вода, почва и др.), его значимости для организма человека и животных.

Материалом для исследования были также сточные воды, формирующиеся на территории, и в результате производственной деятельности нескольких предприятий нашего региона (в период март, апрель 2021).

Соединения железа очень часто встречаются в природных водах, переходя в раствор из различных горных пород, в которых железо чрезвычайно распространено, хотя часто очень в малых количествах. Переход железа в раствор может происходить под действием окислителей (кислород) или кислот (угольной, органической). Железо двух или трехвалентное содержится во всех естественных водоисточниках. Железо – необходимая составная часть организма человека и животных. Оно используется для построения жизненно важных дыхательных и окислительных ферментов (гемоглобина, катализы). Взрослый человек получает в сутки десятки миллиграммов железа, поэтому количество поступающего с водой железа не имеет существенного физиологического значения. Однако присутствие железа в виде больших концентраций нежелательно по эстетическим и бытовым соображениям.

Железо придает воде мутность, желто-бурую окраску, горьковато металлический привкус, оставляет пятна ржавчины. Таким образом, содержание железа в питьевой воде лимитируется влиянием на мутность и цветность. Допустимой концентрацией по стандарту является не более 0,3 мг/л; для подземных источников не более 1,0 мг/л.

Результаты исследования сточных вод некоторых предприятия нашего региона (период март апрель 2021) доложены в журнале: МАТЕС Web of Conferences (Web of Science).

### **Литература**

1. Алексеев В.Н. Количественный анализ. М., 1972
2. Труфанов А.И. Формирование железистых подземных вод. – М.: Наука, 1982-126 с.
3. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. Киев, 1981.

Ермолаева В.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: ErmolaevaVA2013@mail.ru

### Абсорбция в производстве соляной кислоты.

Целью работы является изучение процесса абсорбции в производстве соляной кислоты, конструкции и принципа действия насадочного абсорбционного аппарата, его технологический расчет. Рассмотрена классификация абсорберов, физико-химические особенности процесса абсорбции и причины использования насадочного абсорбера. Изучен вопрос правил безопасности при использовании оборудования.

Производство синтетической соляной кислоты методом абсорбции имеет следующие преимущества: продукт - более концентрированная кислота, чем другие методы производства; меньший расход сырья и энергии; отсутствует выделение токсичных и опасных для здоровья отходов.

Преимущества абсорбера: реакция полного поглощения хлористого водорода водой  
Недостатки абсорбера: трудность отвода тепла в процессе абсорбции, использование циркуляционного отвода тепла в выносных холодильниках. Абсорбция - процесс поглощения газа жидким поглотителем – зависит от площади поверхности соприкосновения фаз. Поэтому абсорберах создается развитая поверхность соприкосновения между газом и жидкостью. По способу образования этой поверхности абсорбционные аппараты можно разделить на поверхностные, пленочные, насадочные, барботажные и распыливающие.

Произведен практический расчет материального баланса работы по следующим исходным данным: производительность по соляной кислоте, 10 т/ч; степень извлечения, 98%; температура газовой смеси, 22 °С; начальная объемная концентрация хлороводорода в воздухе, 70 %; конечная объемная концентрация хлороводорода в воде, 40 %.

Результаты расчета: Начальная объемная концентрация газовой фазы 2,94 кг/кг;

Концентрация хлороводорода 0,06 кг/кг, в газовой смеси на выходе из абсорбера с учетом степени извлечения 0,98;

Конечная концентрация хлороводорода в воде 0,66 кг/кг;

Количество хлороводорода, поступающего в колонну 2,6 кг/м<sup>3</sup>;

Количество воздуха, поступившего на абсорбцию 1,914 кг/м<sup>3</sup>;

Количество поглощенного хлороводорода 2,548 кг/с; Расход воды в абсорбере 3,86 кг/с;

Количество не поглощенного хлороводорода 0,052 кг/с;

Тепловой баланс производства по стадии абсорбции хлороводорода в абсорбере рассчитывался по следующим исходным данным:

Дифференциальная теплота растворения HCl 4500 кДж/кмоль с переводом 123287 Дж/кг;

Удельная теплоемкость воздуха 1010 Дж/кг·К; Удельная теплоемкость воды 4190 Дж/кг·К;

Удельная теплоемкость хлороводорода 2462 Дж/кг·К; Начальная температура жидкости 22°С;

Таблица 1. Сводная таблица теплового баланса.

Приход			Расход		
Тепловые потоки	Дж	%	Тепловые потоки	Дж	%
Газовая фаза, Q <sub>1</sub>	18335,548	4,08	Газовая фаза, Q <sub>3</sub>	2767,879	1,458
Жидкая фаза, Q <sub>2</sub>	35581,48	20,5	Жидкая фаза, Q <sub>4</sub>	352436,78	96,54
Выделившаяся теплота Q <sub>p</sub>	314136,98	75,42	Тепловые потери Q <sub>пот</sub>	736,11	0,002
			Отводимое тепло Q <sub>отв</sub>	12113,23	2
Итого	368054,01	100	Итого	368054,01	100

### Литература

1. Абсорбер. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/bse/6.html>
2. Ермолаева В.А., Поликарпова Д.М. Анализ технологического процесса производства азотной кислоты, Международный журнал гуманитарных и естественных наук, № 5, т. 2, 2018. с. 73-76

Ермолаева В.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: ErmolaevaVA2013@mail.ru*

### Электрический баланс электролизера в производстве алюминия.

Данная работа посвящена изучению электролизера, с помощью которого получают первичный алюминий. На сегодняшний день алюминий - не только один из самых распространенных в природе металлов, но и один из самых ценных. Современный метод получения, процесс Холла—Эру был разработан независимо американцем Чарльзом Холлом и французом Полем Эру в 1886 году. Он заключается в растворении оксида алюминия  $Al_2O_3$  в расплаве криолита  $Na_3AlF_6$  с последующим электролизом с использованием расходоуемых коксовых или графитовых анодных электродов. Такой метод получения требует очень больших затрат электроэнергии, и поэтому получил промышленное применение только в XX веке

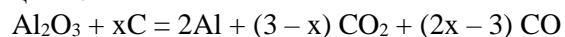
Единственным применяющимся в крупномасштабном промышленном производстве способом получения металлического алюминия является электролитическое разложение его оксида, растворенного в расплавленном криолите  $Na_3AlF_6$  (или  $3NaF \cdot AlF_3$ ).

В работе проведено полное описание устройства электролизера, рассмотрены виды электролизеров, проведены расчеты электрического баланса.

Основным исходным сырьем являются глинозем ( $Al_2O_3$ ), фтористый алюминий ( $AlF_3$ ) и криолит ( $Na_3AlF_6$ ), также добавляется фтористый кальций ( $CaF_2$ ). Внутри электролизера глинозем поступает автоматически, порциями по 2 кг.

Технологический процесс осуществляется при  $950^\circ C$ . Ток подводят с помощью 32 электродов из прессованного и обожженного угля. Алюминиевое производство считается самым энергозатратным. На катоде выделяется алюминий, который периодически выливается с помощью вакуум-ковша и направляется в литейное отделение, где готовятся сплавы с кремнием, магнием, марганцем, медью или проводится рафинирование. На аноде происходит окисление выделяющимся кислородом углерода. Отходящий анодный газ представляет собой смесь  $CO_2$  и  $CO$ .

Суммарная реакция процесса:



Получение алюминия электролизом криолитоглиноземного расплава связано не только с большим расходом электроэнергии, но и со значительным расходом угольных анодов (420—575 кг/т алюминия), что составляет 20-25 % себестоимости алюминия.

Электролизер - большая ванна, дно которой выложено огнеупорным кирпичом. Роль катода выполняет дно ванны, а анода – погружаемые в криолит угольные блоки длиной около 1,5 метров и шириной 0,5 метра. Анодная плотность тока  $0,862 \text{ A/cm}^2$

Расчёт электрического баланса состоит в определении падений напряжения в конструктивных элементах электролизёра, в электролите и напряжений поляризации.

Величину практического напряжения разложения глинозема можно выразить следующим образом:

$$E_p = N_{CO_2} \cdot E_{Al_2O_3(CO_2)} + (1 - N_{CO_2}) \cdot E_{Al_2O_3(CO)} = 0,78 \cdot 1,19 + (1 - 0,78) \cdot 1,08 = 1,166 \text{ В}$$

Рассчитанные значения:

Анодное перенапряжение 0,199 В. Концентрационное перенапряжение 0,162 В.

ЭДС поляризации 1,572 В. Среднее удельное сопротивление анода 0,0076 Ом · см.

Удельное электросопротивление электролита 0,44 Ом · см.

Падение напряжения в электролите (расчетное 1,59 В) составляет весомую долю напряжения на ванне, поэтому необходимо чётко следить за этой величиной. Дополнительное падение напряжения, вызванное пузырьковым слоем 0,849 В.

С учетом этого значения падение напряжения в электролите составит:

$$\Delta U_{эл} = 1,59 + 0,847 = 2,437 \text{ В}$$

Электрический баланс электролизера представлен в таблице.

Составляющие напряжения на ванне	Обозначения	Величина, В
Напряжение поляризации	$E$	1,572
Потери напряжения		
в аноде	$\Delta U_a$	0,579
в электролите	$\Delta U_{эл}$	2,437
в катоде	$\Delta U_k$	0,486
от анодных эффектов	$\Delta U_{АЭ}$	0,017
в ошиновке ванны	$\Delta U_{ош}$	0,623
Греющее напряжение	$\Delta U_{гр}$	5,091
Рабочее напряжение	$\Delta U_p$	5,697
Среднее напряжение	$\Delta U_{ср}$	5,754

Производительность современных электролизных ванн составляет 500—1200 кг алюминия в сутки. Для получения 1 т алюминия расходуется: 1,95 т глинозема, 25 кг криолита, 25 кг фтористого алюминия, 0,5—0,6 т анодной массы, 14—16 МВт · ч электроэнергии.

#### Литература

1. Ермолаева В.А., Козлова Я.Ю. Исследование технологического процесса получения алюминия электролизом глинозема, Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. - 2016. - № 4(30) - с. 10-15.
2. Ермолаева В.А. Алгоритмы расчета и расчетные характеристики химико-технологических процессов, Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 5, 2018, стр. 28-33.

Ильченко И.А.  
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»  
г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44  
i.a.ilchenko@rambler.ru

### Анализ безопасности рекреационных зон города Таганрога

Одной из задач управления муниципальными образованиями является обеспечение комфортных и безопасных условий для отдыха и восстановления здоровья проживающих в них граждан, для чего в территориальной структуре предусмотрено наличие рекреационных зон. Объектом исследования в данной работе являются рекреационные зоны муниципального образования город Таганрог, предметом исследования – факторы, влияющие на их комфортность и безопасность.

Согласно Градостроительному кодексу РФ [1], рекреационные зоны используются для организации мест отдыха населения и могут включать только объекты оздоровительного и рекреационного назначения. Для комфортного отдыха в зоне рекреации должны быть хорошие микроклиматические (температура, влажность, ветровой режим, солнечная радиация) и теллурические условия, которые связаны с особенностями состава воздуха, которые вдыхает человек при нахождении в такой зоне [2]. Анализ нормативно-правовых документов, научных и методических работ в сфере рекреационного природопользования позволяет сделать заключение, что к основным характеристикам рекреационных зон городского типа можно отнести благоприятный микроклимат, включающий более мягкие по сравнению с улицами температурный, ветровой и влажностный режимы, наличие зеленых насаждений, наличие пешеходных дорожек, оборудованных мест для пассивного и активного отдыха (лавочки, объекты культурно-развлекательного, торгового, спортивного назначения) и др.

Рекреационная зона города Таганрога включает 3 парка, 5 пляжей, Пушкинскую и Чеховскую набережные, 6 скверов и городские леса. На долю парков, скверов и городских лесов приходится 113,05 га, из них 56,4 % составляют городские парки и скверы, 43,7 % – городские леса. Таганрогское городское лесничество включает 5 урочищ общей площадью 49,4 га: урочище «Б.Черепаша», урочище «Валовое», урочище «Пригородное», урочище «Сады», урочище «Склоны мыса», – земли которых относятся к категории зон рекреации, поэтому строительство в них запрещено.

К ближним рекреационным зонам Таганрога, посещаемым горожанами не реже одного раза в неделю, относятся сквер Северной площади, сквер Октябрьской площади, сквер у памятника Петру I, сквер-бульвар на пер. Смирновский, сквер около памятника А.П.Чехову. Это связано с их территориальной доступностью жителям центральной части города и наличием в них объектов культурно-развлекательного, торгового, спортивного назначения. В то же время и сквер на площади Восстания из-за перегруженности торговыми объектами может быть использован только для пеших и велосипедных прогулок. Центральный и Приморский парки культуры и отдыха в силу их географического положения и благоустроенности также являются ближними рекреационными зонами для жителей близлежащих кварталов. В Парке 300-летия Таганрога реализуется второй этап благоустройства в рамках нацпроекта «Жилье и городская среда» госпрограммы «Формирование современной городской среды на территории Ростовской области», который завершится в конце июля 2022 г. В соответствии с проектом в парке в дополнение к пешеходным и велодорожкам добавятся детская и спортивная площадки, велодорожки, площадка под минифутбол, баскетбол и волейбол, столы для игры в настольный теннис и площадка для воркаута. Данный парк также будет выполнять функции ближней рекреационной зоны в микрорайоне «Русское поле». Роща "Дубки" является природным памятником и ранее имела региональный природоохранный статус, сейчас – это особо охраняемая территория местного значения, в которой в настоящее время проводится оценка состояния зеленых насаждений. Следует отметить, что все рассмотренные рекреационные объекты характеризуются наличием старых растений, недостаточным их видовым и ярусным разнообразием, что негативно отражается на формировании их микроклимата и теллурических условий.



Для рекреационных зон наибольшее значение имеют такие характеристики экологическое состояние городской среды как уровень загрязнения воздуха и шум. За последние 5 лет наблюдались следующие изменения концентраций основных загрязнителей атмосферного воздуха [3]: увеличились средние концентрации взвешенных веществ с 0,2 ПДК в 2016 г. до 0,3 ПДК в 2020 г., оксида серы (IV) – с 0,02 до 0,005 ПДК, оксида азота (II) – с 0,06 до 0,03 ПДК, хлороводорода – с 0,07 до 0,1 ПДК, бенз(а)пирена – с 0,4 до 0,3 ПДК, уменьшились средние концентрации оксида углерода (II) – с 3,0 до 2,1 ПДК, оксида азота (IV) – с 0,08 до 0,03 ПДК. ИЗА понизился от 6 в 2016 и 2017 гг. до 5 в 2020 г., хотя в 2018-2019 гг. этот индекс имел более низкое значение, равное 3. Основной вклад в загрязнение воздуха вносят выбросы автотранспорта и промышленных предприятий. Шумовое загрязнение вблизи рекреаций варьировалось и в дневные часы превышало ПДК в среднем в 2-4 раза.

Для пляжного отдыха, подразумевающего наряду с солнечными ваннами и купание в море, важно качество морской воды. Уровень загрязнения вод Таганрогского залива Азовского моря оценивался в 2019-2020 гг. как «умеренно загрязненные», тогда как в предыдущие годы – как «загрязненные» [4]. В числе наиболее важных загрязнителей – нефтепродукты и аммонийный азот. Средняя соленость вод  $\approx 4$  ‰, т.е. вода солоноватая.

Проведенный анализ характеристик рекреационных зон г.Таганрога показывает, что по таким факторам как степень загрязнения атмосферного воздуха, шум, степень загрязнения морской воды отдых горожан не является безопасным, поэтому необходимо принятие и выполнение ряда управленческих решений: 1) для обеспечения безопасности воздуха необходима модернизация действующих систем очистки промышленных выбросов в атмосферу или замена их на более эффективные, или внедрение на предприятиях технологий, минимизирующих эти выбросы; 2) для обеспечения безопасности морской воды в пляжных зонах следует совершенствовать технологии очистки сточных вод предприятий; 3) для улучшения теллурических условий отдыха необходимо МКУ «Приморье», выполняющим функции по содержанию городских парков, скверов, набережных и пляжей и мест общего пользования, по содержанию и воспроизводству городских лесов, совместно с МКУ «Благоустройство», осуществляющим благоустройство территории города Таганрога, озеленение территории и др. функции, разработать и реализовать программы по обновлению зеленых насаждений в зонах рекреации, улучшению их количественного и качественного состава, поддержанию их в хорошем состоянии и повышению лесистости города в целом; 4) для повышения качества отдыха горожан и гостей города необходима оптимизация среды рекреационных зон с использованием модульного подхода [5], который позволяет учесть потребности различных категорий горожан, а также их изменение в соответствии с сезонами года.

## Литература

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022) // [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/).
2. Карташова Н.П., Сериков М.Т., Кулакова Е.Н., Астрелина Ю.Г. Концепция создания рекреационных зон на прибрежных территориях // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т.10. – № 2 (38). – С. 151-160.
3. Экологический вестник Дона. «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2020 году». – Ростов-на-Дону: Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области, 2021. – 374 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». – Москва: М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2021. – 864 с.
5. Данилова С.Б. Предметное наполнение общественных пространств: возможности оптимизации (предложения для приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды») // Современные общественные пространства как инструмент развития городской среды: материалы межрегион. науч.-практ. конф. 29–30 ноября 2018 года: СПбГАСУ. – СПб., 2018. – С.28-33.

Калиниченко М.В., Федосеева Е.В., Булкин В.В.  
 Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
 учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
 имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

### Методика расчёта акустических экранов при наличии плоских антидифракторов

Для борьбы с шумом, проникающим в жилые зоны, применяют разнообразные средства, начиная от требований по снижению уровня шума в самом источнике и заканчивая удалением этого источника на безопасное расстояние. Одним из таких широко распространённых средств является акустический экран (АЭ), являющийся преградой на пути распространения шума и позволяющий существенно снизить уровень звукового давления (УЗД) в конкретной точке городской среды.

Применение АЭ широко практикуется в разных странах [1,2]. Но при всех достоинствах акустические экраны не лишены недостатков с точки зрения применения их в условиях городской застройки, например, в силу габаритных размеров, поскольку во многих случаях для повышения эффективности функционирования экрана и снижения УЗД в зоне акустической тени требуется увеличение его габаритных размеров, например – высоты [3].

Для повышения эффективности защиты применяются дополнительные элементы, снижающие уровень дифракции на верхней кромке экрана – антидифракторы (АД) или навесные элементы, выполненные как в виде односторонних или двухсторонних полок (козырьков), так и в виде протяжённой звукопоглощающей конструкции. Такие надстройки позволяют увеличить эффективность АЭ на 3-6 дБ [4].

В докладе рассматриваются методические принципы оценки эффективности снижения уровня шума в зоне акустической тени при использовании шумозащитного экрана с АД (навесными элементами) в виде односторонней полки (козырька Г-образной формы), наклонённой в сторону зоны акустической тени [5].

В настоящее время расчёты акустических экранов основываются на работах японского исследователя З. Маекавы [6], который применил идеи теории дифракции к экранам различной формы. Предложенное З. Маекавой простое соотношение для расчёта полубесконечных экранов, расположенных в свободном пространстве при ненаправленном источнике звука, основано на учёте числа Френеля  $N$  и расстояний между источником шума (ИШ) и верхней кромкой АЭ –  $A$ ; расчётной точкой (РТ) и верхней кромкой АЭ –  $B$ ; между ИШ и РТ –  $d$

$$\Delta L = 10 \lg(20N), \text{ дБ}, \quad (1)$$

где  $N = \frac{2\delta}{\lambda}$ ;  $\delta$  – разность хода волны ( $\delta = A + B - d$ );  $\lambda$  – длина звуковой волны.

Предложенный З. Маекавой метод расчёта широко применяется для оценки эффективности АЭ, установленных в свободном пространстве (при небольших углах дифракции). На основе этого подхода разработан ряд методик анализа акустических экранов.

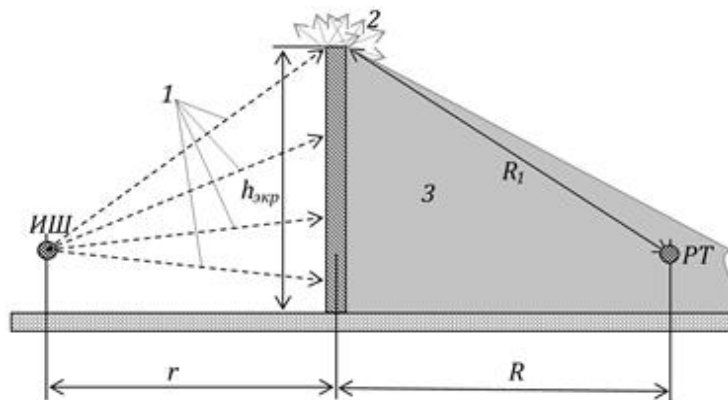


Рис.1 Схема акустического экрана для точечного ИШ

При рассмотрении энергетических характеристик и звукового сигнала, падающего на АЭ, исходят из предположений, что (рис.1): а) звуковая волна 1 падает на лицевую поверхность АЭ; б) по мере увеличения высоты АЭ интенсивность звука равномерно уменьшается; в) опорная поверхность между (ИШ) и АЭ обладает звукопоглощающими

свойствами; г) на верхнем ребре АЭ акустическая волна дифрагирует 2, частично рассеиваясь, частично проходя в зону акустической тени 3.

Соотношение для оценки акустической эффективности отражающе-поглощающего АЭ для точечного ИШ [9,16] имеет вид

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10\lg \frac{r^2 R}{(R+r)^2 r_0} + 10\lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} + 10\lg \frac{1}{\beta_{\text{экp}}} - 10\lg(1 - \alpha_{\text{пов}}) - 10\lg(1 - \alpha_{\text{экp}}) - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2R} + 10\lg 2\pi^2, \text{ дБ.} \quad (2)$$

где  $\alpha_{\text{пов}}$  – коэффициент звукопоглощения опорной поверхности;  $r$ – расстояние от ИШ до АЭ, м;  $l_{\text{экp}}$ – длина АЭ, м;  $h_{\text{экp}}$  – высота АЭ, м;  $\alpha_{\text{экp}}$  – частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения акустических панелей, составляющих АЭ;  $\beta_{\text{дифр}}$  – коэффициент дифракции, определяемый отношением интенсивности звука, дифрагирующего за АЭ, к интенсивности падающего звука;  $\lambda$  – длина звуковой волны, м;  $r_0 = h_{\text{ИШ}} = 1\text{ м}$ .

В данной методике выражение для оценки эффективности акустического экрана построено на принципе сравнения амплитудных зависимостей интенсивности звуковой волны, создаваемой двумя источниками: точечным источником в свободном пространстве и вторичным источником цилиндрической волны – ребром экрана. Такой аналитический подход показывает слабую зависимость от расстояния между РТ и экраном. При этом нужно учитывать и то, что изменение расстояния между ребром надстройки и РТ связано с изменением угла дифракции, и, как следствие, с изменением коэффициента дифракции. В случае применения навеса (антидифрактора) эти влияния будут проявляться ещё существеннее.

В докладе предлагается рассмотреть данную зависимость по аналогии с методом 3. Маскавы через сравнение путей распространения исходной звуковой волны. С этой целью принято, что путь волны в расчётную точку состоит из двух участков – АF (ИШ – точка дифракции) и FC (точка дифракции – РТ), а точка их пересечения F (точка дифракции) является местом расположения вторичного источника звуковой волны. Для случая установки АД на верхнем ребре АЭ с ориентацией в сторону зоны акустической тени это будет иметь вид рис.2.

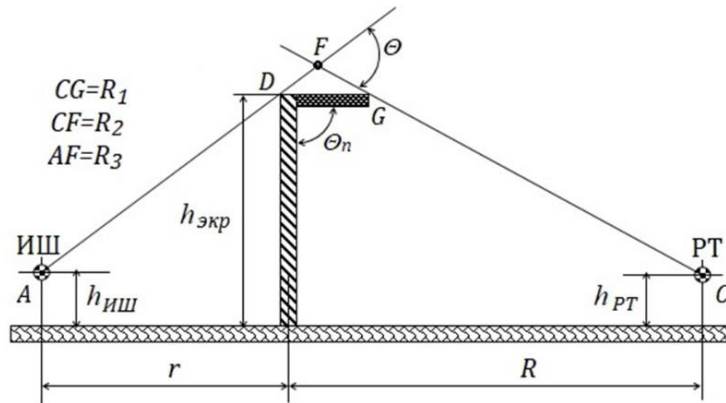


Рис.2 Схема акустического экрана для точечного ИШ

В целом такое размещение АД может предусматривать три варианта: горизонтальное расположение АД, с наклоном вниз и с наклоном вверх. Кроме того, при теоретических оценках эффективности АЭ ведут речь о трёх случаях: точечного источника шума, линейного источника шума и плоского источника шума.

Рассмотрим один из вариантов – случай точечного источника.

При точечном источнике шума (с учётом выше рассмотренных построений) эффективность АЭ с навесным элементом для АД типа панели, ориентированных в направлении зоны акустической тени, равна [7]

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10\lg \frac{(r+R)^2}{(R_3+R_2)^2} + 10\lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} + 10\lg \frac{b}{\lambda} + 10\lg \frac{1}{\beta} - 10\lg(1 - \alpha_{\text{экp}}) - 10\lg(1 - \alpha_{\text{Ад}}) - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2b} - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2R_1} + 10\lg \pi^3 - 6, \text{ дБ.} \quad (3)$$

Полученное соотношение позволяет дать оценку эффективности АЭ при применении навесных антидифракторов в виде плоской полки. Также очевидно, что применение навесных

антидифракторов, ориентированных в направлении зоны акустической тени, и использование для оценки эффективности АЭ рассмотренного соотношения, меняет характер расчётов. Как видно из рис. 2, при изменении угла наклона навесной полки АД меняется местоположение точки дифракции (точка F), являющейся точкой вторичного излучения. Кроме того, при изменении значений  $g$  и  $R$  (главным образом  $R$ ) смещение точки дифракции приводит к изменению величин  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , что, в свою очередь, влияет на изменение угла дифракции  $\theta$ .

#### Вывод

Выполненные теоретические построения позволили получить соотношение, учитывающее особенности дифракции акустических волн на верхней грани акустического экрана. Соотношения такого типа позволяют решить задачу аналитической оценки эффективности шумозащитных акустических экранов при установке на их верхнюю грань антидифракторов в виде плоских навесных панелей, ориентированных в сторону акустической тени.

Предложен подход к формированию математической модели расчёта, при котором местом расположения вторичного источника звуковой волны в зоне верхней грани экрана считается точка дифракции, находящаяся на пересечении двух составляющих пути волны в рабочую точку: от источника шума к антидифрактору плоского типа, установленного на верхней грани экрана, и от заднего края антидифрактора к рабочей точке.

Проверка предложенного соотношения должна проводиться сравнением результатов расчётов с экспериментальными данными. Организация таких испытаний является достаточно сложной задачей, выходящей за пределы данной работы.

Также представляется значимым для исследования вопрос влияния на эффективность АЭ коэффициентов звукопоглощения самого экрана ( $\alpha_{\text{экp}}$ ) и навесного антидифрактора ( $\alpha_{\text{АД}}$ ). Их влияние может быть существенным.

#### Литература

1. Иванов Н.И., Шашурин А.Е. Защита от шума и вибрации. –СПб.: Печатный цех, 2019. - 284 с.
2. Bulkin V.V., Sereda S.N., Kalinichenko M.V. Assessment of the acoustic screen absorbing properties based on the Helmholtz resonator / *Akustika*, vol.32, March 2019. P.201-205.
3. Щадинский А.В. Эффективность применения акустических экранов // Молодой ученый. 2015, №7 (87). - С. 226-233.
4. Тюрина Н.В. Исследование акустических экранов / Сборник трудов XXVII сессии Российского акустического общества, посвященной памяти учёных-акустиков ФГУП «Крыловский государственный научный центр» А.В. Смольякова и В.И. Попкова. -СПб.: 16-18 апреля 2014 г.- С. 1-16.
5. Патент РФ №2567255, E04B1/84, E01F8/00. Способ повышения эффективности шумопоглощающих экранов и шумопоглощающий экран / Булкин В.В., Калининченко М.В. Оpubл.: 10.11.2015, БИПМ №31.
6. Маекава З. Акустические экраны / Снижение шума в зданиях и жилых районах // Под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. -М.: Стройиздат, 1987. –С. 426-447.
7. Fedoseeva E.V., Bulkin V.V., Kalinichenko M.V. Technique for estimating the efficiency of noise protective acoustic screens in the presence of flat anti-diffractors / *Akustika*, vol.40 (2021). - P.22-28.

Лодыгина Н.Д.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: nina.lodygina@yandex.ru*

### **Напряженно-деформированное состояние в грунтовом массиве**

Под воздействием внешних нагрузок, создаваемых зданиями и сооружениями, а также от собственного веса грунта в грунтовых массивах, служащих основанием, возникает напряженно-деформированное состояние, которое в значительной мере зависит от состава и физико-механических свойств грунтов.

Под действием собственного веса в массивах грунтов всегда формируется начальное напряженное состояние, а напряжения, возникающие от действия внешних нагрузок (зданий и сооружений), накладываются на уже имеющиеся в нем собственные напряжения. Это приводит к формированию в грунте сложного напряженного состояния [2].

Распределение напряжений в грунте зависит от следующих факторов: характера и режима нагружения массива; инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей площадки строительства; состава и физико-механических свойств грунта. Формирование напряжений в грунтовом массиве происходит не мгновенно при приложении нагрузки, а может развиваться длительное время.

Определение напряжений в массиве грунтов представляет собой сложную задачу. При решении данной задачи принимается ряд допущений: грунт рассматривается как однородный сплошной массив, грунты изотропны, деформации пропорциональны напряжениям.

Фазы напряженно-деформированного состояния грунта изучаются с целью установления расчетных моделей деформирования грунтового основания, приемлемых для инженерных расчетов его прочности, устойчивости, сжимаемости, горизонтальных и угловых перемещений [1]. Анализ графиков испытания основания штампом позволяет выделить следующие фазы напряженно-деформированного состояния грунта: 0 – фаза упругих деформаций; I – фаза уплотнения; II – фаза сдвигов; III – фаза выпора.

Деформации грунта в фазе упругих деформаций обратимы и малы. Уровень напряжений, соответствующий концу этой фазы, называется структурной прочностью грунта и обычно не превышает 5 – 10% допустимых на грунт давлений.

Фаза уплотнения соответствует уровням напряжений в грунте, в диапазоне которых процесс его деформирования удовлетворительно подчиняется закону уплотнения Терцаги. Указанная особенность закона уплотнения формулируется как принцип линейной деформируемости: при простом нагружении грунта в фазе его уплотнения сумма упругой и пластической деформаций линейно зависит от действующего напряжения.

Фаза сдвигов характеризует начало образования в грунте зон предельного равновесия. Зоной предельного равновесия в грунте называют геометрическое место точек, в которых не удовлетворяются условия прочности Кулона-Мора. Разрушение грунта сопровождается большими сдвиговыми деформациями. Давление на грунт, соответствующее началу фазы сдвигов, называют начальным критическим давлением.

Фаза выпора является следствием развития фазы сдвигов в области грунтового массива, являющегося основанием штампа, с образованием поверхностей скольжения, отделяющих основание штампа от нижележащего грунтового массива. В результате этого осадка штампа происходит без увеличения нагрузки, за счет перемещения грунта основания из-под штампа по плоскостям скольжения с выходом на поверхность грунтового массива. При этом вокруг штампа происходит поднятие (выпор) грунта. Давление, при котором наступает фаза выпора, называется предельным критическим давлением.

Определение с помощью теории упругости поле напряжений соответствует конечному, стабилизированному состоянию грунтов, то есть тому моменту времени, когда все деформации, вызванные приложением нагрузки, уже завершились. При расчетах напряжений применяется

принцип независимости действия сил. Это позволяет рассчитывать напряжения в массиве от действия собственного веса грунта и нагрузок, вызываемых сооружением, независимо друг от друга и, суммируя полученный результат, определить общее поле напряжений.

#### **Литература**

1. Пьянков С.А., З.К. Азизов. Механика грунтов: учебное пособие; – Ульяновск: УлГТУ, 2008.
2. Пыхтева Н.Ф., Букша В.В., Миронова В.И. Механика грунтов: учебное пособие;- Екатеринбург:2018.

Лодыгина Н.Д.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: nina.lodygina@yandex.ru*

### **Основы расчета напряжений и деформаций трубопровода при карстовом провале**

В настоящее время одним из направлений топливно-энергетического комплекса страны является освоение углеводородных ресурсов Восточной Сибири, Дальнего Востока и Арктики, а также формирование новых систем трубопроводного транспорта.

При проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводных систем особое внимание уделяется вопросам обеспечения прочности и устойчивости. Высока вероятность возникновения аварийной ситуации при прохождении трассы в условиях подверженных воздействию опасных природно-техногенных процессов, таких как карст, оползни, подтопление, заболачивание. Особое место среди них по степени скрытности протекания процесса, внезапности проявления и трудности прогнозирования последствий занимает карст.

На развитие карстового процесса оказывают влияние химический состав растворимых в воде горных пород, степень их трещиноватости, условия залегания. Большую роль играют также и движения земной коры в прошлом. Сказывается и климат района, особенно количество атмосферных осадков.

Карстовые воронки могут появиться в тех местах, где ниже поверхности залегают известняки, карбонатные породы, соли и другие породы, которые могут быть растворены и вымыты грунтовыми водами. Карстовые воронки очень опасны, так как поверхностный слой долгое время внешне остается нетронутым, пока вымоины не получатся достаточно большими. Вследствие развития карстовых процессов происходит горизонтальная и вертикальная деформация земной поверхности, что может стать причиной нарушения целостности и последующего разрушения трубопровода.

Последствия в случае не учета влияния карста при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводов самые серьезные. Это и риск возникновения аварии, тяжелые экологические последствия и весьма значительные затраты на устранение последствий. В итоге все это предопределяет необходимость учета взаимодействия геотехнической системы «трубопровод-карст» и применение методов защиты для повышения устойчивости трубопроводов сооружаемых на участках подверженных карсту.

Подземные трубопроводы необходимо проверять на прочность, жесткость и общую устойчивость в продольном направлении. Проверочный расчет трубопровода на прочность и устойчивость производится после выбора его основных размеров с учетом всех расчетных нагрузок.

В работе приведена методика расчета напряжений и деформаций трубопровода при карстовом провале. Расчетная схема участка трубопровода в зоне карста представляет собой балку на двух опорах. Общая нагрузка состоит из веса грунта, веса трубы и транспортируемой среды. Приведены формулы для определения напряжений и линейных поперечных, продольных и угловых перемещений в любом сечении трубопровода.

### **Литература**

1. Ларионов В.И., Новиков П.А., Гумеров А.К. Анализ напряженно-деформированного состояния трубопровода на участках с карстами/ Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2012. №3 С.60- 67.

Митина Н.И.  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»  
607188 г. Саров, ул. Южное шоссе-3  
E-mail: mitina120@mail.ru

### **Значимая роль стажировки на рабочем месте в организации безопасности труда**

На строительных площадках во всем мире, по оценкам Международной организации труда, ежегодно происходит, по крайней мере, 60 тысяч несчастных случаев со смертельным исходом. Это означает, что один несчастный случай со смертельным исходом происходит в этом секторе каждые 10 минут, и около 17% всех несчастных случаев на рабочем месте со смертельным исходом (один из шести случаев) происходит на строительных площадках. Несмотря на механизацию, эта отрасль все еще требует больших затрат ручного труда, и профессиональные риски, которым подвергаются работники строительной отрасли, являются одними из самых значительных по сравнению с другими отраслями экономики.

Профессиональные риски травмирования строительных рабочих связаны со спецификой работы, включая высотные виды работ, земляные работы, применение подъемных механизмов, использование электрооборудования и ручных инструментов, а также транспортных средств на строительной площадке. Строительные площадки часто находятся в беспорядке, загромождены, что способствует возникновению аварийных ситуаций [1].

«Опасной» характеристикой работ в строительстве является их «нестационарность», непрерывная сменяемость рабочих мест и рабочих зон, их кажущаяся внешняя типичность, но истинная внутренняя уникальность.

Анализ показывает, что значительное число несчастных случаев в строительстве обусловлено причинами организационного характера и «человеческим фактором».

Краткий анализ производственного травматизма, основных причин его возникновения и разработка рекомендаций для снижения производственного травматизма рассмотрен в статье [2].

Проблемы производственного травматизма, вызванного человеческим фактором в различных его проявлениях, не теряющем своей актуальности, рассмотрены в статье [3].

Целью настоящей работы является анализ проведения стажировки на рабочем месте при выполнении ремонтно-строительных работ и ее значимость в системе обучения безопасным приемам и методам труда.

Один из основных моментов организации безопасного труда – наличие знаний каждого работника о безопасных приемах и методах труда [4].

Стажировка на рабочем месте вновь принятого работника – важный и обязательный элемент в системе обучения безопасным приемам и методам труда.

Знания безопасных приемов труда у работников по видам работ закрепляется, а зачастую и формируется в значительной степени за счет практического опыта, одним из элементов которого является стажировка на рабочем месте. Необходимость проведения стажировки нормативно закреплена во многих правилах по охране труда и в межотраслевом Порядке обучения по охране труда [5].

Руководитель закрепляет за стажирующимся работником опытного работника, который обучает его на практике безопасным приемам работ. Ведь известно, что знания закрепляются и формируются в значительной степени за счет практического опыта.

Анализируя статистические данные травматизма в строительстве, пришло время обратить внимание на отработку практических навыков перед допуском работников к самостоятельной работе [6]. Если вновь принятый работник не научился безопасно выполнять свою работу, то действуя с нарушениями требований безопасности, этот работник будет постоянно подвергнут дополнительному риску получения травмы, и рано или поздно это приведет к трагедии. Потому так высока значимость стажировки, что в конце нее работник должен выработать привычку проводить работу безопасными методами.



Практика показывает, что надзорные органы в сфере охраны труда обращают внимание на наличие документов по обучению и проверке знаний по охране труда, а не на наличие фактических знаний и умений у работников рабочих профессий. В результате, работодатель заинтересован только лишь в наличии необходимого пакета документов [6].

Можно сделать вывод, что существующая система обучения безопасности труда больше ориентирована на формальное исполнение требований, что не защитит людей от несчастных случаев и не решит проблему травматизма в строительстве.

Для повышения качества организации безопасного производства работ необходимо регламентировать процедуру стажировки, а с целью оценки усвоенных практических навыков следует разработать методику оценки результативности стажировки.

В докладе рассмотрены актуальные вопросы проведения стажировки на рабочем месте.

### Литература

1. Профессиональные риски в строительстве// Клинский институт охраны и условий труда// Режим доступа: <https://www.kiout.ru/info/news/207>. Дата обращения 12.12.2021.
2. Митина Н.И. Анализ состояния производственной безопасности при ремонтно-строительных работах./ Научный электронный журнал «Матрица научного познания» –2 / 2021– № 1. –С.51-56.
3. Митина Н.И. Анализ состояния производственной безопасности при ремонтно-строительных работах и проблемы производственного травматизма, вызванного человеческим фактором //Машиностроение и безопасность жизнедеятельности// № 1/ 2021.
4. ГОСТ 12.0.004 – 2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения».
5. Постановление Минтруда России, Минобразования России от 13.01.2003 № 1/29 «Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций».
6. Актуальные вопросы проведения стажировки на рабочем месте по безопасности труда вновь принятого работника/ Журнал «Охрана труда и техника безопасности в строительстве//Раздел Обучение, стажировка, практика.// № 5/ 2016. С.44-51.

Первушин Р.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: pervushin55\_55@mail.ru*

### Вопросы теплоизоляции тёплого пола

Комфорт стал неотъемлемой составляющей жизнедеятельности человека. Это относится и к условиям трудовой деятельности и к бытовым условиям. Понятие комфорта, прежде всего, связано с понятием микроклимата, основным показателем которого принято считать температуру воздуха в помещении. Годовой естественный ход температуры воздуха окружающей среды зависит от широты пояса, в котором находится строение, и, достаточно часто, имеет отклонения от норм, свойственных комфортным условиям. Наиболее заметно это отклонение в зимний период, когда теплопотери через ограждающие конструкции здания требуют компенсации путём использования того или иного вида отопления.

Использование системы отопления тёплого пола известно с древних времён (римские термы, турецкие бани) и широко распространено в наше время. Основным достоинством такой системы является то, что она может использоваться как основная, так и как вспомогательная. а расположение источника тепла в самой нижней точке помещения, обогревая его максимально равномерно. В качестве источников тепла в системах используют либо нагретую воду, либо электрические нагревательные элементы.

При практической реализации тёплого пола необходимо обратить внимание на теплоизоляцию, которая предотвращает передачу тепла от нагревательного элемента к перекрытию. Её использование позволяет экономить до 30 % расходов на энергию, что становится актуальным в случае использования системы отопления как основной. К теплоизолирующим материалам предъявляется ряд специфических требований:

- низкий коэффициент теплопроводности;
- выдерживать статическую нагрузку верхних слоёв, включая бетонную стяжку;
- выдерживать динамическую нагрузку, возникающую в процессе эксплуатации.

Теплоизоляцию, представляющую собой, например, вспененный полиэтилен, часто покрывают теплоотражающей оболочкой из металлизированных материалов, которая призвана отражают тепловые лучи, что, по заявлениям производителей, даёт возможность сократить толщину утеплителя без снижения теплоизоляционных качеств. Это мнение справедливо при использовании утеплителя с воздушной прослойкой, например, когда утепляется деревянный пол из досок, располагаемых на лагах.

В случае применения тёплого пола, на теплоизоляторе располагается нагревательный элемент (труба при водяном отоплении или кабель при электрическом), который заливается бетонной стяжкой толщиной несколько сантиметров. Таким образом между покрытием утеплителя и стяжкой осуществляется тепловое контактирование, то есть передача тепла осуществляется теплопроводностью. Для передачи тепла излучением между теплоизолятором (отражающим слоем) и стяжкой должна быть прослойка прозрачного для этого вида излучения материала. В толще бетона теплообмен излучением невозможен, так как коэффициент пропускания инфракрасного излучения материала практически равен нулю. Таким образом металлизированный теплоизолятор по эффективности не отличается от простого.

Так как нагревательный элемент располагается в виде сетки с шагом 10 – 12 сантиметров, на поверхности пола может возникнуть эффект «тепловая зебра», то есть неравномерный прогрев, который особенно заметен при минимальной толщине стяжки 3 – 5 сантиметра. В этом случае фольгированный материал может перераспределит тепловой поток в толще стяжки за счет более эффективного распределения тепла в толще фольги. Однако для этого необходимо определить соотношение толщин теплоизолятора, фольги и бетонной стяжки.

В докладе рассматриваются результаты компьютерного моделирования различных вариантов компоновки системы тёплого пола.

Сердцев А.В.  
ООО «Инжиниринговая фирма «ТОРЭКСТ»  
192029 г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, д. 109, литера «Д»  
e-mail: serdcev.alexandr@gmail.com

### **Экспертиза промышленной безопасности**

Прогресс и промышленное развитие привели к росту энергетической насыщенности производства. На предприятиях используется сложнейшее техническое оборудование в огромных количествах, технологические цепи усложняются, поэтому возрастает вероятность аварий, которые по масштабу могут стать техногенными катастрофами. В современном мире существует потребность предотвращать их. Так возникла промышленная безопасность как направление человеческой деятельности.

Промышленная безопасность (ПБ) – это состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий и катастроф на производственных объектах и последствий указанных аварий [1, С 15].

Опасные производственные объекты (ОПО) – это предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, на которых присутствуют опасные технологические процессы и (или) вещества способные причинить во время аварии ущерб здоровью не только сотрудникам предприятия, но и окружающему населению, соседним предприятиям, окружающей среде [1, С 15].

В результате аварий и технических инцидентов на опасных промышленных предприятиях в России каждый год выбрасываются тысячи тонн опасных веществ. Это происходит вследствие износа и несовершенства технических устройств, систем управления, а также вследствие человеческого фактора. Уровень безопасности сложных технических объектов снижается.

Объекты нефтеобеспечения также относятся к опасным производственным объектам. Работа на нефтеобеспечивающих объектах высокотравмоопасна и требует тщательного соблюдения норм промышленной безопасности. Нарушения способны привести к техногенным катастрофам с существенным уроном для окружающей среды и здоровья человека.

29 мая 2020 г. на ТЭЦ-3 АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» (НТЭК) был поврежден резервуар хранения дизтоплива вследствие просадки опор фундамента. Произошел разлив 21 000 тонн топлива. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору «Ростехнадзор» выявила причины разлива: недостатки проектирования и строительного производства, некачественный контроль за эксплуатацией сооружений. Ущерб окружающей среде составил 146,2 миллиардов рублей [2].

В Управлении по надзору за объектами нефтегазового комплекса 1 июня 2021 г. состоялось совещание на тему: «Аварийность и травматизм за первые 5 месяцев 2021 г. на объектах нефтегазового комплекса, вопросы контрольно-надзорной деятельности и постоянного надзора». Вступительную речь произносил заместитель руководителя Ростехнадзора А. В. Демин. Он отметил повышенный уровень аварийности на объектах нефтегазового комплекса в 2021 году по отношению к 2020 г., малоэффективную деятельность служб производственного контроля, а также важность тщательного анализа каждой аварии и несчастного случая, профилактической проработки причин с поднадзорными эксплуатирующими организациями [3].

При этом 25.10.2021 г. прошел второе чтение законопроект №1144919-7 О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» в части эксплуатации зданий, сооружений и технических устройств на опасных производственных объектах [4]. Предполагается отменить экспертизу промышленной безопасности и передать право оценивать состояние зданий, сооружений и технических устройств эксплуатирующим предприятиям. Этот законопроект должен будет вступить в силу 1 марта 2022 г. Как следствие может возрасти число аварий на опасных производственных объектах.

Законопроект был приостановлен в связи с крупной аварией на опасном производственном объекте ООО «Шахта «Листвяжная» в Кузбассе 25 ноября 2021 г. [5]. Ростехнадзор начал расследование, и вопрос о важности проведения экспертизы технического обслуживания поднялся вновь.

Разливы нефти могут произойти на нефтеобеспечивающих предприятиях, если резервуары эксплуатируются за пределами их срока службы. Эксплуатация ветхих объектов на опасных промышленных предприятиях, износ оборудования, формальное отношение к ремонтным работам, отсутствие модернизации становятся причинами аварий. Эти проблемы выявляются при проведении экспертизы промышленной безопасности.

Экспертиза промышленной безопасности – это оценка соответствия объекта экспертизы требованиям законодательных и нормативных актов РФ в области промышленной безопасности [1, С. 179] Результат экспертизы промышленной безопасности – заключение, которое подписывает руководитель организации, проводившей экспертизу промышленной безопасности, и экспертом в области промышленной безопасности, который участвовал в проведении указанной экспертизы. Экспертиза проводится с целью определения соответствия объекта экспертизы предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности и основывается на принципах объективности, независимости, полноты и всесторонности исследований, проводимых с использованием достижений науки и техники [6].

Промышленная безопасность нефтеобеспечивающих предприятий в России подпадает под требования федеральных законов и нормативных актов Ростехнадзора. Цель государственной политики РФ в области промышленной безопасности – последовательное снижение риска аварий на опасных производственных объектах, а также минимизация (локализация и ликвидация) негативных последствий таких аварий.

Требования промышленной безопасности должны соответствовать нормам в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, в области охраны окружающей среды, экологической, пожарной безопасности, охраны труда, строительства, а также обязательным требованиям, которые установлены в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

Совершенствование систем промышленной безопасности и контроля за критически важными объектами является главным фактором предотвращения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах, поэтому на сегодняшний день вопрос о важности проведения промышленной экспертизы объектов нефтеобеспечения актуален вновь.

### Литература

1. Хоменко, А.О. Промышленная безопасность: электронный образовательный текстовый ресурс /А.О. Хоменко. – Екатеринбург: информационный портал УРФУ, 2019. – 283 с. – URL: <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13785/1/Промышленная%20Безопасность%202018.pdf> (дата обращения: 14.12.2021). – Режим доступа: электронный формат pdf. – Текст: электронный.
2. Техническое расследование аварии на «ТЭЦ-3» АО «НТЭК» завершено / Ростехнадзор: официальный сайт. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/news/64/3337/> (дата обращения 14.12.2021). – Текст: электронный.
3. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
4. Государственная Дума Российской Федерации: официальный сайт. – 2021. – URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/1144919-7> (дата обращения 14.12.2021). – Текст: электронный.
5. Ростехнадзор: официальный сайт. – 2021. – URL: [http://gosnadzor.ru/news/65/4024/?sphrase\\_id=2226575](http://gosnadzor.ru/news/65/4024/?sphrase_id=2226575) (дата обращения: 14.12.2021). – Текст: электронный.
6. Надзор за объектами нефтегазового комплекса / Ростехнадзор: официальный сайт. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/> (дата обращения 14.12.2021). – Текст: электронный.

Серeda С.Н.

*Муromский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: sereda-2010@mail.ru*

### Выбор функции оценки риска как элемент системного анализа безопасности

Качественный и количественный анализ риска возникновения происшествий является необходимым инструментом системного анализа безопасности [1]. Различные методики оценки риска, например, индексы риска, матрицы вероятности/последствий, S – кривые и др., регламентируются стандартом системы менеджмента риска [2].

Рассмотрим математическую модель возможной функции оценки риска и ее применение для ранжирования потенциально опасных объектов и процессов [3]. Пусть в какой-либо системе требуется контролировать N параметров на соответствие установленным нормам или допустимым значениям. Тогда M – некоторое число параметров  $M \leq N$ , для которых выявлены несоответствия по результатам наблюдений за системой. Требуется дать количественную и качественную оценку результатов контроля. На основе вероятностного подхода можно определить первичную количественную характеристику риска, как относительную частоту несоответствий x в виде отношения

$$x = M/N, \quad (1)$$

Определим функцию риска  $R(x)$  как непрерывную возрастающую функцию, определенную на интервале  $x \in [0, 1]$ , принимающую значения  $R(x) \in [0, 1]$ , выраженные в относительных единицах. Тогда функция  $f(x) = 1 - R(x)$  является противоположной по смыслу характеристикой уровня безопасности, надежности, качества и др. Для количественной оценки уровня соответствия контролируемых параметров возьмем следующую функцию

$$f(x) = \frac{1-x}{1+x} \quad (2)$$

Её первообразная имеет вид

$$F(x) = 2 \cdot \ln(1+x) - x + C, \quad (3)$$

Для ранжирования уровней безопасности применим сегментацию площади ограниченной кривой функции оценки (2) на четыре области, соответствующих качественным уровням: L1 хороший, L2 удовлетворительный, L3 плохой, L4 критический (неприемлемый).

В качестве критериев выбора порогов сегментации функции оценки можно использовать, например, задание уровней аргумента x или значений функции f(x), исходя из прикладной области. Например, можно задать уровни согласно равномерному распределению. С другой стороны, можно определить пороги сегментации на основе соотношения площадей сегментов, ограниченных функцией оценки и осями координат. Способы задания отношений также могут определяться в контексте задачи. Например, можно использовать критерий равных площадей сегментов; критерий, базирующийся на принципе золотого сечения; прогрессивный критерий и др.

По критерию равных площадей площадь каждого из четырех сегментов одинакова  $S_k = 25\%$ .

По критерию золотого сечения вектор значений площадей сегментов составит

$$S = [\varphi^4 \quad \varphi^3 \quad \varphi^3 \quad \varphi^2], \quad (4)$$

где  $\varphi = 0,618034$  – коэффициент пропорции, а  $\varphi^k$  – k-я степень числа  $\varphi$ .

Согласно прогрессивному критерию площади сегментов можно задать как соотношения членов геометрической прогрессии

$$S_k = q^{k-1} \cdot \frac{(q^k - 1) \cdot b_1}{q - 1}, \quad (5)$$

где  $b_1 = q^0 = 1$  – первый член прогрессии; q – коэффициент пропорции.

Например, при  $q=3$  получим  $S = \left[ \frac{1}{40} \quad \frac{3}{40} \quad \frac{9}{40} \quad \frac{27}{40} \right]$ .

На рисунке 1 показаны диаграммы соотношений площадей сегментов, найденным по разным площадным критериям.

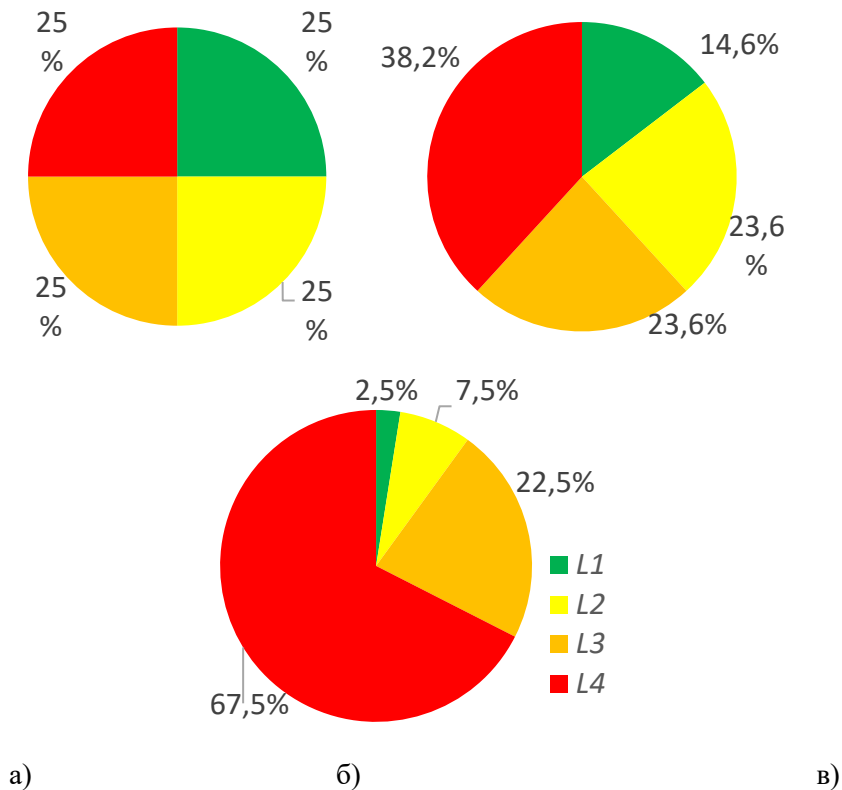


Рис. 1. Сегментация функции оценки по критериям:  
а) равных площадей; б) золотого сечения; в) прогрессивный

Поскольку каждый сегмент представляет собой одну из четырех зон функции оценки  $f(x)$ , то задавая желаемые соотношения сегментов можно управлять системой оценки исходя из текущих условий.

Площади зон сегментов функции оценки можно найти по формуле

$$S = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = F(x) \Big|_{x_1}^{x_2} = F(x_2) - F(x_1), \quad (6)$$

где  $F(x)$  – первообразная функции  $f(x)$ .

Для определения значений порогов сегментов по заданным площадям сегментов функции оценки необходимо решить обратную задачу, то есть найти обратную функцию  $x = F^{-1}(x)$ . На практике, аналитическое решение этой задачи может быть затруднительно. Поэтому, решение можно найти численным методом с помощью встроенной функции `root` в программе `Mathcad` для эквивалентной задачи поиска корня уравнения (рис.2), представляющего собой разностную функцию

$$f_2(x) - g_2(x, F(x)) = 0 \quad (7)$$

где  $f_2(x) = \ln(1 + x)^2$ ;  $g_2(x, F(x)) = x + F(x)$  – функции, составленные для функций (2) и (3).

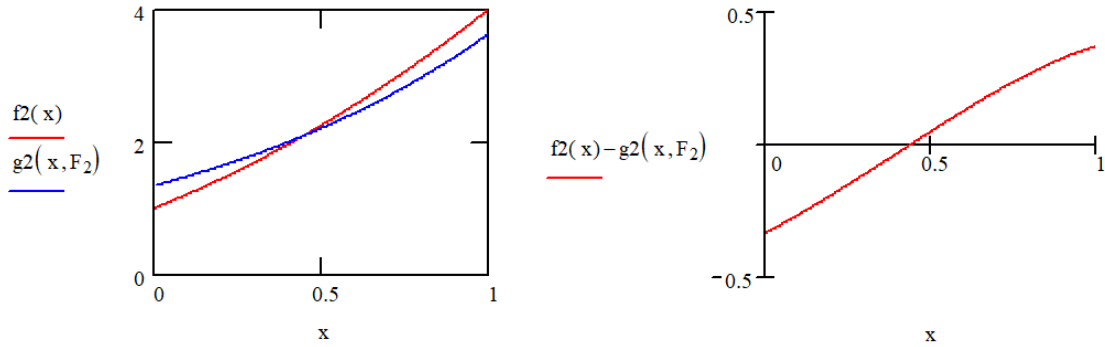


Рис. 2. Поиск корня разностной функции

В работе [3] представлены результаты анализа порогов сегментации для рассмотренной функции оценки риска, а также приводится класс эквивалентных функций, соответствующих заданным требованиям, которые также можно использовать при анализе риска.

### Литература

1. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование. Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М.: Юрайт, 2014. – 728с.
2. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска: дата введения 2020-03-01. М.: Стандартинформ, 2020. – 86с.
3. Середа С.Н. Оценка профессиональных рисков в контроле и управлении производственными процессами // Современные наукоемкие технологии, 2021. – №7. – С.61-66.

Середа С.Н.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: sereda-2010@mail.ru*

### К вопросу моделирования химических реакторов

Целью системного анализа химических реакторов является исследование их динамических характеристик в условиях изменения технологических параметров, в том числе решение задач оптимизации режимов работы реакторов. В общем случае модель химического реактора является совокупностью математических моделей гидродинамики, кинетики химических реакций, модели теплового режима и других частных моделей, характеризующих влияние отдельных параметров на работу реактора. Как правило, такие математические модели выражаются системой дифференциальных уравнений [1].

В качестве инструментального средства математического моделирования широко применяется программа математических расчетов Mathcad, где реализованы алгоритмы численных методов поиска решения, например, метод Рунге-Кутты решения дифференциальных уравнений. Однако на этапе построения компьютерной модели химического реактора в этой программе возникает ряд проблем, связанных с ограничениями по времени моделирования, начальных значений концентраций реагентов и спецификой представления модельной задачи, что часто вызывает необъяснимые ошибки. В данной работе рассматривается вопрос построения моделей химических реакторов в программе MATLAB Simulink, которая является универсальным средством моделирования систем любого назначения. При этом, адекватность моделей, использующих различные подходы к моделированию, определяется совпадением результатов моделирования. Важным этапом построения компьютерной модели химического реактора является идентификация параметров и типа модели [2].

Для простейшей последовательной реакции вида  $A \xrightarrow{k} B$ , в которой происходит преобразование исходного реагента  $A$  в продукт реакции  $B$ , (параметр  $k$  – константа скорости реакции), математическая модель кинетики химической реакции, характеризующая скорость изменения концентрации веществ выражается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -kC_A \\ \frac{dC_B}{dt} = kC_A \end{cases} \quad (1)$$

Используя преобразование Лапласа к уравнению (1), можно получить передаточную функцию объекта (2), которая соответствует аperiodическому звену первого порядка.

$$W(p) = \frac{C_{A0}}{1/kp+1} \quad (2)$$

где  $C_{A0}$  – начальная концентрация реагента  $A$ ;  $p$  – оператор Лапласа.

Соответствующее функция реализуется с помощью компонента Transfer Fcn библиотеки Simulink/Continuous. Кинетические кривые, построенные в Mathcad (рис.1, а) и MATLAB Simulink (рис.1, б) идентичны, что свидетельствует о корректности построенных моделей.

Следует заметить, что кинетические кривые имеют прямую аналогию с переходными характеристиками объектов управления в системах автоматики и переходными процессами в электрических цепях в режимах коммутации. Однако, в области химических технологий кинетические кривые характеризуют динамику протекания химических реакций в реакторах, что составляет основу химико-технологических процессов.



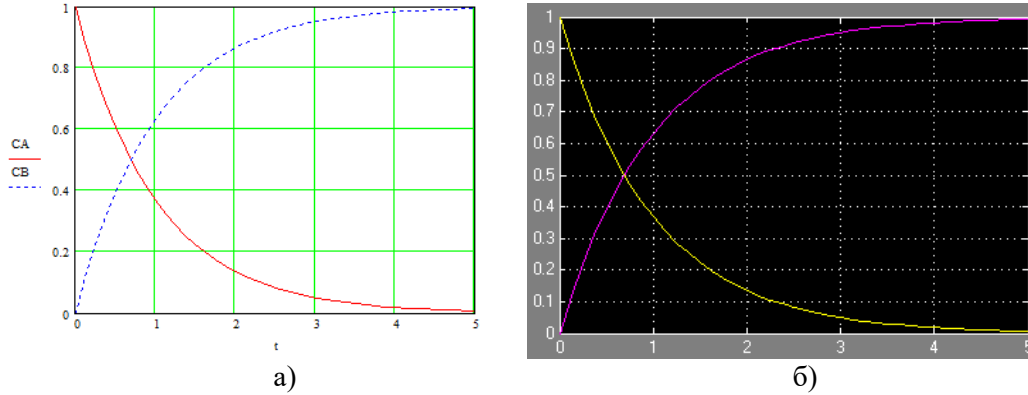


Рис.1

Для параллельной реакции вида  $A \xrightarrow[k_2]{k_1} B + C$ , в которой из исходного реагента А в ходе реакции образуются два продукта В и С с различными константами скорости реакции  $k_1$  и  $k_2$ , математическая модель кинетики химической реакции, характеризующая скорость изменения концентрации веществ выражается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -(k_1 + k_2)C_A \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A \\ \frac{dC_C}{dt} = k_2 C_A \end{cases} \quad (3)$$

В этом случае в модели реактора MATLAB на выходе звена первого порядка параллельно включены два нормирующих множителя с масштабными коэффициентами  $\frac{k_1}{k_1+k_2}$  и  $\frac{k_2}{k_1+k_2}$ .

Более сложная задача моделирования возникает для реакции, в которой участвуют два реагента вида  $aA + bB \xrightarrow{k} cC$ , где  $a, b, c$  – коэффициенты стехиометрического уравнения, определяющие количественные соотношения веществ. В этом случае математическая модель кинетики имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A^a C_B^b \\ \frac{dC_B}{dt} = -k_2 C_A^a C_B^b \\ \frac{dC_C}{dt} = k_3 C_A^a C_B^b \end{cases} \quad (4)$$

Поиск решения системы уравнений (4) в MATLAB Simulink позволил установить, что модель реактора в этом случае определяется выражением

$$C(t) = C_0 \left( \frac{1}{nt+1} \right)^m \quad (5)$$

где  $C_0$  – начальная концентрация реагента;  $C(t)$  – изменение концентрации реагента во времени;  $m, n$  – параметры модели, определяемые из исходного стехиометрического уравнения.

Например, для реакции  $A + B \xrightarrow{k} C$  и одинаковых значений константы скорости реакции для реагентов А и В, получим  $m=n=1$ . Для реакции  $2A + B \xrightarrow{k} C$  и значений  $k_1=1$  и  $k_2=0,5$  для реагентов А и В, получим  $n=4$  и  $m=0,5$ . В общем случае для произвольных значений  $a, b, c$  и  $k_1, k_2$  поиск значений  $m, n$  в уравнении модели реактора (5) представляет собой задачу оптимизации. В докладе рассматриваются модели химического реактора в MATLAB Simulink и вопросы идентификации параметров моделей.

### Литература

1. Ефремов Г.И. Математическое моделирование химико-технологических процессов. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 255 с.
2. Алексеев А.А. Идентификация и диагностика систем. – М.: Академия, 2009. – 352с.

Шарапов Р.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: sharapov76@gmail.com*

### Глобальные модели для составления прогнозов

В основе работы математических моделей составления прогнозов лежит численное решение системы уравнений гидротермодинамики атмосферы [1]. Эти уравнения расширяются описаниями атмосферных процессов, которые не связаны с гидротермодинамикой, и процессов, имеющих масштаб меньше, чем размер ячейки сетки. Качество прогнозов зависит от детальности расчетной сетки и параметризации процессов подсеточного масштаба.

Исследования показали, что при повышении пространственного разрешения в традиционной широтно-долготной расчетной сетке из-за сходимости меридианов к полюсам наблюдается проблема неоднородности пространственного разрешения по широте и долготе. Для устранения этих проблем создаются различные альтернативные сетки [1, 2]:

- редуцированная широтно-долготная,
- икосаэдральная треугольная,
- икосаэдральная шестиугольная,
- проекция куба на сферу,
- Инь-Янь
- и другие.

Они позволяют также снизить вычислительную сложность моделей за счет исключения «лишних» точек сетки.

После расчета прогнозов по глобальным моделям часто рассчитываются индексы неустойчивости (CAPE, CIN, LI, K, SRH и др.). Они часто используются совместно с данными мезомасштабных моделей.

Модель ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) создана Европейским Центром Среднесрочных прогнозов погоды [3, 4]. Эта модель является одной из лучших для составления среднесрочных прогнозов. В ECMWF применяется кубическая сетка, имеющая горизонтальное разрешение в 9 км и 137 уровней вертикального разрешения. Модель предоставляет сведения об атмосферном давлении, приведенном к уровню моря, температуре и ветре на изобарической поверхности 850 гПа, высоте изобарической поверхности 500 гПа. Прочие параметры модели отсутствуют в открытом доступе.

Модель ECMWF взята за основу для создания проекта реанализа ERA5. Первый сегмент набора данных ERA5 доступен для всеобщего использования (с 1979 г. с точностью до 5 дней в реальном времени). ERA5 предоставляет ежедневные оценки большого количества параметров климата, атмосферы, суши и океана. К 2020 году должны быть доступны данные с 1950 г. Данные ERA5 доступны в хранилище климатических данных с разрешением  $0,25 \times 0,25^\circ$  градуса, с использованием 137 уровней от поверхности до высоты 80 км [5].

Модель GFS (Глобальная система прогнозов, Global Forecast System) создана в Национальном центре экологического прогнозирования (NCEP, National Centers for Environmental Prediction), США. В модели применяется редуцированная широтно-долготная сетка с разрешением по горизонтали около 13 км. Расчет прогноза запускается 4 раза в сутки и дает прогнозы на 16 дней. Выходные данные выдаются в формате GRIB-2. Модель предоставляет файлы расчета с шагом 1 час и разрешением  $0,25^\circ$ ,  $0,5^\circ$ ,  $1^\circ$  и  $2,5^\circ$ . Ряд параметров (температура воздуха на высоте 2 м над землей, количество и интенсивность выпавших осадков и т.д.) выдаются с разрешением около 13 км. Доступен архив данных объективного анализа начиная с 2007 года.

В NCEP создана Система прогнозов климата CFS (Climate Forecast System). Доступны данные реанализа начиная с 1979 года с горизонтальным разрешением  $0,5^\circ$ ,  $1^\circ$  и  $2,5^\circ$  и шагом в

1 час. Ряд параметров передаются на сетке с разрешением около 20 км. Модель выдает выходные данные в формате GRIB-2.

Модель GEM (Мультимасштабная глобальная среда, Global Environment Multiscale) создана Канадским метеорологическим центром (CMC, Canadian Meteorological Center). В модели применяется сетка Yin-Yang с горизонтальным разрешением около 15 км [7]. Расчет прогноза запускается 2 раза в сутки и дает прогнозы на 10 дней. Выходные данные выдаются в формате GRIB-2. Модель предоставляет файлы расчета с шагом 3 часа и разрешением 0,24 и 0,6°.

ПолуЛагранжева модель, основанная на уравнении Абсолютного Вихря Модель ПЛАВ создана в Институте Вычислительной Математики РАН [8, 9]. Модель используется Гидрометцентром России в качестве оперативной. Модель основана на применении широтно-долготной сетки с разрешением 0,18°×0,225° (в Северном полушарии). Расчет прогноза запускается 2 раза в сутки и дает прогнозы на 10 дней. Выходные данные выдаются в формате GRIB-1. Расчетные данные модели сохраняются на ftp-сервере Пермского государственного национального исследовательского университета.

Модель ICON (Икосаэдрическая негидростатическая модель, ICOSahedral Non-hydrostatic) создана Немецкой Метеорологической Службой (DWD, Deutscher WetterDienst) [10]. В модели применяется треугольная икосаэдральная сетка с горизонтальным разрешением 6,5 км для Европы и 13 км для всего мира. Модель выдает выходные данные в формате GRIB-2 с нерегулярной сеткой.

Модель GSM (Глобальная спектральная модель, Global Spectral Model) создана Японским метеорологическим агентством (Japan Meteorological Agency, JMA). В модели применяется расчетная сетка с горизонтальным разрешением около 20 км. Расчет прогноза запускается 4 раза в сутки и дает прогнозы на 10 дней. Имеется доступ к данным счета модели начиная с 2007 года с пространственным разрешением 0,5° и шагом 6 часов. Модель выдает выходные данные в формате GRIB-2 [11].

### Литература

1. Быков А.В. Моделирование и прогноз опасных метеорологических явлений конвективного происхождения на Урале: диссертация ... кандидата Географических наук. Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018.
2. Working Group on Numerical Experimentation. NWP systems (WGNE table). [Электронный ресурс]: <http://wgne.meteoinfo.ru/nwp-systems-wgne-table/>
3. Толстых М.А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 359. – С. 5–32.
4. Jung T., Miller M.J., Palmer T.N. et al. High-resolution global climate simulations with the ECMWF model in Project Athena: Experimental design, model climate, and seasonal forecast skill // J. Climate. 2012. Vol. 25. No. 9. – P. 3155–3172.
5. ERA5 data documentation. [Электронный ресурс]: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>
6. Global Forecast System (GFS) | National Centers for Environmental Information (NCEI) formerly known as National Climatic Data Center (NCDC). [Электронный ресурс]: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>
7. Qaddouri A. Nonlinear shallow-water equations on the Yin-Yang grid. Quart. J. Roy // Meteor. Soc. 2011. Vol. 137. – P. 810–818.
8. Толстых М.А., Шашкин В.В., Фадеев Р.Ю., Шляева А.В., Мизяк В.Г., Рогутов В.С., Богословский Н.Н., Гойман Г.С., Махнорылова С.В., Юрова А.Ю. Система моделирования атмосферы для бесшовного прогноза. – М.: Триада-ЛТД. 2017. – 166 с.
9. Tolstykh M.A., Volodin E.M., Kostykin S.V., et al. Development of the multiscale version of the SL-AV global atmosphere model // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40(6). – P. 374–382.
10. Zängl G., Reinert D., Ripodas P., Baldauf M. The ICON (ICOSahedral Non-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the nonhydrostatic dynamical core // Q. J. Roy. Meteorol. Soc. 2015. Vol. 141. – P. 563–579.
11. Шарапов Р.В. Адаптивное прогнозирование погоды с учетом локальных характеристик территории // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №1, 2020. С. 55-60.

Шарапов Р.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: sharapov76@gmail.com

### Мезомасштабная модель WRF для прогнозирования погоды

Модель для исследования и прогноза погоды WRF (Weather Research and Forecast) разработана в Национальном центре атмосферных исследований NCAR (National Center for Atmospheric Research). Она применяется при решении широкого круга задач в масштабах от сотен метров до тысяч километров, для исследования возможности использования разных схем параметризации, сравнения с данными наблюдений, численного предсказания изменения погоды.

Модель WRF включает эластические негидростатические уравнения, которые учитывают неоднородность поверхности. Имеется возможность осуществлять расчеты во вложенных областях с односторонним или двухсторонним влиянием. Модель WRF использует зависимую от поверхности систему координат, сгущающиеся к поверхности Земли сетки, консервативные разностные схемы 2-го и 3-го порядков аппроксимации для нестационарных членов и 2-6 порядка – для адвективных.

В основе WRF-модели лежат прогностические уравнения, которые для  $(x, y, z)$  – координатной системы можно представить в виде [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p'}{\partial t} + \nabla \cdot V &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot (vU) + \frac{\partial p'}{\partial x} &= F_U \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \nabla \cdot (vV) + \frac{\partial p'}{\partial y} &= F_V \\ \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (vW) + \frac{\partial p'}{\partial z} + g\rho' &= F_W \\ \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \nabla \cdot (v\Theta) &= F_\Theta \end{aligned}$$

где  $U = \rho u, V = \rho v, W = \rho w, \Theta = \rho \theta$

$$V = (U, V, W) = \rho(u, v, w) = \rho v$$

$F_U, F_V, F_W, F_\Theta$  – источниковые члены,  $v = (u, v, w)$  – вектор скорости ветра,  $\rho$  – плотность воздуха,  $p$  – давление,  $\Theta$  – потенциальная температура воздуха,  $g$  – ускорение силы тяжести.

Индексом «0» обозначаются базовые значения для «стандартной» атмосферы.

Величина давление рассчитывается на основе уравнения состояния:

$$p = p_0 \left( \frac{R\Theta}{p_0} \right)^{\gamma}$$

Возмущения термодинамических переменных представляют собой отклонения от инвариантного по времени гидростатического состояния:

$$\begin{aligned} p &= p_0(z) + p' \\ \rho &= \rho_0(z) + \rho' \\ \Theta &= \rho_0(z)\Theta_0(z) + \Theta' \end{aligned}$$

В модели WRF заложены различные схемы параметризации. Эти схемы могут совмещаться друг с другом в любых вариациях. Модель может работать с разными схемами представления процессов подсеточного масштаба. Например, температура и влажность почвы вычисляются с использованием одной из трех многослойных моделей тепло- и влагообмена в почве. При моделировании микрофизики влаги используются восемь схем параметризации, которые различаются детализацией представления фазовых состояний атмосферной влаги и областью применения. Для расчетов параметров планетарного пограничного слоя и конвективных процессов применяются по три схемы параметризации. Для моделирования потоков,

коротковолновой радиации используются три схемы параметризации, для длинноволновой – две схемы.

Для географической привязки WRF моделей применяются глобальные топографические данные с разрешением от одного градуса до 30 секунд. Для того, чтобы задать первое приближение метеорологических полей используются архивные данные и данные предшествующих прогнозов. Архивные данные получаются из данных реанализа Национального центра охраны окружающей среды NCEP и Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ECMWF, данных регионального анализа и прогноза. Начальные и граничные условия WRF моделей формируются на основе данных объективного анализа. Объективный анализ метеорологических полей производится путем обработки начального приближения метеорологических полей и синоптических данных, данных о геопотенциале, ветре, температуре и относительной влажности воздуха на изобарических поверхностях.

В настоящее время используются два варианта реализации динамического ядра модели WRF: WRF-ARW и WRF-NMM. Динамическое ядро WRF-ARW (Advanced Research WRF) разработано в NCAR (National Center for Atmospheric Research). Динамическое ядро WRF-NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) разработано в NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Эти динамические ядра различаются набором зависимых переменных, вертикальной координатой, системой дифференциальных уравнений и численными методами для их интегрирования.

В WRF-ARW набора зависимых переменных включает отклонения потенциальной температуры, геопотенциала и давления от своих значений в гидростатическом равновесии, компоненты скорости в декартовых координатах. Система уравнений модели представляет собой негидростатические уравнения движения для сжимаемой жидкости (с возможностью вычислений и в гидростатическом режиме). Вертикальной координатой является сигма-координата, соответствующая рельефу местности. Уравнения дискретизируются на пространственной сетке Аракавы класса «С». Производится интегрирование уравнений по времени методами Рунге-Кутты третьего и второго порядка с использованием метода расщепления (с разным шагом интегрирования для быстрых и медленных процессов).

В WRF-NMM используется система уравнений для полностью сжимаемой жидкости с явным разделением составляющих, отвечающие за динамику в гидростатическом равновесии и вклад негидростатической динамики. Эти уравнения дискретизируются на сетке Аракавы класса «Е». Производится интегрирование уравнений по времени методом Адамса-Башфорта с использованием для ряда величин неявного метода Кранка-Николсона для обеспечения численной устойчивости. В WRF-NMM используется гибридная вертикальная координата: до определённой пользователем изобарической поверхности используется следующая рельефу местности сигма-координата, а выше – традиционная изобарическая координата.

### Литература

1. Старченко А.В., Барашкова Н.К., Беликов Д.А. Вражнов Д.А., Кижнер Л.И., Лаврентьев Н.А. Информационно-вычислительная система для коллективного исследования проблем атмосферного пограничного слоя с использованием вычислительного кластера. Томск, 2006.
2. Беликов Д.А. Вражнов Д.А. Лаврентьев Н.А. Старченко А.В, Фазлиев А.З. Использование моделирующих систем MM5 и WRF в веб-портале ATMOS // Измерения, моделирование и информационные ресурсы для изучения окружающей среды, Томск, Из-во ЦНТИ, 2006. – С. 36-41.
3. Старченко А.В., Беликов Д.А., Вражнов Д.А., Есаулов А.О. Применение мезомасштабных моделей MM5 и WRF к исследованию атмосферных процессов // Оптика атмосферы и океана, 2005, Т. 18, № 5. – С. 455-461.
4. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 / W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X. Huang, W. Wang, J.G. Powers // NCAR Technical Note. – 2008. – 32 NCAR/TN-475+STR. [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v3.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf)
5. User's Guide for the NMM Core of the Weather Research and Forecast (WRF) Modeling System Version 3 [http://www.dtcenter.org/wrfnmm/users/docs/user\\_guide/V3/index.htm](http://www.dtcenter.org/wrfnmm/users/docs/user_guide/V3/index.htm)

Шарапова Е.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: sharapovamivlgu@gmail.com*

### Изменение температурных параметров г. Мурома Владимирской области

Владимирская область занимает довольно выгодное географическое местоположение на территории Российской Федерации. Она находится в центральной части России на равнинной местности, в зоне с умеренно-континентальным климатом. Природные катаклизмы и резкие перепады климатических параметров не присущи этому району, так как он к тому же находится далеко от морских и океанического побережий нашей родины. Но глобальные климатические изменения, всё же, коснулись и этой области России. Наиболее очевидное для всех изменение климата – это глобальное потепление, то есть повышение среднего уровня температуры атмосферного воздуха.

Не секрет, что средняя температура воздуха в России стала выше, чем была раньше, например, в середине и начале XX века. Об этом свидетельствуют исследования специалистов Росгидрометецентра России. Наблюдения за погодой в виде множественных климатических данных фиксируются метеостанциями, расположенными во множестве населенных пунктов Российской Федерации. Учетом этих данных занимается Федеральное агентство по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [1,2].

Климатические параметры региона, учтенные этим агентством, напрямую влияют на продолжительность отопительного периода в холодное время года в регионе. В соответствии с этими данными и составляются главные документы в сфере строительной климатологии, в частности различные строительные правила и нормы, которые должны соблюдаться.

Проанализируем температурные данные, а также продолжительность отопительного сезона по городу Мурому Владимирской области в соответствии с двумя редакциями СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» и СП 131.13330.2018 «Строительная климатология». Сопоставим температурные данные по г. Мурому Владимирской области, зафиксированные в 2018 и в 2020 годах и отраженные в этих строительных документах.

Данные, которые взяты для анализа изменений, перечислены в следующем списке и представлены в таблице 1:

1. Температура воздуха наиболее холодных суток (в холодный период, обеспеченность 0,98),
2. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки (в холодный период, обеспеченность 0,98),
3. Температура воздуха с обеспеченностью 0,94,
4. Абсолютная минимальная температура воздуха,
5. Продолжительность периода в сутках со средней суточной температурой воздуха  $\leq 8^{\circ}\text{C}$  (длительность отопительного сезона).

Таблица 1

Данные для сравнения температурных параметров в отопительном сезоне

Годы учета	Температура воздуха наиболее холодных суток, $^{\circ}\text{C}$	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, $^{\circ}\text{C}$	Температура воздуха с обеспеченностью 0,94, $^{\circ}\text{C}$	Длительность отопительного сезона, сут.
2018	-39	-33	-16	214
2020	-35	-31	-15	206

Данные для сравнения и анализа температурных изменений приведены на рисунке 1. По диаграмме легко увидеть и проанализировать изменения температурного режима в г. Муром – очевидно общее повышение температуры воздуха в 2020 году по сравнению с 2018 годом:

- температура воздуха наиболее холодных суток увеличилась на  $4^{\circ}\text{C}$ ,
- температура воздуха наиболее холодной пятидневки увеличилась на  $2^{\circ}\text{C}$ ,

- температура воздуха с обеспеченностью 0,94 увеличилась на 1°C.

В соответствии с температурными изменениями атмосферного воздуха, в частности, то есть в соответствии с темой нашего анализа, абсолютно объяснимо уменьшение длительности отопительного сезона в городе Муроме на 8 дней начиная с 2020 года, что отражено в таблице 1 в столбце №5.

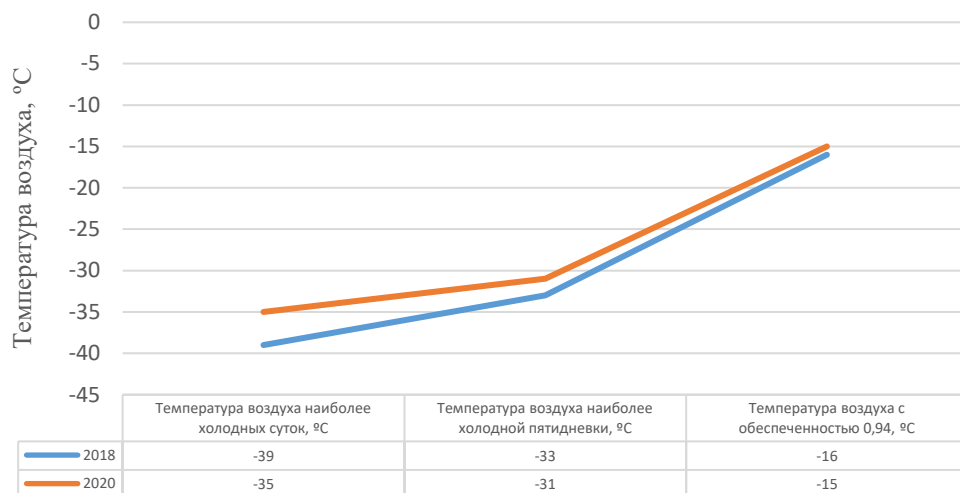


Рис. 1. Диаграмма температурных изменений параметров воздуха в отопительный сезон

Также для полноты доказательств повышения средней температуры воздуха в Муромском регионе проанализируем данные по средним температурам всех месяцев 2018 и 2020 годов. Данные для анализа приведены в таблице 2:

Таблица 2

Данные для сравнения средних месячных и годовых температур в г. Муром в 2018 и 2020 годах

Годы учета	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	весь год
2018	-11,5	-10,9	-4,9	4,7	12,5	16,7	18,7	17,2	11,3	4,1	-2,3	-8,2	4,0
2020	-9,8	-9,1	-3,0	6,2	13,3	17,0	19,1	17,1	11,2	4,6	-2,1	-7,1	4,8

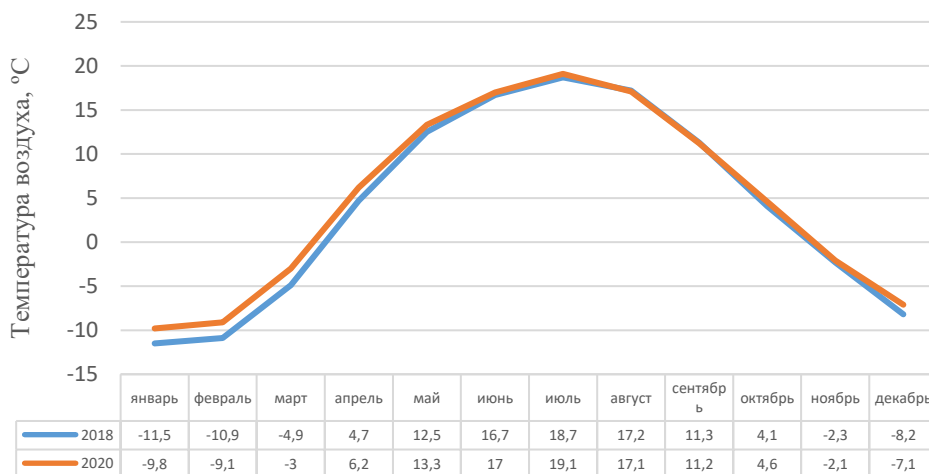


Рис. 2. Среднемесячные температуры.

По данным рис. 1 мы видим увеличение исследуемых параметров в 2020 году относительно 2018 года, что отражено красной линией графика. По данным рис. 2 видно повсеместное увеличение средней температуры воздуха в 2020 году по всем месяцам, а также за весь год, что отражено красной линией графика.

Таким образом, в ходе проведенного анализа было выявлено общее повышение температуры воздуха в холодный период года в городе Муроме в период с 2018 по 2020 годы, в связи с чем были внесены изменения в длительность отопительного сезона в нормативных строительных документах.

#### **Литература**

1. СП 131.13330.2020 Строительная климатология.
2. СП 131.13330.2018 Строительная климатология.