

ISSN 2072-0297

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



16+

27
ЧАСТЬ I
2022

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 27 (422) / 2022

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

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

Международный редакционный совет:

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

На обложке изображен *Доктор Осьминог*, настоящее имя — *Отто Гюнтер Октавиус*, суперзлодей, в дальнейшем антигерой, появляющийся в комиксах издательства Marvel Comics. Впервые упомянут в *The Amazing Spider-Man* № 3 (июль 1963 года). Придуман писателем Стэном Ли и художником Стивом Дитко. Это высокоинтеллектуальный злой учёный, заклятый враг Человека-паука, а также один из умнейших персонажей вселенной Marvel. На его спине располагаются четыре мощных механических щупальца. Одержим целью доказать свою гениальность и убить Человека-паука, однако вступал в конфликты и с другими персонажами Marvel, такими как Железный человек, Халк и Капитан Америка.

Родившийся в Нью-Йорке, Отто Октавиус имел трудное детство. Его отец Торберт — фабричный рабочий, был жесток по отношению к Отто и его матери Мэри. Торберт Октавиус не ценил своего слабохарактерного сына, над которым все издевались, и требовал от Отто давать сдачи, имея дело с хулиганами. Мать же старалась оградить маленького Отто от опасностей и даже запрещала ему иметь отношения с девочками, считая, что они завидуют гению Отто. Мальчик сосредоточил все свои усилия на учёбе, регулярно получая высшие баллы. Это окупилось награждением его университетской степенью. Через год обучения в университете его отец умер из-за несчастного случая на производстве, вследствие чего Отто направил все свои усилия на исследования в области физики. После окончания университета Отто Октавиус нашёл себе работу в проектной фирме.

Отто стал известным и уважаемым специалистом в области ядерной физики, изобретателем и преподавателем. Он проектировал ряд продвинутых механических инструментов, управляемых через мозговой компьютерный интерфейс, для помощи в исследовании атомной физики. Инструменты-щупальца, прикрепленные к его телу при помощи ремней безопасности, были устойчивыми к радиации, сильными и точными. Во время случайной радиационной утечки, которая закончилась сильным взрывом, аппарат был намертво присоединён к телу Отто Октавиуса. Позже было показано, что радиация видоизменила его мозг так, что он смог управлять движением своих щупалец, используя только свои мысли.

Доктор Осьминог стал одним из самых культовых персонажей в комиксах о Человеке-пауке. При своей первой встрече с Человеком-пауком Отто избил его настолько ужасно, что Питер Паркер хотел отказаться от карьеры супергероя. Доктор Осьминог повинен в смерти капитана Джорджа Стейси — отца Гвен Стейси, которая была девушкой Питера Паркера. Отто почти женился на тёте Мэй и основал Зловещую шестёрку. В дальнейшем Отто Октавиус реорганизовывал свою команду несколько раз.

Во время событий «Предсмертного желания» Отто поменялся телами с Человеком-пауком, и после последней схватки Питер Паркер в теле Доктора Осьминога погиб. Отто Октавиус переживал все воспоминания Человека-паука и поклялся творить добро, занимая место своего давнего противника на посту супергероя в своей собственной серии комиксов *The Superior Spider-Man* и её ответвлениях, в дальнейшем взяв личину Превосходного Осьминога.

Решив, что классический костюм Человека-паука не соответствует образу Превосходного Человека-паука, Отто Октавиус поменял цветовую гамму костюма с красно-синего на красно-чёрный, изобрёл новые усовершенствованные линзы, добавил острые когти на руках и ногах. Второй вариант костюма был ещё более далёк от оригинала. В костюме стал преобладать чёрный цвет, линзы также стали чёрными, Отто Октавиус усовершенствовал формулу паутины и веб-шутеры, добавил коммуникаторы на запястья и создал четыре дополнительные конечности для костюма, которые напоминали паучьи лапы.

Помимо костюма, доктор Отто Октавиус создал около тысячи усовершенствованных паук-ботов, которые должны были докладывать ему о различных происшествиях в городе. После того как Отто получил от Джеймсона в распоряжение тюрьму Рафт, он оборудовал её новейшей технологией и создал там свою супергеройскую базу — Паучий Остров II.

В фильме «Человек-паук 2» (2004 г.) роль Доктора Осьминога исполнил Альфред Молина.

В дополнительных материалах к фильму «Человек-паук 2» Стэн Ли сказал, что Доктор Осьминог — один из его любимых злодеев.

Екатерина Осянина, ответственный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

Цымлякова Ю. Д.

Сравнение эмпирических, полуэмпирических и теоретической моделей активности равновесия «жидкость — пар» на примере бинарной системы «пентан — ацетон»..... 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сергеев С. М.

Проблемы механики первого поколения блокчейн-игр 6

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Белов М. А.

Гибкость использования разных видов топлива в газотурбинных энергетических установках в составе судовых энергетических установок...11

Белов М. А.

Газотурбинные энергетические установки.....13

Dedov A. S., Kosheva A. V., Tatarkin I. A., Sukhoterin V. A.

Impact of the pandemic and development prospects to the sphere of the modern telecommunications market..... 14

Куценко М. М.

Общие сведения о кадастровых работах и их экономическое обоснование16

Куценко М. М.

Анализ современного состояния процесса по оспариванию кадастровой стоимости на территории России.....17

Мизгирев Е. Л.

Сжиженный природный газ как одна из альтернатив в качестве топлива для судовых энергетических установок.....19

Мизгирев Е. Л.

Водород как топливная альтернатива для использования в газотурбинных энергетических установках21

Рагозинников М. А.

Применение полевых приборов при исследовании бетонных конструкций в пожарно-технической экспертизе.....22

Роговицкий А. С.

Инновации в исследованиях по имплементации водородных двигателей в газотурбинных энергетических установках27

Роговицкий А. С.

Конструктивная конфигурация газотурбинных энергетических установок на водородном топливе29

Семенов К. С.

Влияние пористости и структурных параметров на разные виды диссоциации газогидратов31

Семенов К. С.

Возобновляемые источники сырья. Биотопливо.. 34

Скорик Ю. А.

Об освещении рабочих мест как о части производственного процесса.....37

Устинов Ф. Д., Белов К. И., Мухина С. Д.

Теплообменный аппарат для газоперекачивающих станций, работающих с использованием синтез-газа39

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Терещенко В. П.

3D-печать зданий43

Терещенко В. П.

Использование альтернативных источников энергии в сфере современного строительства..45

Терещенко В. П.

Работа древесины в сейсмических районах47

Терещенко В. П.
Сушка древесины и внутренние напряжения при сушке49

ГЕОЛОГИЯ

Аль-хамати А., Аль Малави А.
Технология обработки призабойной зоны пласта с отклонителями51

Technology of processing bottomhole zone formation with deflectors51

ЭКОЛОГИЯ

Яргин С. В.
Преувеличение последствий повышения радиационного фона. Часть 254

ХИМИЯ

Сравнение эмпирических, полуэмпирических и теоретической моделей активности равновесия «жидкость — пар» на примере бинарной системы «пентан — ацетон»

Цымлякова Юлия Дмитриевна, студент

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

В данной работе описываются способы определения коэффициентов активности изотермической системы пентан — ацетон с помощью полуэмпирического метода расчёта и теоретической модели UNIFAC, а также их сравнение с эмпирическими моделями.

Ключевые слова: коэффициент активности, UNIFAC, полуэмпирическая модель, бинарная система.

Полуэмпирическая модель Вильсона

Наибольшее распространение получила модель «локальных составов» (или «локальных концентраций»). Первое уравнение, основанное на этой модели, было выведено в 1964 г. Вильсоном. Модель «локальных составов» основана на том, что в результате межмолекулярных взаимодействий в смеси возникают локальные микросоставы, неэквивалентные макросоставу раствора по приготовлению. Различие локальных и средних концентраций компонентов связано с разностью энергий взаимодействия одноименных и разноименных пар молекул.

По данным статьи [1, с. 3] из графика зависимости коэффициентов активности компонентов системы пентан (1) — ацетон (2) и $\ln \gamma_1/\gamma_2$ от состава системы экстраполяцией кривой $\ln \gamma_i = f(x_i)$ находят при $x_1=0$ $\ln \gamma_1^0 = 1,7572$ и $\gamma_1^0 = 5,796$, а экстраполяцией зависимости $\ln \gamma_2 = f(x_2)$ при $x_1=1$ определяют $\ln \gamma_2^0 = 1,9257$ и $\gamma_2^0 = 6,86$.

Т. к. система с положительным отклонением от закона Рауля, то по номограмме (рисунок 1) ориентировочные значения приведенных параметров уравнения Вильсона: $\Lambda_{12} = 0,38$ и $\Lambda_{21} = 0,3$.

Далее рассчитывают уточненные значения приведенных параметров по уравнениям:

$$\Lambda_{12} = \frac{1}{\gamma_2^0} e^{(1-\Lambda_{12})} \quad (1)$$

$$\Lambda_{21} = \frac{1}{\gamma_1^0} e^{(1-\frac{1}{\gamma_1^0} e^{(1-\Lambda_{12})})} \quad (2)$$

Отсюда получим, что $\Lambda_{12} = 0,379$ и $\Lambda_{21} = 0,314$

Далее находят значения β и $\ln \gamma_i$ по уравнениям:

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12} \cdot x_2) + \beta \cdot x_2 \quad (3)$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + \Lambda_{21} \cdot x_1) - \beta \cdot x_1 \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12} \cdot x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + \Lambda_{21} \cdot x_1} \quad (5)$$

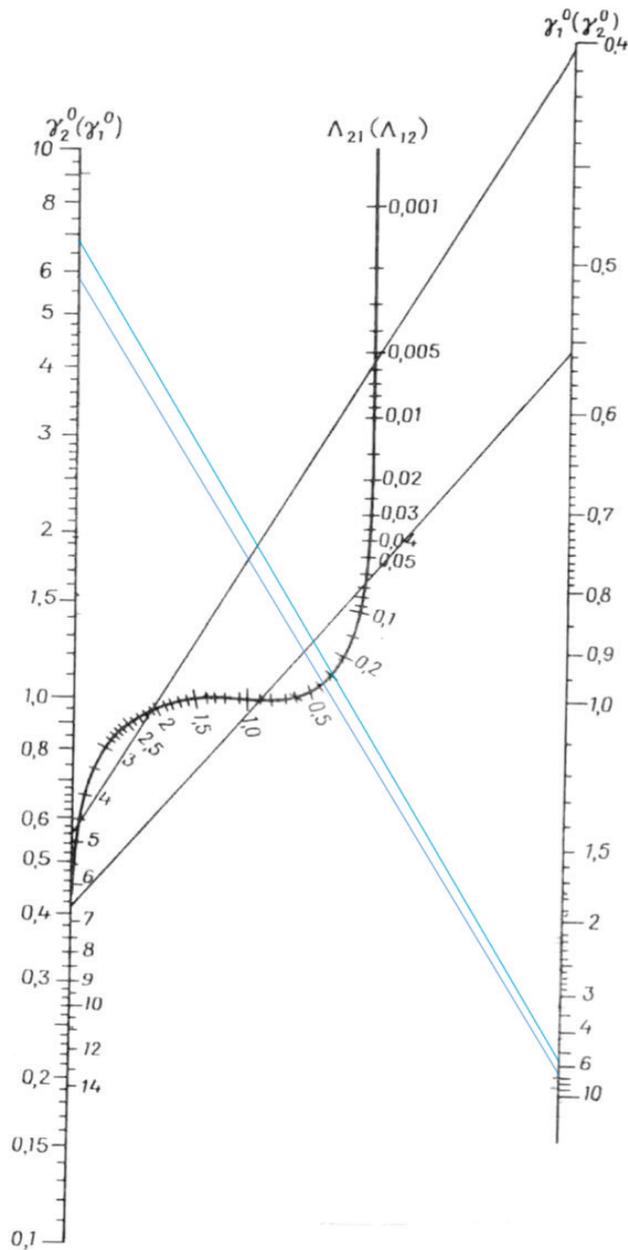


Рис. 1. Номограмма для определения приведенных параметров уравнения Вильсона

Таблица 1. Коэффициенты активности компонентов, рассчитанные по методу Вильсона

x1, мол. д.	β	$\ln \gamma_1$	$\ln \gamma_2$
0,0094	0,669	1,618	0,0002
0,054	0,593	1,446	0,006
0,0887	0,539	1,326	0,015
0,16	0,440	1,107	0,046
0,3741	0,198	0,616	0,223
0,388	0,183	0,590	0,238
0,4721	0,099	0,450	0,344
0,5689	0,003	0,313	0,493
0,6548	-0,088	0,211	0,654
0,7192	-0,161	0,147	0,796
0,7787	-0,235	0,096	0,947
0,9223	-0,457	0,014	1,423

Сравнение эмпирических и полуэмпирических методов

Было произведено сравнение эмпирических методов, описанных в статье [1] и полуэмпирического метода. Для математического описания зависимости коэффициентов активности компонентов системы пентан — ацетон лучше всего использовать уравнение Редлиха-Кистера.

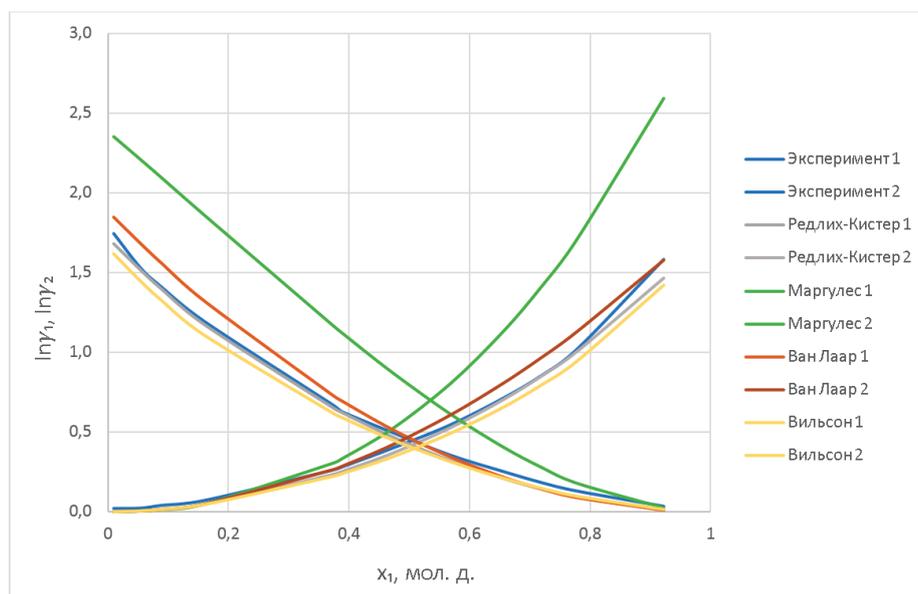


Рис. 2. Зависимость γ_i компонента системы пентан — ацетон от состава при 25 оС

Теоретическая модель. Метод UNIFAC (UNIQUAC Functional — group Activity Coefficients)

Расчет коэффициентов активности компонентов системы пентан (1) — ацетон (2) при $x_1 = 0.16$ и температуре 25°С (298.15 К) методом UNIFAC.

Молекула пентана представляется в виде 3 групп CH_2 и 2 групп CH_3 , а молекула ацетона — как 1 группа CH_3CO и 1 группа CH_3 . Параметры объема R_k и поверхности групп Q_k приведены в таблице 2.

Параметры взаимодействия групп: $a_{12} = 0$, $a_{13} = 476,4$, $a_{21} = 0$, $a_{23} = 476,4$, $a_{31} = 26,76$; $a_{32} = 26,76$. Приведенные параметры группового взаимодействия, рассчитанные по уравнению:

$$\Psi_{mn} = e^{-\frac{a_{mn}}{T}} \tag{6}$$

$$\Psi_{12} = 1, \Psi_{13} = 0,202, \Psi_{21} = 1,$$

$$\Psi_{23} = 0,202, \Psi_{31} = 0,914, \Psi_{32} = 0,914$$

Таблица 2. Параметры объема и поверхности групп CH_2 , CH_3 и CH_3CO

N группы	Группа	R_k	Q_k	Количество групп в молекуле	
				Пентан	Ацетон
1	CH_2	0,6744	0,540	3	0
2	CH_3	0,9011	0,848	2	1
3	CH_3CO	1,6724	1,488	0	1

Ван-дер-ваальсовы радиусы молекул компонентов:

$$r_1 = 3,825$$

$$r_2 = 2,574$$

Ван-дер-ваальсовы поверхности молекул компонентов:

$$q_1 = 3,316$$

$$q_2 = 2,336$$

Объемная доля компонентов в растворе, рассчитанная по уравнению:

$$\varphi_i = \frac{r_i \cdot x_i}{\sum r_j \cdot x_j} \quad (7)$$

$$\varphi_1 = 0,221$$

$$\varphi_2 = 0,779$$

Доля площади поверхности молекул компонентов в растворе, рассчитанная по уравнению:

$$\theta_i = \frac{q_i \cdot x_i}{\sum q_j \cdot x_j} \quad (8)$$

$$\theta_1 = 0,213$$

$$\theta_2 = 0,787$$

Факторы объемности молекул компонентов, рассчитанные по уравнению:

$$l_i = \frac{z}{2}(r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (9)$$

$$l_1 = -0,278$$

$$l_2 = -0,386$$

Далее используют уравнения:

$$\ln \gamma_{1(\text{комб})} = \ln \frac{\varphi_1}{x_1} + \frac{z}{2} q_1 \cdot \ln \frac{\theta_1}{\varphi_1} + \varphi_2 \left(l_1 - \frac{r_1}{r_2} l_2 \right) \quad (10)$$

$$\ln \gamma_{2(\text{комб})} = \ln \frac{\varphi_2}{x_2} + \frac{z}{2} q_2 \cdot \ln \frac{\theta_2}{\varphi_2} + \varphi_1 \left(l_2 - \frac{r_2}{r_1} l_1 \right) \quad (11)$$

$$\ln \gamma_{1(\text{комб})} = -0,0467$$

$$\ln \gamma_{2(\text{комб})} = -0,0022$$

Групповые доли групп в растворе при $x_1=0,16$, рассчитанные по уравнению:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n v_m^i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N v_k^i \cdot x_i} \quad (12)$$

$$\bar{x}_1 = 0,193; \bar{x}_2 = 0,468; \bar{x}_3 = 0,339$$

Доля площади поверхности групп в растворе рассчитывается по уравнению:

$$\theta_m = \frac{\bar{x}_m \cdot Q_m}{\sum \bar{x}_n \cdot Q_n} \quad (13)$$

$$\theta_1 = 0,104; \theta_2 = 0,395; \theta_3 = 0,501$$

Молекула пентана на 0,6 состоит из группы CH_2 и на 0,4 из группы CH_3 , а молекула ацетона на 0,5 состоит из группы CH_3 и на 0,5 из группы CH_3CO , поэтому расчет был произведен и для раствора, и для чистых компонентов, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Доля площади поверхности групп в растворе и в чистых компонентах

Параметр	Раствор	Пентан	Ацетон
θ_1	0,104	0,489	—
θ_2	0,395	0,511	0,363
θ_3	0,501	—	0,637

Средневзвешенные параметры взаимодействия групп рассчитывают по уравнению:

$$E_k = \theta_1 \cdot \Psi_{1k} + \theta_2 \cdot \Psi_{2k} + \theta_3 \cdot \Psi_{3k} + \dots \quad (14)$$

$$E_1 = 0,957; E_2 = 0,957; E_3 = 0,602$$

Таблица 4. Средневзвешенные параметры взаимодействия групп в растворе и для чистых компонентов

Параметр	Раствор	Пентан	Ацетон
E_1	0,957	1	—
E_2	0,957	1	0,945
E_3	0,602	—	0,710

Значения дополнительной функции F_i рассчитывают по уравнению (15) и приводят для раствора и чистых компонентов в табл. 5:

Таблица 5. Дополнительные функции групп в растворе и для чистых компонентов

Параметр	Раствор	Пентан	Ацетон
F_1	0,689	1	—
F_2	0,689	1	0,565
F_3	1,309	—	1,248

$$F_k = \frac{\theta_1 \cdot \psi_{k1}}{E_1} + \frac{\theta_2 \cdot \psi_{k2}}{E_2} + \frac{\theta_3 \cdot \psi_{k3}}{E_3} \dots \quad (15)$$

$$F_1 = 0,689; F_2 = 0,689; F_3 = 1,309$$

Коэффициенты активности групп в растворе рассчитываются по уравнению (16) и в чистых компонентах — по уравнению (17):

$$\ln \Gamma_k = Q_k(1 - \ln E_k - F_k) \quad (16)$$

$$\ln \Gamma_1 = 0,191; \ln \Gamma_2 = 0,301; \ln \Gamma_3 = 0,295$$

$$\ln \Gamma_k^i = Q_k^i(1 - \ln E_k^i - F_k^i) \quad (17)$$

$$\ln \Gamma_1^1 = 0; \ln \Gamma_2^1 = 0$$

$$\ln \Gamma_2^2 = 0,416; \ln \Gamma_3^2 = 0,14$$

Далее рассчитывают коэффициенты активности компонентов с учетом остаточной и комбинаторной составляющих по уравнениям (18) и (19):

$$\ln \gamma_{i(\text{ост})} = \sum_{k=1}^N v_k^i (\ln \Gamma_k - \ln \Gamma_k^i) \quad (18)$$

$$\ln \gamma_{1(\text{ост})} = 1,176$$

$$\ln \gamma_{2(\text{ост})} = 0,039$$

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_{i(\text{комб})} + \ln \gamma_{i(\text{ост})} \quad (19)$$

$$\ln \gamma_1 = 1,129$$

$$\ln \gamma_2 = 0,037$$

$$\gamma_1 = 3,092$$

$$\gamma_2 = 1,038$$

Погрешность расчета γ_1 и γ_2 методом UNIFAC составляет при $x_1 = 0,16$:

$$\Delta_i = \frac{|\gamma_{i(\text{экспер.})} - \gamma_{i(\text{UNIF})}|}{\gamma_{i(\text{экспер.})}} \cdot 100 \quad (20)$$

$$\Delta_1 = 6,04 \%$$

$$\Delta_2 = 3,23 \%$$

Литература:

1. Цымлякова, Ю. Д. Проверка адекватности эмпирических и полуэмпирических моделей при изучении фазового равновесия в бинорной системе «углеводород — апротонный растворитель» / Ю. Д. Цымлякова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 26 (421). — С. 1–7. — URL: <https://moluch.ru/archive/421/93746/> (дата обращения: 08.07.2022).
2. Гайле, А. А. Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа / А. А. Гайле, В. Е. Сомов, А. В. Камешков. — 2. — 2018: Химиздат, 2018. — 432 с.
3. Уэйлес, С. Фазовые равновесия в химической технологии. Ч. 1, 2. — М.: Мир, 1989. — 664 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проблемы механики первого поколения блокчейн-игр

Сергеев Степан Михайлович, основатель
Компания «OneWayBlock» (г. Москва)

В этой статье будут рассмотрены как преимущества, так и недостатки игр на блокчейне. Мы узнаем о том, какие проблемы выявила реализация первого поколения блокчейн-игр и каким образом данные проблемы могут быть преодолены.

Ключевые слова: блокчейн, blockchain, play-to-earn, p2e, peer-to-peer, p2p, Metaverse, Метавселенная, игры на блокчейне, блокчейн-игры, blockchain games, игровая индустрия, gameFi, Web 3.0, gameplay, геймплей.

Игры, основанные на технологии блокчейна, стали основой для появления целой индустрии p2e (play-to-earn, играть, чтобы зарабатывать). Блокчейн также называют технологией распределенного реестра. На практике это значит, что консенсус о состоянии сети достигается программным образом, без участия третьей стороны. Таким образом становятся возможными финансовые транзакции без участия банков или других финансовых учреждений, напрямую между участниками сети.

Таким же образом блокчейн помогает игрокам безопасно хранить и передавать свои игровые активы. Игры категории p2e ценны для пользователей тем, что различные игровые предметы — например, мечи, броня, космические корабли или различные трофеи становятся собственностью самого игрока, а не собственностью компании, которой принадлежит игра. Игровые активы на блокчейне можно хранить в программном или аппаратном кошельке для криптовалют, наряду с монетами, токенами, NFT и другими цифровыми ценностями.

Децентрализация игровой индустрии избавляет её от следующих недостатков:

- Зависимость состояния игры от технических ошибок программного кода, работоспособности серверов.
- Подверженность хакерским атакам.
- Контроль игровой экономики и игровых предметов администраторами.
- Непрозрачность игровой механики и экономики.

Данные проблемы частично или полностью решает использование в играх технологии блокчейна (распределённого реестра). Игры, которые полагаются на блокчейн для сохранения игрового мира, игрового процесса и игровых предметов, можно отнести к играм на блокчейне первого поколения. Благодаря блокчейну игры перестают зависеть от состояния централизованных серверов, игровая механика и экономика делаются прозрачными, а предметы и другие ценности контролируют сами игроки. Многие игры на блокчейне имеют открытый исходный

код, что отдаёт контроль над игрой в руки самих игроков. Также блокчейн частично обеспечивает защиту от хакерских атак.

В настоящее время компьютерные игры существуют на следующих блокчейнах:

- Binance Smart Chain;
- Polygon;
- FLOW;
- NEAR;
- EOS;
- Solana;
- WAX;
- Tron;
- Ontology;
- ThunderCore;
- Waves;
- Steem;
- Hive;
- Avalanche;
- Telos;
- Tezos;
- RSK;
- IoTeX;
- Ronin;
- Klaytn;
- HECO;
- DEP;
- Vulcan Forged;
- Okex Chain;
- Harmony.

Преобладают среди игр на блокчейне те, что работают в современных сетях Wax, Matic, Binance Smart Chain. Ethereum и другие сети первого поколения криптовалют неудобны для создания игр, поскольку они работают сравнительно медленно и с очень дорогими транзакциями.

В то же время первое поколение игр на блокчейне имеет ряд недостатков.

- Примитивная графика.
- Примитивный игровой процесс.
- Искусственное раздувание ценности игровых активов.
- Нестойкость экономической модели игры.
- Однообразие игровых сценариев.

Есть игры первого поколения на блокчейне, которые во многом преодолели вышеуказанные недостатки. Среди них стоит назвать:

- Axie Infinity.
- Clash of Coins.
- Mines of Dalarnia.
- Gods Unchained.
- The Sandbox.
- Alien Worlds.
- Embersword.
- Guild of Guardians.

В каком направлении происходит развитие игр на блокчейне сейчас? В первую очередь интересной тенденцией стали сотрудничество, как чаще говорят, «коллаборации», как внутри игровой индустрии, так и за её пределами. Например, это может быть сотрудничество разработчиков игры и известного NFT-художника, создающего для игры новых персонажей. Или же сотрудничество между собой нескольких игр на одном блокчейне — NFT, персонажи и предметы из одной игры могут переключаться в другую игру, дополняя и развивая её геймплей. Нет сомнений, что количество интересных коллабораций в мире игр на блокчейне будет только расти. Хотя

бы по той причине, что они оказались очень удачным инструментом маркетинга.

Быстро развились и приобрели популярность новые игровые направления. Это Move to earn (бегать, чтобы зарабатывать), Learn to earn (учиться, чтобы зарабатывать), и даже watch to earn (смотреть видео, чтобы зарабатывать). Однако такие игры нельзя отнести ко второму поколению игр на блокчейне. Скорее это следующее поколение финансовых пирамид на блокчейне — поскольку заработок участников таких предприятий зависит в первую очередь от притока новых пользователей. Без расширения базы пользователей любая из таких игр обречена. Однако какие же игры можно назвать вторым поколением игр на блокчейне?

Второе поколение игр на блокчейне

Рассматривать как второе поколение игр на блокчейне можно только те игры, разработчики которых избавились от ряда проблем первого поколения игр. Первая и основная проблема игр на блокчейне первого поколения в том, что игровой процесс без финансовой мотивации чаще всего является просто скучным. Примитивная игровая механика, к которой добавлена возможность «выколачивать» токены простыми и монотонными действиями — уже выходит из моды. В то же время игры на блокчейне приобрели огромную популярность. По данным аналитических отчётов dappRadar, этот рынок вырос за год на 4125%. С играми ежедневно взаимодействует более 1.23 миллиона активных криптовалютных кошельков. Стоимость самой дорогой игровой собственности уже исчисляется милли-

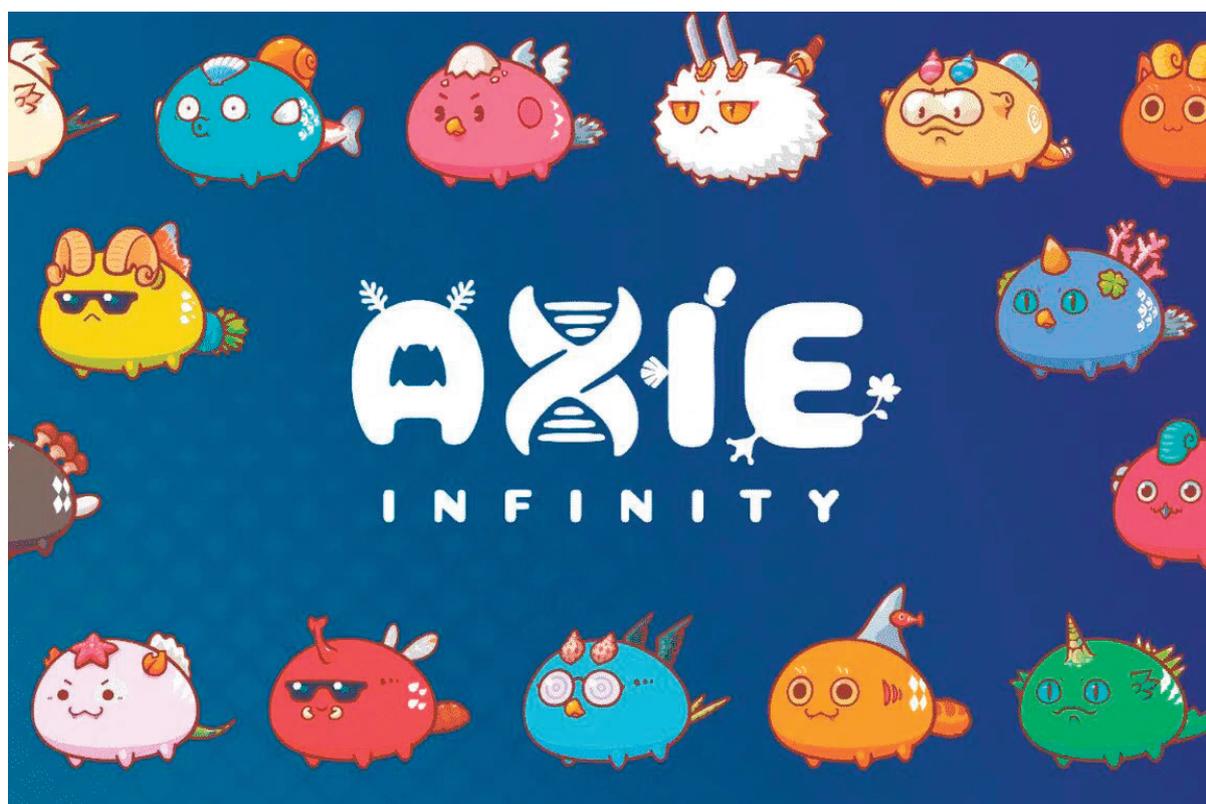


Рис. 1. Axie Infinity



Рис. 2. Move to earn

онами долларов — например, за \$2 миллиона был продан участок виртуальной земли в мире Axie Infinity.

В 2022 году в первую очередь получили развитие игры на блокчейне, которые привлекают пользователей захватывающим игровым процессом. Для этого разработчики всё чаще используют возможности графики, которые предоставляет Un-

real Engine 5. Это набор мощных инструментов для создания и отображения трёхмерных объектов. Стали возможны игры на блокчейне, которые заключаются в беге и стрельбе (так называемые «shooters»). Появились и симуляторы гоночных соревнований, использующие технологию блокчейна. С помощью распределённого реестра хранятся и передаются такие цифровые



Рис. 3. Качество графики Unreal Engine

активы, как гоночные автомобили, гаражи и автомобильные запчасти внутри игры.

Крайне важно и снижение «порога входа» в игры. Пользователь не должен вникать в тонкости использования как блокчейна и NFT, так и других технологий. Чем проще общение с игрой — тем лучше как с точки зрения геймплея, так и для широкого приятия игры. Игра на блокчейне второго поколения должна полностью избавить игрока от технических подробностей. Во многом этому будет способствовать всё более широкое распространение технологий Web 3.0.

Однако не менее важна и игровая экономика. Создатели игр на блокчейне первого поколения подчас искусственно раздували стоимость игровых предметов, которые сами же и контролируют. Также нередко экономическая модель игры приводила к её краху из-за слишком большой эмиссии (постоянной инфляции) монеты или токена. Это приводило к разочарованию пользователей и преждевременному завершению игрового проекта. К тому же созданную однажды экономическую модель игры (как ещё говорят, токеномику), созданную однажды, становится сложно модернизировать так, чтобы это понравилось пользователям.

От экономических проблем игр на блокчейне первого поколения разработчики стараются избавиться с помощью такого понятия, как Метавселенная (Metaverse). Это игровой мир, экономическая модель которого зависит от действий самих игроков и регулирует сама себя (посредством внутреннего или внешнего рынка игровых активов). Таким образом количество игровых сценариев становится неограниченным, а экономическая модель становится стойкой и надёжной. Сочетание экономической модели Метавселенной, интересного, стойкого геймплея и современных технологий должно дать нам желаемый мир Web 3.0.

Взаимное проникновение игр на блокчейне и игровой индустрии

Может показаться, что игры на блокчейне не представляют собой что-то серьёзное. Тем не менее экономика р2р (основанная на связи равноправных узлов) уже до неузнаваемости изменила игровую индустрию.

Все студии разработки популярных игр наперегонки добавляют внутренние торговые площадки, поддержку платежей в криптовалютах и возможность использования NFT. Ubisoft — одна из самых известных игровых студий в мире уже анонсировала несколько новых игр, полностью основанных на технологии блокчейна.

Метавселенные и другие пути развития игровой индустрии

Когда осадная башня, рыцарские доспехи или даже целый дракон превращаются в NFT, которую можно продать, подарить, обменять, передать по наследству — пользовательский опыт игрока становится совершенно другим. Не менее значимым новшеством станет так называемая Метавселенная (Metaverse). Она широко использует технологии NFT и криптовалют, превращаясь в открытый мир — где одновременно могут пребывать десятки и даже сотни тысяч человек. В настоящее время пока не существует игры, которую с полным основанием можно назвать Метавселенной. Однако отдельные элементы Метавселенных всё чаще используются играми второго поколения на блокчейне.

Как Метавселенные, так и игры второго поколения на блокчейне становятся возможны только благодаря новым, бы-

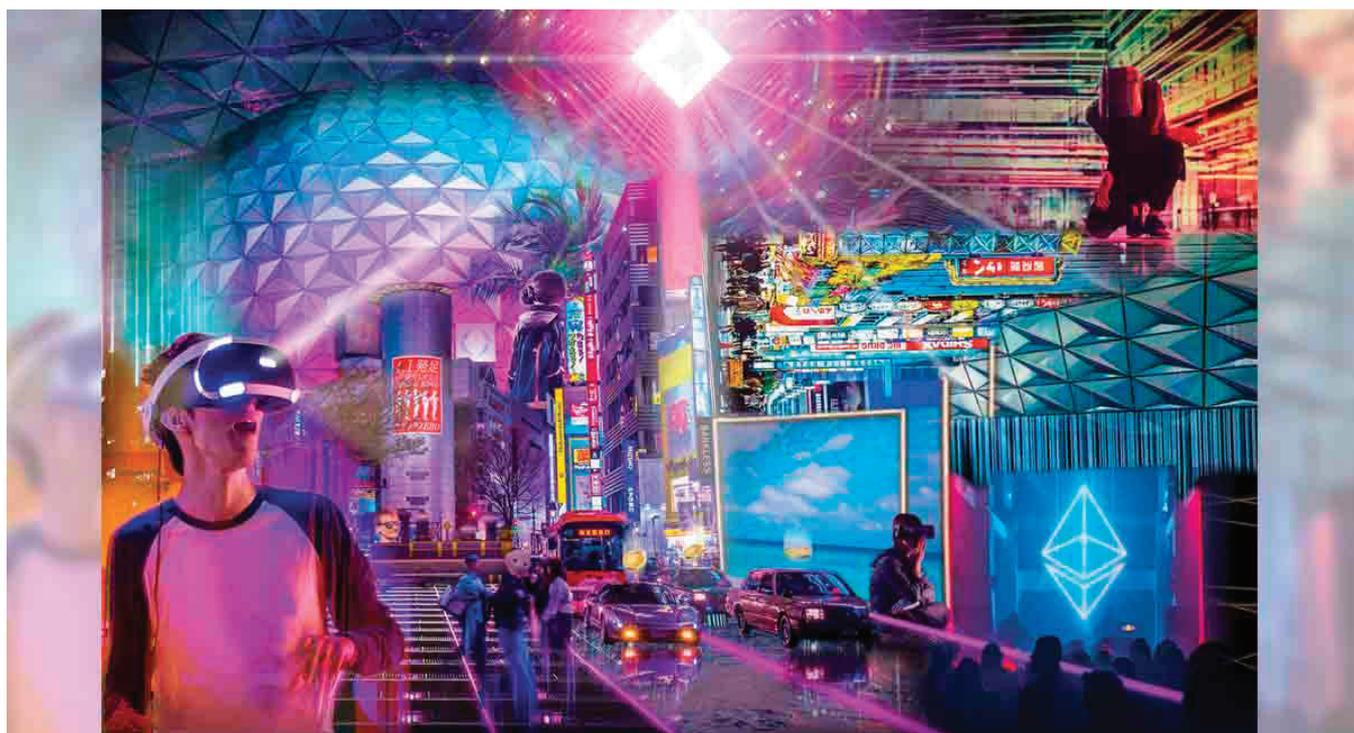


Рис. 4. Возможный вид Метавселенной

стрым и экономичным распределённым реестрам. В основном они используют алгоритм подтверждения транзакций Proof of state (доказательство владения), что приходит на смену алгоритму Proof of work (доказательство работы, алгоритм Bitcoin и других криптовалют первого поколения). Резюмируя эту работу, мы можем установить, что для развития игр на блокчейне первична именно их техническая основа. Говоря другими словами, первичны быстрые, надёжные и экономичные алгоритмы шифрования. Их развитие происходит стремительно. В настоящее время готовятся выйти в свет блокчейны, выполняющие сотни тысяч операций в секунду, со временем

транзакции секунда и менее, с нулевой или околонулевой комиссией. А это уже заявка на изменение в целом того, как мы взаимодействуем с Web.

Благодаря технологиям распределённого реестра стали возможны не только игры на блокчейне. Со временем криптовалюты и NFT (non-fungible tokens) тесно сольются с технологиями AR (augmented reality) и VR (virtual reality). Их практические применения выйдут далеко за пределы игровой индустрии, изменив то, как мы посещаем художественные выставки, делаем покупки, выбираем отели для отдыха, обслуживаем личные автомобили и другую технику.

Литература:

1. <https://plusworld.ru/professionals/blokchejn-igry-v-sereznuyu-epohu/>
2. <https://habr.com/ru/post/658305/>
3. <https://www.techinsider.ru/technologies/1527703-kak-web-30-perevernet-internet-i-otpravil-nas-v-metavselennye/>
4. <https://bits.media/pr/osnovatel-onewayblock-uspeshnaya-igra-na-blokcheyne-sinergiya-geympleya-metavselennoy-i-monetizatsii/>
5. <https://docs.google.com/document/d/1ZRpLIB1tR8JUXCwMuEOG7Ybo3JdgUDSLnEzga6br87w/edit>
6. Изображение 1 <https://www.cointribune.com>
7. Изображение 2 <https://techcrunch.com>
8. Изображение 3 <https://assets-prd.ignimgs.com>
9. Изображение 4 <https://coinquora.com>

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Гибкость использования разных видов топлива в газотурбинных энергетических установках в составе судовых энергетических установок

Белов Марк Александрович, студент

Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова в г. Северодвинске (Архангельская обл.)

В настоящей статье представлена краткая характеристика гибкости использования различных видов топлива в газотурбинных энергетических установках в составе судовых энергетических установок. Автор рассмотрел такие альтернативы как сжиженный природный газ, сжиженный нефтяной газ, этан и водород, указав на конструктивно-экономические возможности их применения в газотурбинных энергетических установках.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, газовая турбина, газотурбинная энергетическая установка, сжиженный природный газ, судостроение.

С постоянным ужесточением норм содержания серы в топливе и общественно-политическим давлением для сокращения выбросов других загрязняющих веществ сжиженный природный газ [СПГ] приобретает все больший интерес для применения в судовых энергетических установках. Стоит отметить, что долгое время используемый в качестве топлива для наземных газовых турбин, СПГ обеспечивает низкий уровень выбросов и является лучшим топливом для газовых турбин с точки зрения производительности и долговечности. Однако, в настоящее время многие исследователи рассматривают фактор использования и других видов топлива для работы в газотурбинных энергетических установках, как, например, сжиженный нефтяной газ [СНГ], этан, и даже водород, в связи с чем актуальным будет рассмотрение возможности применения разных видов топлива для работы в газотурбинных энергетических установках [4].

Начиная рассмотрение СПГ, как топливного компонента в газотурбинных энергетических установках, необходимо подчеркнуть, что, несмотря на то, что СПГ является самым простым топливом для газовой турбины, его производство требует очень жесткого контроля за газовым сырьем, поскольку некоторые компоненты топлива, которые обычно присутствуют в природном газе трубопроводного качества, такие как угарный газ и углекислый газ, удаляются перед процессом сжижения. Еще стоит обратить внимание, что содержание метана для СПГ намного выше, поскольку после сжижения природного газа во время его хранения и транспортировки наблюдаются выбросы паров метана — отпарный газ. В связи с этим в начале транспортировки СПГ в содержании отпарных газов будет регистрироваться избыток азота, а в конце транспортировки из-за химических процессов в СПГ будет наблюдаться повышенное

содержание этана и пропана. Подобный фактор привел к необходимости предоставлять контроллерам дизельных двигателей информацию об изменении состава газа.

В целом, для газовых турбин это изменение во время рейса незначительно и не требуется специального измерительного оборудования или модифицированных алгоритмов управления. Стоит отметить, что также газовая турбина не имеет ограничений по работе при работе на СПГ — двигатель можно запустить и разогнать до полной нагрузки, а также отсутствуют требования к запальной дозе топлива. Подобные ключевые характеристики функционирования были продемонстрированы на более чем 3 тыс. авиационных газовых турбинах по всему миру, наработавших более 110 млн часов на природном газе [4]. Кроме того, переключение топлива с газа на жидкость и обратно выполняется автоматически, не требуя вмешательства оператора, а время полного переключения топлива составляет менее 30 секунд без потери мощности. Более того, имплементация в газотурбинных судовых установках сжиженного природного газа в качестве топлива позволяет значительно снизить выборы оксидов азота и углекислого газа, что говорит о хороших технико-экономических характеристиках использования [2].

Переходя к рассмотрению сжиженного нефтяного газа с пропаном в составе в качестве альтернатив топлива для газотурбинных энергетических установок, можно сказать, что, сравнивая СПГ с пропаном, необходимо учитывать следующие ключевые факторы [3], [4]:

1. Рекомендуется поддерживать температуру топлива подаваемого пропана на уровне $\sim 149^{\circ}\text{C}$, что помогает уменьшить модифицированное число Воббе и удерживает пропан в одной фазе. За счет его уменьшения рабочий диапазон газовой тур-

бины увеличивается без внесения серьезных конструктивных изменений. Например, для газовых турбин семейства LM2500 были внесены незначительные изменения в площадь наконечника топливного сопла, чтобы обеспечить запуск и работу на полной мощности на пропане при этой температуре. Помимо этого, следует избегать двухфазного потока или фазового перехода в топливной системе газовой турбины. Также, товарный пропан содержит некоторое количество других углеводородов и более тяжелых молекул, и эти компоненты влияют на точку росы смеси газа. Температура выше, чем требуется для СПГ, необходима, чтобы избежать впрыскивания жидкостей в камеру сгорания;

2. Сжигание пропана будет иметь значительно более высокую температуру пламени по сравнению с сжиганием природного газа. Более высокие температуры пламени камеры сгорания будут генерировать более высокие уровни NOx [оксиды азота]. Пропан генерирует почти на 60% больше NOx по сравнению с СПГ — это аналогично уровням NOx, полученным при использовании очищенного дизельного топлива;

3. Наконец, удельный вес этого топлива больше 1 — этот газ тяжелее воздуха, вследствие чего особое внимание должно быть уделено всем системам безопасности. Так, внутри кожуха газовой турбины должны быть выбраны и установлены пожарные извещатели с фактором регистрации пропана. Кроме того, конструкция вентиляции корпуса газовой турбины потребует обновления. При должном внимании к деталям судовые газовые турбины могут работать на пропане товарного качества, определяемом как пропан HD5 — высокопроизводительный пропан.

Рассматривая этан для возможности использования при работе в газотурбинных энергетических установках в составе судовых энергетических установках, стоит сказать, что пока что в этой области ведутся исследования, однако уже имеющиеся теоретико-практические выкладки указали на схожесть пропана и этана в качестве топлива для газовых турбин. Исследования ведутся и в области имплементации водорода как топливного источника. В целом, внедрение чистого водорода, как топлива для газовой турбины, пока нашло применения. Другими областями применения, которые содержат высокие концентрации водорода, являются коксовый газ, смеси доменного газа и другие промышленные отходящие газы. Здесь содержание водорода является результатом другого процесса, например, работы коксовой печи, сжигающей битуминозный уголь для производства стали [4]. Поток выхлопных газов коксовой печи имеет низкое общее модифицированное число

Воббе ~30 из-за присутствия около 20% объемных инертных газов. Водород составляет самый большой компонент с ~ 65%. Также немаловажно, что сжигание любой значительной концентрации водорода в газовой турбине сопряжено с рядом серьезных конструктивных проблем [2]. Удельный вес водорода [относительно воздуха] составляет 0,0696, что составляет около 7% плотности воздуха [1]. Молекулы водорода меньше, чем у всех других газов, и они могут диффундировать через многие материалы, считающиеся воздухонепроницаемыми, что делает конструкцию трубопровода перекачки топлива для водорода сложной задачей. Помимо этого, газообразный водород образует с воздухом взрывоопасные смеси в концентрациях от 4% до 74%. Также температура самовоспламенения водорода на воздухе 500°C, что усложняет стратегии запуска и резервного топлива при использовании водорода. В связи с этим, конструктивные изменения, необходимые для использования водородной смеси в газотурбинных энергетических установках, включают следующее:

1. Запуск и работа на малой мощности на альтернативных видах топлива;
2. Чистый инертный газ [обычно азот] для продувки трубопровода;
3. Наличие в конструкции системы обнаружения возгорания корпуса газовой турбины, оптимизированной для обнаружения утечек водорода;

Однако, стоит отметить, что по сравнению с пропаном и этаном водород будет иметь более высокие выбросы NOx, но даже несмотря на эти проблемы, судовые газовые турбины позволяют рабочее использование до 85% водорода, что может стать новым витком для их развития.

Таким образом, можно сделать вывод, что турбины используются не только в судовых установках, но и в наземных электростанциях, приводах газовых компрессоров и морских нефтегазовых процессах. Несмотря на то, что более 45 лет в их функционировании используется природный газ в качестве топлива, сжиженный природный газ, пропан, этан и некоторые водородные смеси топлива могут также быть внедрены в успешное технико-экономическое функционирование. Поскольку морская промышленность ищет альтернативные решения для снижения уровня загрязняющих веществ, доказано, что судовые газовые турбины, работающие на этих видах топлива, предоставляют судостроителям и судовладельцам возможность соответствовать текущим и будущим нормам как охраны окружающей среды, так и повышая общую эффективность функционирования.

Литература:

1. Водород на транспорте. Информационный обзор [Электронный ресурс]. URL: https://gazpronin.ru/H2_20171002-part2.pdf (дата обращения: 24.06.2022).
2. Злобин В. Г., Верхоланцев А. А. Газотурбинные установка. Часть 1. Тепловые схемы. Термодинамические циклы: учебное пособие / В. Г. Злобин. ВШТЭ СПбГУПТД. — СПб, 2020. — 114 с.
3. Сахин В. В. Устройство и действие энергетических установок. Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие / В. В. Сахин. Балт. Гос. техн. ун-т. — СПб, 2015. — 133 с.
4. Fuel Flexibility with GE Marine Gas Turbine [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geaviation.com/sites/default/files/GE-marine-gas-turbine-fuel-flexibility.pdf> (дата обращения: 24.06.2022).

Газотурбинные энергетические установки

Белов Марк Александрович, студент

Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова в г. Северодвинске (Архангельская обл.)

В настоящей статье представлена краткая характеристика функционирования газотурбинных энергетических установок в составе судовых энергетических установок. Автор рассмотрел базовую конфигурацию газотурбинных энергетических установок, а также изучил методы повышения производительности функционирования газовых турбин в установках.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, газовая турбина, газотурбинная энергетическая установка, морское судно, судостроение.

Газотурбинные двигатели в составе судовых энергетических установок предлагают широкий диапазон мощности при относительно небольших размерах и используются в различных целях выработки электроэнергии. Стоит отметить, что важной характеристикой газовых турбин, которая делает их более безопасными для окружающей среды по сравнению с дизельными двигателями конкурентов и одной из причин, по которой они имеют лучшее соотношение мощности и веса, является то, что сгорание в газовых турбинах является непрерывным при средних температурах и давлениях ниже, чем пиковые уровни в дизельных двигателях, которые способствуют выбросу NOx [оксиды азота] и, следовательно, требуют более прочных конструктивных решений [2].

Газовые турбины, как основополагающий компонент судовых энергетических установок, могут работать на широком диапазоне видов топлива, включая природный газ, который обеспечивает более чистое сгорание. Причина этого заключается в том, что двигатели с непрерывным потоком развивают устойчивую аэродинамику и кинетику пламени, уменьшая тем самым ограничения, налагаемые на свойства топлива для сгорания, такие как ограничения по октановому числу или цетановому индексу. Более того, фундаментальной характеристикой непрерывного горения в газотурбинном двигателе является то, что время пребывания при высоких температурах пламени [ключевая причина образования NOx] можно контролировать. Помимо этого, баланс между образованием дыма и образованием NOx также может быть легко обеспечен.

Стоит подчеркнуть, что поскольку газовые турбины обладают широкой эксплуатационной гибкостью и удовлетворяют значительную часть общего мирового спроса на энергию, улучшение их экономических и экологических характеристик вызывает серьезную озабоченность у правительств, особенно учитывая увеличение экологических проблем по всему миру. Газовые турбины недавно начали использоваться для обеспечения базовой мощности, которая долгое время использовалась коммунальными предприятиями только для пиковой мощности. По некоторым прогнозам, газовые турбины могут обеспечивать более 80% всех новых генерирующих мощностей во многих странах в ближайшие десятилетия. В дополнение к достижениям в области производства коммунальной электроэнергии, применение газовых турбин на морских судах значительно расширилось от только военно-морских судов в 1970-х годах до широкого спектра коммерческих и новых военно-морских конфигураций.

Исторически сложилось так, что единственными недостатками газотурбинных двигателей были высокий расход топлива, более низкий коэффициент полезного действия и невозможность сжигания тяжелого топлива. Благодаря достижениям в области разработок газовых турбин энергетических установок и конструкции его двигателя эти недостатки были преодолены. Интересно отметить, что даже при сжигании дизельного топлива модульная газотурбинная установка обеспечивает существенное увеличение прибыли. Помимо этого, они обеспечивают высокий уровень гибкости в отношении конструкции судна и ограничений жизненного цикла. В целом, характеристиками, которые сделали газовые турбины привлекательными для применения в судовых энергетических установках, являются малый вес и объем, высокая надежность, высокая скорость, сниженное число экипажа на борту [для обслуживания двигателя], простота обслуживания и ремонта из-за его модульных частей, низкие затраты на техническое обслуживание и низкий уровень выбросов, которые могут навредить экологии [2].

Обращаясь к конфигурационным и техническим характеристикам, можно сказать, что газовые турбины в составе судовых энергетических установок производятся в виде модулей с определенными размерами и выходными характеристиками, а дизельные двигатели могут быть спроектированы в соответствии с индивидуальными требованиями. Во избежание технических и экономических проблем размер и производительность конкретной газовой турбины всегда следует учитывать на этапе проектирования проекта морского судна. Как правило, газовые турбины для работы на судах создаются на основе легких авиационных двигателей, а не тяжелых и громоздких промышленных двигателей. Таким образом, они выигрывают от интенсивных и дорогостоящих исследований и разработок авиационных газовых турбин [1].

Газотурбинную энергетическую установку приводит в действие компрессор, подающий воздух для сгорания и охлаждения. В любой установке около половины энергии, вырабатываемой турбиной, потребляется компрессором и электрическими потребностями вспомогательного оборудования. Интересно отметить, что в газовых турбинах, используемых в реактивных двигателях самолетов, энергия, оставшаяся в потоке горячего газа, высвобождается с высокой скоростью, чтобы привести самолет в движение силой реакции. С другой стороны, в установках с мощностью на валу для привода вала необходимо использовать свободную силовую турбину, которая поглощает избыточную энергию, оставшуюся в горячем потоке выхлопных газов. Не-

которые авиационные двигатели с турбовинтовой технологией уже оснащены силовыми турбинами и готовы к использованию на морских судах. В судовых газовых турбинах с приводом от вала первичный двигатель — оригинальная часть авиационной газовой турбины — называется газификатором или газогенераторной турбиной. В пусковом цикле должен работать только газификатор, что снижает потребность в пусковой мощности.

Для судовых энергетических установок важен концепт производительности, в связи с чем в настоящее время существует множество методов повышения производительности газовых турбин. Методы подобной конъюнктуры направлены на повышение полезной выходной тепловой эффективности при частичной нагрузке, а некоторые из них помогают сократить выбросы загрязняющих веществ, что благоприятно воздействует на окружающую среду. Наиболее распространенные методы повышения производительности функционирования газовых турбин в составе судовых энергетических установок представлены ниже, что представляет из себя ту или иную конструктивную модификацию [3]:

1. Простой цикл — это основной рабочий цикл газовой турбины, состоящий из камеры сгорания между одним компрессором и газовой турбиной;

2. Цикл промежуточного охлаждения — рекуператор или регенератор добавляется в конструкции после компрессора низкого давления перед камерой сгорания в цикл для рекуперации тепла выхлопных газов и нагрева сжатого воздуха;

3. Цикл повторного нагрева — дополнительная камера сгорания размещается между турбинами высокого и низкого давления для увеличения работы теплового расширения;

4. Цикл промежуточного подогрева — включает в своей конструкции промежуточный охладитель между компрессорами и камеру сгорания промежуточного нагрева между силовыми турбинами;

5. Цикл впрыска пара — пар впрыскивается в камеру сгорания, что повышает производительность и снижает выбросы NOx;

6. Комбинированный цикл — включает в себя функционирование рабочего цикла нижней паровой турбины, в котором используются горячие выхлопные газы газовой турбины в добавлении к газовой турбине простого цикла. Отработанное тепло уменьшает количество топлива для производства пара, приводящего в действие паровую турбину.

Таким образом, можно сделать вывод, что газотурбинные двигатели в составе судовых энергетических установок предлагают широкий диапазон мощностей при относительно небольших размерах и используются в различных целях производства электроэнергии, включая морские суда, предлагая чистую технологию для энергопитания морских судов. Более того, благодаря увеличению числа научных исследований в этом сегменте и ужесточению норм выбросов для сохранения окружающей среды, они стали идеальными кандидатами для использования во многих конфигурациях морских судов в качестве основного источника энергии.

Литература:

1. Злобин В. Г., Верхованцев А. А. Газотурбинные установка. Часть 1. Тепловые схемы. Термодинамические циклы: учебное пособие / В. Г. Злобин. ВШТЭ СПбГУПТД. — СПб, 2020. — 114 с.
2. Сахин В. В. Устройство и действие энергетических установок. Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие / В. В. Сахин. Балт. Гос. техн. ун-т. — СПб, 2015. — 133 с.
3. Kayadelen HK, Ust Y. 2015. Marine Gas Turbines. 7th International Advanced Technologies Symposium IATS34–38.

Impact of the pandemic and development prospects to the sphere of the modern telecommunications market

Dedov Aleksey Sergeevich, student;
Kosheva Alina Vladimirovna, student;
Tatarkin Ilya Andreevich, student;
Sukhoterin Vladislav Alekseevich, student
Voronezh State Technical University

The article examines the impact of the pandemic and the prospects for development on the sphere of the modern telecommunications market.

Keywords: telecom, telecommunications, telecommunications market, direction of development.

The Russian telecommunications market is a large and dynamically developing industry formed by three leading operators. Due to the small number of sellers and the monotonous type of services they offer, the market is characterized by a monopolistic structure. This means that the actions of each of the agents have a significant

impact on the equilibrium indicators of the market in general through variations in supply volumes.

The telecommunications market occupies a special place in the modern market economy, since in the second half of the XX century information became an integral element of production, and there was

a need to create social institutions that ensure the creation, accumulation, processing and transmission of information». The possession and use of reliable and timely information provides its holders with economic, social and political advantages and benefits. The transition from a centralized economy to a market economy in our country has led to an intensive growth of the telecommunications market. Modern Russian companies have an ever-increasing demand for information and communication services. To date, since there are disproportions between supply and demand in various service sectors, the telecommunications market is not sufficiently developed, although the number of firms developing this sphere is increasing. There is an interest in the Russian market from the largest foreign telecommunications companies. It is obvious that the telecommunications market has great prospects of development in our country [1–2].

The level of development of telecommunication systems is one of the fundamental conditions that give great opportunities for the development of modern business, which has long crossed national borders. Today, the globalization and integration of telecommunications companies can be attributed to the leading trends in changes in the structure of this market around the world [3–4].

During the COVID-19 pandemic, the telecommunications sector, like most other sectors of the economy, was negatively affected by its consequences in all foreign countries. Citizens and organizations had to rely on telecom operators, as most of the employees were transferred to remote work, students — to distance learning, and the sale of goods on the Internet increased exponentially [5].

According to experts, the following main global trends in the development of the telecom industry are observed today:

1. bringing telecom closer to content: videos and games;
2. shifting growth in related directions: information security, data center and IoT;

3. work with new industries for telecom: fintech, smart home, digital medicine and education;

4. development of new directions around the needs of the client: home, mobility, security, work, communication.

The COVID-19 pandemic and the prospects of repeated outbreaks of viral infections in the future form a public demand for a change in the existing way of life, the prevailing social and economic processes, and approaches to doing business.

At the heart of these changes is the need for a rapid and massive transition of people to communicate online and offline remote work. Such changes can contribute to strengthening the role of digital and IT sector companies in the economy, will give impetus to the development of technologies and communication networks, data processing and storage infrastructure, which are able to absorb the avalanche-like growth in traffic consumption, ensure sufficient network bandwidth, network connectivity stability, and most importantly — provide a wide range of demand-digital services to the population, business and the state.

According to the reports of the world’s leading telecommunications companies, the negative financial effect directly related to the COVID-19 panda, on average, amounted to 4–8% of revenue. The most affected segment of the operators’ business was the roaming business due to a reduction in the number of trips by customers. At the same time, forced remote work, combined with increased demand for home entertainment in conditions of self-isolation, led to a steady increase in data traffic, mainly via fiber, as well as mobile communications [6].

In the structure of the Russian telecommunications market, the largest share of about 57% is occupied by mobile communication services [7], according to the Ministry of Finance of Russia (Figure 1).

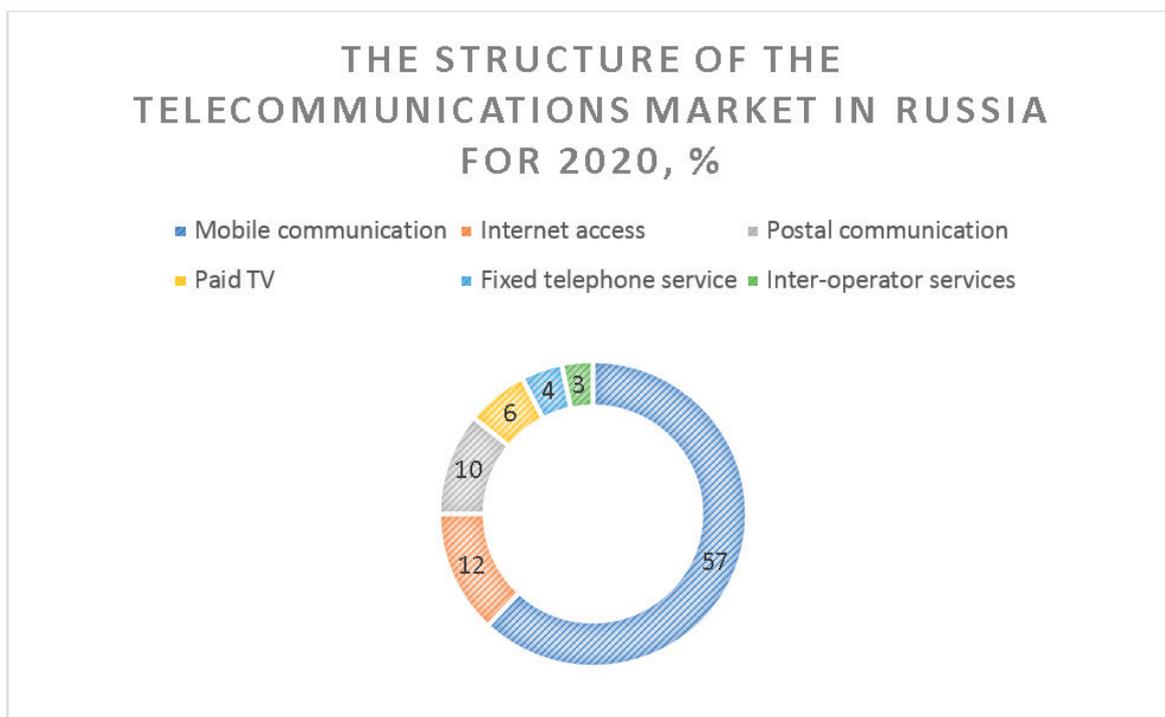


Fig. 1. Structure of the telecommunications market in Russia

References:

1. Lokotkov Anatoly Alekseevich Telecommunications market: current state and development prospects // Socio-economic phenomena and processes. 2011. No.1–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-telekommunikatsiy-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya> (accessed: 05/31/2022).
2. Merkulova Svetlana Aleksandrovna Features of the development of the telecommunications services market in the CIS region // Bulletin of the RUDN. Family: Economics. 2010. No.3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-rynka-telekommunikatsionnyh-uslug-v-regione-sng> (date of address: 31.05.2022).
3. Nanushyan Shushik Spiridonovna The place and role of telecommunications companies of the Russian Federation in the world economy // Bulletin of GUU. 2015. No. 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mesto-i-rol-telekommunikatsionnyh-kompaniy-rf-v-mirovoy-ekonomike> (accessed: 05/31/2022).
4. Sinitsa Sergey Aleksandrovich Trends in the development of the market of telecommunication services // VEPS. 2018. No.2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-rynka-telekommunikatsionnyh-uslug> (accessed: 31.05.2022).
5. Ma Min FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE MODERN TELECOMMUNICATIONS MARKET // Greater Eurasia: development, security, cooperation. 2020. No.3–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-sovremennogo-telekommunikatsionnogo-rynka> (accessed: 05/31/2022).
6. Proskura D. V., Proskura N. V. Social orientation of communication services // Vestnik NGIEI.-2013.-№ 7(26).— Pp.102–111.
7. Van A. L., Tretyakov M. M. The current state of the market of tele-communication services in the Russian Federation (on the example of the segment cellular communications) // electronic scientific publication «Scientific notes of TOGU».— 2015.— Vol. 6.— No. 4.— pp. 154–157.

Общие сведения о кадастровых работах и их экономическое обоснование

Куценко Мария Михайловна, студент магистратуры
Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону)

В связи со спецификой размещения линейных объектов в системе территориального планирования, процесс подготовки кадастровой документации является первостепенным для признания его в качестве объекта права, и представляет собой достаточно сложный процесс, включающий в том числе подготовку кадастровой документации, и далее внесение корректировок в документы территориального планирования.

Ключевые слова: земельный кодекс, регистрация объектов недвижимости, линейный объект, технический план, кадастровые работы, межевой план.

Кадастровые работы представляют собой деятельность, которая непосредственно направлена на недвижимое имущество и заключается в подготовке документов, необходимых для проведения государственного кадастрового учета недвижимости, и оказании определенного перечня услуг. Проведение кадастровых работ может осуществляться на любое недвижимое имущество.

Основные виды кадастровых работ регламентированы Федеральным законом от 24 июля 2007 г. № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности» [1] и Федеральным законом от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» [2]:

— работы на участках — межевание, определение и согласование границ, вынос межевых знаков на местности;

— работы на объектах капитального строительства, определение характеристик вновь возведенного строения и помещений, обмеры и обследования после завершения перепланировки квартир или других объектов, реконструкции, переустройства;

— работы на объекте, утратившем физическое существование — для подтверждения этого факта выдается акт обследования;

— комплексные кадастровые работы — на группы объектов. По итогам проведения различных кадастровых работ подготавливается соответствующая документация.

Целью кадастровых работ является описание собственности как правового объекта. Так как они помогают собрать информацию, сформировать отчеты и подготовить итоговые документы, что необходимо для дальнейшего внесения данных в ЕГРН.

Кадастровые работы выполняются специалистом, который является членом саморегулируемой организации — кадастровым инженером, на основании заключения договора подряда на выполнение кадастровых работ, в соответствии со всеми требованиями законодательства. И так как он является аттестованным специалистом, несет ответственность за точность, полноту и достоверность сведений о характеристиках недвижимого имущества [3].

По договору на выполнение кадастровых работ отдельные частные компании или юридические организации гарантируют выполнение кадастровых работ от имени заказчика и обязуются передать ему полностью подготовленные в результате

документы, в дальнейшем заказчик этих работ обязуется получить эти документы и произвести оплату за выполненные кадастровые работы. Следовательно, объем необходимых выполняемых кадастровых работ определяется заказчиком кадастровых работ [4].

Согласно Федеральному закону от 24.07.2007 № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности», статьи 36, пункт 4, стоимость необходимых выполняемых кадастровых работ определяется путем составления сметы, сторонами договора подряда на выполнение кадастровых работ.

Смета приобретает силу и становится частью договора подряда на выполнение кадастровых работ с момента подтверждения ее заказчиком кадастровых работ. Договором подряда на выполнение кадастровых работ может быть предусмотрено обязательство заказчика уплатить обусловленную договором подряда на выполнение кадастровых работ цену в полном объеме после осуществления государственного кадастрового учета и (или) государственной регистрации прав на объекты недвижимости, в отношении которых выполнялись кадастровые работы в соответствии с таким договором подряда.

Технические планы составляются для зданий, сооружений, помещений и других типов строений. Документ содержит графические схемы, а также текстовые описания объектов и его характеристик. Состоит из текстовой и графической частей, которые делятся на разделы, обязательные для включения в состав технического плана, и разделы, включение которых в состав технического плана зависит от видов кадастровых работ. Услуги кадастрового инженера при подготовке технического плана включают определенные мероприятия, такие как:

- получение и анализ исходных документов на определенный объект — это могут быть договоры, выписки ЕГРН, свидетельства о праве, техпаспорта БТИ, и иные виды документов;

- запрос и анализ исходных сведений ЕГРН на существующий объект;
- работы с выездом на место — визуальный осмотр, обследование, обмеры, съемки, расчеты, иные виды измерений;
- подготовка текстового описания полученных характеристик;
- подготовка графической части плана — схем, поэтажных планов с отображением всех помещений.

Стоимость кадастровых работ для оформления технического плана формируется от типа объекта (помещение, строение), его площади, этажности, и множества других факторов.

В настоящее время специального сборника цен на кадастровые работы не существует. Фактически по взаимному согласию исполнителя и заказчиков используются следующие наборы ценовых, методологических и временных норм:

1. Сборник цен и общественно необходимых затрат труда (ОНЗТ) на изготовление проектной и изыскательской продукции землеустройства, земельного кадастра и мониторинга земель.

2. Нормы времени на выполнение работ по государственному техническому учету и технической инвентаризации объектов градостроительной деятельности», утвержденные Приказом Госстроя России от 15.05.2002 № 79.

Для объекта исследования расчет стоимости выполняется на основании ОНЗТ-96, утвержденного Комитетом РФ по земельным ресурсам и землеустройству Приказом от 28.12.1995 г. № 70 с применением коэффициента-дефлятора на 2021 г. равен $K=14,678$.

Данный сборник необходим для установления нормативных расходов и определение стоимости работ при заключении договоров, на изготовление проектной документации. Сборник введен в действие с 1 января 1996 года.

Литература:

1. О кадастровой деятельности: федер. закон от 24.07.2007 г. № 221-ФЗ [принят Гос. Думой 4 июля 2007 года: одобр. Советом Федерации 11 июля 2007 года].
2. О государственной регистрации недвижимости: федер. закон от 13.07.2015 г. № 218-ФЗ [принят Гос. Думой 3 июля 2015 года: одобр. Советом Федерации 8 июля 2015 года].
3. Варламов, А. А. Кадастровая деятельность: учебник / А. А. Варламов, С. А. Гальченко — М.: [б. и.], 2016—280 с.
4. Тихонова, К. В. Предложения по оптимизации внесения сведений в ЕГРН с целью повышения эффективности муниципального земельного контроля / К. В. Тихонова, Жиренкин С. А., Симонова А. А. // Экономика и экология территориальных образований / Изд.: ДГТУ.— 2018. Т. 2 № 3(6) — С. 103–111.

Анализ современного состояния процесса по оспариванию кадастровой стоимости на территории России

Куценко Мария Михайловна, студент магистратуры
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

С каждым годом только возрастает интерес к кадастровой оценке, проводимой на территории страны еще в 2015 году, которая сформировала систему нового налогообложения на объекты недвижимости. Однако результаты такой оценки вызывают

споры по сей день, поэтому процесс оспаривания таких результатов является очень востребованным среди собственников недвижимости.

Ключевые слова: государственная кадастровая оценка, кадастровая стоимость, регистрация объектов недвижимости, рыночная стоимость, земельный кодекс.

На территории России существует Федеральный закон «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» от 29.07.1998 № 135-ФЗ [1], который повествует, что принадлежащая объекту недвижимости кадастровая стоимость должна стремиться к рыночной стоимости объекта недвижимости. В случаях, когда кадастровая стоимость не удовлетворяет собственника или является не объективной, то такие вопросы приводят к оспариванию такой кадастровой стоимости. Так, например, согласно данным Росреестра в период с 01.01.2015 года по 30.04.2021 год было рассмотрено 396260 заявления по оспариванию результатов кадастровой оценки, из которых 107367 заявлений о пересмотре кадастровой стоимости в судебном порядке и 288896 в комиссии [2].

Согласно статистическим данным количество обращений имеет неравномерный характер, и за последние несколько лет спрос на оспаривание кадастровой стоимости, в целях получения адекватных результатов кадастровой оценки, которые бы отвечали всем ценообразующим факторам, уменьшился (см. рисунок 1), это можно обусловить тем, что после проведения в 2015 году государственной кадастровой оценки были разработаны новые нормативные акты, которые позволяют учитывать большее количество факторов при проведении оценки объектов недвижимости, а тем самым отражать более реальную стоимость объектов недвижимости, которая будет иметь максимально близкие значения стоимости к рыночной стоимости такого объекта. Таким образом, применяя новые методики оценки объектов недвижимости, количество вопросов, связанных с объективностью результатов оценки значительно уменьшается.

Важно обратить внимание на то, что требования истцов, обратившихся в суд, были удовлетворены в 47% случаев из всех принятых заявлений на рассмотрение по состоянию за прошедший 2020 год (см. рисунок 2).

В 2015 году была осуществлена государственная кадастровая оценка (далее ГКО) земель, что привело к формированию новой налоговой базы, согласно Налоговому Кодексу РФ [3]. Поскольку проведение данной процедуры имела массовый характер, то это привело к тому, что многие оцениваемые объекты были переоценены. Это произошло, потому что массовая оценка происходила по усредненным данным и не учитывала особенности отдельно взятого объекта недвижимости.

Государственная кадастровая оценка земель подразумевает под собой объединение определенных мероприятий таких как правовые, административные, так и технические, которые направлены, в свою очередь, на установление кадастровой стоимости данных земельных участков на конкретную дату, с целью введения налогообложения в стране.

Данная процедура проводится не чаще, чем раз в три года, а в компетенцию исполнительного органа государственной власти входит принятия решения о проведении процедуры.

Утверждение результатов определения кадастровой стоимости происходит следующим образом: после предоставления отчета заказчику в течение 20 рабочих дней рассматривается информация, содержащаяся в отчете, по истечению 20 дней информацию утверждают. После утверждения результатов кадастровой оценки в течении 10 рабочих дней вносят новую информацию в Единый Государственный Реестр Недвижимости (далее ЕГРН).

Существует несколько принципов, которым следует ГКО, к таким принципам относят:

- единая методология определения кадастровой стоимости;
- постоянная актуализация сведений, которые могут применяться для нахождения кадастровой стоимости;
- гласность и независимость процедур ГКО на каждом этапе их осуществления;

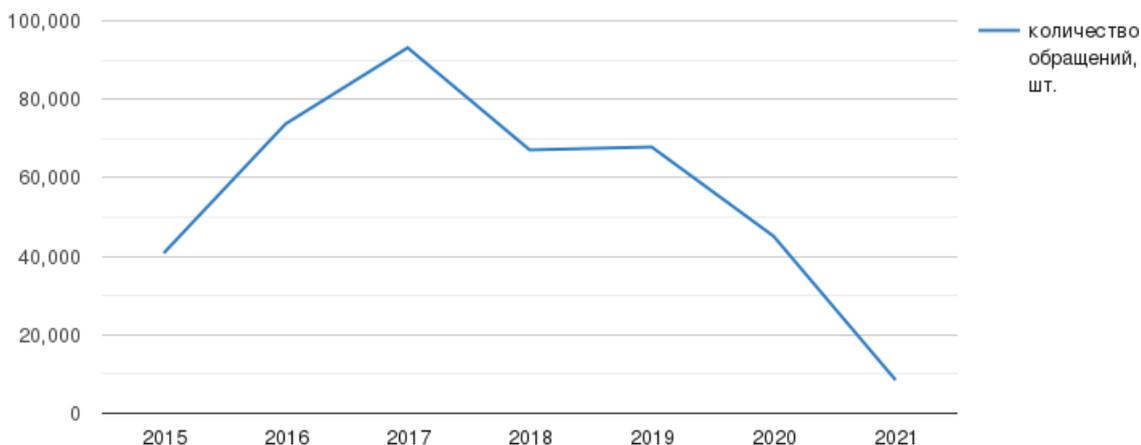


Рис. 1. Сведения о поступлении заявлений об оспаривании кадастровой оценки в судебном и внесудебном порядке

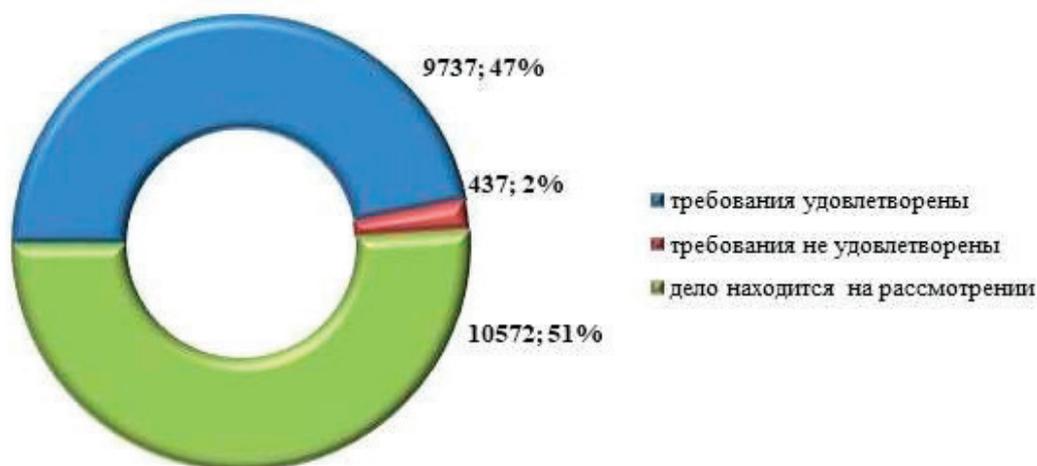


Рис. 2. Результаты рассмотрения исков в судебном порядке за 2020 год

— проверяемость итогов определения кадастровой стоимости и экономическая обоснованность.

В настоящее время законодательство меняется, вносятся корректировки, которые будут повышать уровень использования методик оценки, что позволит получать более объек-

тивную кадастровую стоимость объектов, но на данный момент кадастровая стоимость объектов недвижимости, а особенно земельных участков вызывает споры, как со стороны собственников и предпринимателей, так и со стороны самого государства.

Литература:

1. Об оценочной деятельности в Российской Федерации: федер. закон от 29.07.1998 г. № 135-ФЗ [принят Гос. Думой 16 июля 1998 года: одобр. Советом Федерации 17 июля 1998 года] (ред. 02.07.2021 г.).
2. Официальный сайт Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии — Росреестра: URL: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennyu-zemelnyu-kontrolnadzor/> (дата обращения 10.04.2022).
3. Налоговый кодекс Российской Федерации: федер. закон от 31.07.1998 г. № 146-ФЗ [принят Гос. Думой 16 июля 1998 года: одобр. Советом Федерации 17 июля 1998 года] (ред. 26.03.2022 г.).

Сжиженный природный газ как одна из альтернатив в качестве топлива для судовых энергетических установок

Мизгирев Егор Леонидович, студент

Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова в г. Северодвинске (Архангельская обл.)

В настоящей статье представлена краткая характеристика сжиженного природного газа как одной из альтернатив в качестве топлива для судовых энергетических установок. Автор также продемонстрировал необходимые технические параметры для применения подобного типа топлива в судостроении.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, газовая турбина, газотурбинная энергетическая установка, сжиженный природный газ, судостроение.

Морские перевозки играют ключевую роль в международной цепочке поставок в период быстрого роста международной экономики, которая наблюдается с начала XXI века. Более 90% мировой торговли осуществляется международным судоходством, причем ежегодно по морю перевозится около 8 млрд тонн товаров международной торговли. Увеличение количества товаров, перевозимых судами, привело к увеличению и количества топлива, по-

требляемого сектором морского транспорта в последние десятилетия, с ожиданием сохранения этой тенденции в последующие годы. Ископаемое топливо в формах дизельного топлива и мазута считаются в основном судовым топливом. Однако в последние годы у топлива, использующегося в судовых энергетических установках, были выявлены две основные проблемы, первая из которых — постоянный рост цен на топливо [3].

Хотя цены за последние двадцать лет находились в колебательном паттерне повышения и снижения, они по-прежнему находятся на высоком уровне. Ожидания экономистов указывают на то, что цены будут продолжать расти, что, соответственно, привело к тому, что фактор стоимости топлива стал еще более значительным в общей стоимости эксплуатации корабля. Вторая проблема — выбросы судов, поскольку за последние десятилетия выбросы в атмосферу с судов стали предметом повышенного внимания во всем индустриальном мире. Хотя реальный уровень загрязнения морского воздуха не ясен, вклад судов в глобальные выбросы можно приблизительно обозначить в следующих пределах: оксиды азота [NOx] — 10–20%, углекислый газ [CO₂] — 2–4%, оксиды серы [SOx] — 4–8%. Чтобы минимизировать вышеприведенные проблемы, было проведено множество исследований, чтобы представить практические решения, и одним из таких решений является использование альтернативного топлива вместо ископаемого топлива. Основные альтернативные типы судового топлива можно найти в двух формах: жидкое топливо, включая этанол, метанол, биожидкое топливо и биодизель, и газообразные топлива, включая пропан, водород и природный газ. Несмотря на то, что все эти виды топлива более экологичны, чем ископаемое топливо, некоторые из них по-прежнему трудно широко применять на борту судов из-за низкого содержания энергии, например, метанол и этанол. Сравнение этих типов показывает, что и водород, и природный газ считаются лучшими альтернативами применению на борту судов, особенно с точки зрения решения экономических и экологических проблем [2].

Так, природный газ представляет собой газообразное ископаемое топливо, основным компонентом которого является метан. С точки зрения доступности за последние десять лет мировое производство природного газа показывает ежегодный рост на 3,2%, а мировое потребление составляет 3,05%, что указывает на то, что устойчивость природного газа выше, чем у традиционного жидкого топлива — дизельного топлива. Согласно нынешним ценам на топливо, цена природного газа в долларах США, который дает такую же энергию от сырой нефти, почти равна половине цены на сырую нефть — это означает, что использование природного газа в качестве источника топлива для транспортного сектора, в том числе морского, будет менее затратным, чем использование традиционного топлива из сырой нефти [1].

Природный газ, в целом, является чрезвычайно важным источником энергии для снижения загрязнения и поддержания чистой и здоровой окружающей среды. Основными продуктами сгорания природного газа являются углекислый газ и водяной пар. Сам по себе природный газ можно найти на борту судов в трех формах: газ, жидкость [сжиженный природный газ, СПГ] и сжатый природный газ. В судоходной отрасли СПГ десятилетиями известен как товар, перевозимый большими танкерами по всему миру. Недавно ряд компаний впервые применили СПГ в качестве топлива, особенно для судов, выполняющих регулярные каботажные перевозки. Так, считается, что через 5–10 лет большинство судов, привлекаемых для каботажных перевозок, будут использовать СПГ в качестве судового мазута [1].

Говоря о функциональных и конструктивных характеристиках морских судов с СПГ в качестве топлива для судовых энергетических установок, можно сказать, что СПГ хранится в качестве топлива на борту судов в цилиндрическом криогенном резервуаре, изготовленном из специального армированного пластика с пределом прочности на растяжение 1029 МПа. Стенки резервуара изготовлены таким образом, что он может выдерживать давление от 0,3 до 10 бар, храниться СПГ при температуре -162°C , а плотность составляет $0,450 \text{ т/м}^3$ при 1 бар. Резервуары для хранения всегда имеют двойные стенки с чрезвычайно эффективной изоляцией между ними. Изоляция, какой бы эффективной она ни была, сама по себе не удержит температуру СПГ на низком уровне, вследствие чего СПГ хранится как «кипящий криоген», то есть это очень холодная жидкость при температуре кипения для того давления, при котором он хранится [3].

Для бункеровки и трубопроводов судов, работающих на СПГ, как правило, газопроводы не должны проходить через жилые помещения, служебные помещения или помещения управления. Любая газовая труба, проходящая через закрытое пространство на корабле за пределами машинного отделения, должна быть расположена внутри двойной трубы или воздухопровода с механической вентиляцией под давлением, обеспечивающей 30 воздухообменов в час, и системами обнаружением газа. Размер воздухопровода должен выдерживать давление, возникающее при разрыве трубы. Для трубопровода низкого давления (макс. 10 бар) размер воздухопровода должен быть рассчитан на расчетное давление не меньше, чем у газовой трубы. Также при использовании сжиженного природного газа в качестве топлива для судовых энергетических установок, необходимо обеспечить соответствующий уровень безопасности. Так, основная проблема безопасности при подаче газа на судно будет заключаться в ограничении и контроле мест, где он может присутствовать, принимая во внимание, что воспламенение не может произойти, если природный газ не смешан в соотношении от 5,3% до 14% с воздухом [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что природный газ, как топливо, хорошо зарекомендовал себя в секторе городского транспорта и электроэнергетики, и данная технология может быть передана в эксплуатацию в отрасль судоходства благодаря наличию перспективных двигателей, систем и технической помощи. Быстрый рост спроса на природный газ как на мировой источник энергии заставляет всех, кто интересуется источниками энергии, экономикой и загрязнением окружающей среды, продвигать эту новую технологию вперед, чтобы увеличить возможность ее использования во всех судовых энергетических установках в более безопасной форме, особенно в области судоходства. Соображения безопасности при использовании природного газа в качестве основного топлива на борту судов считаются одним из факторов, влияющих на переход с дизельного топлива на природный газ. Поскольку природный газ считался более чистым топливом с более высоким содержанием энергии, это сделало его более подходящим для всех судовых энергетических установок, таких как дизельные двигатели, паровые турбины и газовые турбины.

В тех случаях, когда газовая турбина на судне в качестве функционала энергетической установки наносит наименьший

вред окружающей среде среди традиционных морских электростанций, основным преимуществом использования природного газа в качестве топлива для судовой газовой турбины является экономическая выгода за счет использования более дешевого топлива, чем флотский мазут. Но до сих пор исполь-

зование судовых газовых турбин, работающих на природном газе, ограничено такими типами судов, как перевозчики сжиженного природного газа, использующие систему отпарных газов, а также высокоскоростные пассажирские суда, работающие на коротких дистанциях маршрутов плавания.

Литература:

1. Brun K, Kurz R. 2020. Myth: Gas turbines do not belong on commercial ships [Электронный ресурс]. URL: <https://www.camfil.com/en/insights/energy-and-power-systems/mythbuster-gas-turbines-in-ships> (дата обращения: 24.06.2022).
2. Elgohary MM, Seddiek IS. 2012. Comparison between Natural Gas and Diesel Fuel Oil Onboard Gas Turbine Powered Ships. JKAU Marine Science 23(2):109–127.
3. Elgohary MM. 2013. Overview of past, present and future marine power plants. Journal of Marine Science and Application 12(2): 219–227.

Водород как топливная альтернатива для использования в газотурбинных энергетических установках

Мизгирев Егор Леонидович, студент

Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова в г. Северодвинске (Архангельская обл.)

В настоящей статье представлена краткая характеристика водорода как топливной альтернативы для использования в газотурбинных энергетических установках, что включает в себя общее описание водорода как топлива, а также необходимые конструктивные характеристики для его применения в качестве топливной структуры в газотурбинных энергетических установках.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, газовая турбина, газотурбинная энергетическая установка, водород, судостроение.

В апреле 2018 года Международная морская организация [рус. ИМО] поставила амбициозные цели в резолюции МЕРС.304(72) Комитета по защите морской среды [англ. МЕРС] по обезуглероживанию мирового флота. Стратегия ИМО включает первоначальные цели по сокращению средних выбросов углекислого газа [CO₂] на одну транспортировку по сравнению с уровнями 2008 года как минимум на 40% к 2030 году и на 70% к 2050 году. Эти цели также направлены на сокращение общего годового количества выбросов парниковых газов от судоходства по крайней мере на 50% к 2050 году, вследствие чего многие технологические инновации рассматриваются для сокращения выбросов углерода от судоходства, одной из которых является использование водорода в качестве топлива в судовых энергетических установках. Именно водород был определен как топливо с низким или нулевым содержанием углерода, которое может помочь достичь цели ИМО по сокращению выбросов парниковых газов к 2050 году, так как он предлагает судовладельцам и операторам вариант топлива с низким содержанием углерода и низким уровнем выбросов для потенциального использования в двигателях внутреннего сгорания и топливных элементах [2].

Водород характеризуется самым высоким содержанием энергии на массу среди всех видов химического топлива и составляет 120,2 МДж/кг по сравнению с другими видами судового топлива [метан — 48 МДж/кг, этан — 47,8 МДж/кг, метанол — 19,9 МДж/кг, флотский мазут — 42,7 МДж/кг]. По

массовой энергии он превосходит флотский мазут [в настоящее время основной вид топлива в газотурбинных энергетических установках] в 2,8 раза, а спирты в пять-шесть раз. Следовательно, водородное топливо может повысить эффективность коэффициента полезного действия двигателя и помочь снизить удельный расход топлива. Однако в объемном отношении из-за более низкой объемной плотности энергии жидкому водороду может потребоваться в четыре раза больше места, чем флотскому мазуту, или примерно в два раза больше места, чем сжиженному природному газу [СПГ], для эквивалентного количества переносимой энергии. Также важно учитывать при сравнении энергии топлива и требуемых объемов энергоэффективности потребителя, или потери электроэнергии в топливных элементах [1]. Правда, для всех видов судового топлива могут потребоваться дополнительные объемы топлива, чтобы компенсировать потери эффективности между мощностью бака и мощностью выходного вала. Помимо этого, для сжижения водорода требуются низкие температуры ниже –253°, причем из-за этой очень низкой температуры требуемый объем для хранения жидкого водорода может быть даже выше, если учитывать необходимые слои материалов или вакуумную изоляцию для криогенного хранения и других структурных устройств [3].

Водород также может храниться в других материалах, таких как гидриды металлов, и этот метод хранения связывает водород с металлическими сплавами в пористой и рыхлой форме при умеренном давлении и нагреве. Затем водород извлекают путем

снятия давления и тепла, но несмотря на технологическую осуществимость и безопасность, металлгидридные и другие методы хранения водорода в твердых материалах могут быть неэффективным решением для хранения водорода на борту судов. Также стоит отметить, что из-за проблем, связанных с хранением при низкой температуре или высоком давлении, водород можно альтернативно переносить с другими веществами, такими как аммиак или метанол — эти виды топлива могут потребовать меньше энергии, чем требуется для охлаждения сжиженного водорода или для сжатия газообразного водорода [2]. Некоторые топливные элементы могут потреблять аммиак, метанол или другое топливо-носитель водорода путем риформинга и извлечения водорода из топлива с использованием внутренних риформеров. Однако эти технологии могут потребовать более высоких затрат энергии на гидрирование и преобразование топлива и, следовательно, могут привести к менее эффективному производству электроэнергии, чем удержание и потребление чистого водорода в топливных элементах [3].

Водород и водородное топливо-носитель чаще всего потребляются в топливных элементах для выработки электроэнергии с нулевым уровнем выбросов, независимо от того, каким способом был произведен водород. Существует множество завершенных и продолжающихся исследований топливных элементов, в первую очередь для оценки и повышения энергоэффективности топливных элементов. Существует несколько типов топливных элементов с различными эксплуатационными и стоимостными компромиссами, включая щелочные или твердооксидные топливные элементы, но в целом они потребляют водород и кислород, вырабатывая тепло, воду и электричество.

Говоря о применении в газотурбинных энергетических установках, смеси водородного топлива могут состоять из водорода, смешанного с совместимым топливом. Наиболее распространенными являются смеси водорода и сжиженного природного газа, которые могут снизить выбросы выхлопных газов и выбросы парниковых газов. Смесь водорода и криоген-

ного природного газа обычно может состоять из комбинации 20% водорода и 80% сжатого природного газа. Смеси водорода с природным газом, скорее всего, будут использоваться для выработки электроэнергии на суше в газовых турбинах, вследствие чего в судовых энергетических установках такое применение не может быть инициировано. Интересно отметить, что водород также может сжигаться совместно с дизельным топливом, и в зависимости от используемых пропорций для сокращения выбросов оксидов азота [NOx] может потребоваться использование технологий доочистки выхлопных газов. Помимо этого, для достижения оптимальных характеристик двигателя могут потребоваться другие незначительные изменения в системе синхронизации и управления двигателем [3].

Таким образом, хотя водород еще не получил широкого применения в качестве топлива в морской промышленности в судовых энергетических установках, с несколькими пилотными проектами он уже применяется в наземных целях. Также стоит отметить, что Международная морская организация пока что не установила международных требований для будущего использования водорода в качестве топлива на морских судах, однако некоторая информация, правила и нормы, касающиеся наземного его использования, уже упоминаются в резолюции MSC.420(97). К ним относятся меры безопасности, способы транспортировки и стандартные процедуры производства водорода. Помимо этого, существуют различные ссылочные нормы и правила для стандартов на водородные компоненты и конструкции оборудования, нормы пожарной безопасности и другие нормы безопасности, относящиеся к водороду, а также общие нормы или стандарты безопасности, включающие водород. Однако, в связи с отсутствием даже пилотных проектов по использованию водорода в судовых энергетических установках, международная регламентация данного процесса пока что приостановлена, хотя многие исследователи склоняются, что в будущем именно водород может стать топливом будущего для морских судов.

Литература:

1. Злобин В. Г., Верхоланцев А. А. Газотурбинные установка. Часть 1. Тепловые схемы. Термодинамические циклы: учебное пособие / В. Г. Злобин. ВШТЭ СПбГУПТД. — СПб, 2020. — 114 с.
2. Gohary ME, Seddiek IS. 2019. Utilization of alternative marine fuels for gas turbine power plant onboard ships. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 5(1):21–32.
3. Hydrogen as a marine fuel. 2021. American Bureau of Shipping [Электронный ресурс]. URL: <https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2021/06/ABS-hydrogen-as-marine-fuel.pdf> (дата обращения: 24.06.2022).

Применение полевых приборов при исследовании бетонных конструкций в пожарно-технической экспертизе

Рагозинников Максим Алексеевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России

В статье рассмотрены вопросы применения полевых инструментальных методов исследования бетонных конструкций для целей пожарно-технической экспертизы. Также приведены примеры современных приборов и оборудования, применяемых для данной

цели в практике деятельности ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Калининградской области, кратко описана методика проведения испытаний, определены задачи для проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: пожарно-техническая экспертиза, безопасность, защита, пожар, инструментальные методы, ультразвуковая дефектоскопия.

Зачастую причиной гибели людей во время пожаров и высокого ущерба является обрушение строительных конструкций зданий и сооружений. Как указывают Л. В. Дашко, Г. В. Плотникова, Ф. В. Гольчевский, «в результате воздействия высоких температур при пожаре, происходит изменение физико-механических свойств строительных материалов и конструкций в целом. При производстве пожарно-технической экспертизы и определении очага пожара и путей его распространения зачастую необходимо определить температуру на участках, поврежденных в результате теплового воздействия пожара строительных конструкций. Одним из самых распространенных строительных материалов является бетон. Поскольку бетон является композиционным материалом, его поведение при нагреве зависит от поведения цементного камня, наполнителя и их взаимодействия» [5].

Основной задачей пожарно-технической экспертизы бетонных конструкций является исследование технологических, технических, организационных и иных причин и условий возникновения, характера протекания пожара и его последствий, установление материального ущерба от пожара. Часто для решения данной задачи необходимо применять различные инструментальные методы исследования.

Сегодня область развития инструментальных методов происходит поразительно быстрыми темпами, они приобретают все более сложное оснащение, что значительно расширяет их перспективы использования. Появление новых технологий в сферах получения и обработки аналитической информации, требует постоянного совершенствования методов и методик, в том числе, используемых судебно-экспертными учреждениями Федеральной противопожарной службы МЧС России при исследовании пожаров. Многие методы в настоящее время могут быть реализованы непосредственно на месте нахождения подлежащего исследованию образца, а результат анализа выдается в реальном времени. Можно говорить о тенденции к переходу на методы измерения, действующие в реальном масштабе времени. Внедрение современных портативных аналитических приборов взамен существующих лабораторных — одно из основных направлений совершенствования методик пожарно-технической экспертизы. Расширение возможности получения объективной информации об изменении свойств конструкций и материалов под воздействием тепла пожара непосредственно на месте происшествия способствует сокращению времени на проведение экспертных исследований и повышению достоверности выводов об очаге и причине пожара.

Если еще недавно на месте пожара применялись в основном методы неразрушающего контроля, основанные на исследовании физических свойств материала, то в настоящее время появляется все больше различных сложных аналитических портативных приборов, позволяющих оценить химический состав материала. В сфере инструментальной аналитики еще никогда

не удавалось измерять такой объем компонентов за столь короткое время, как это делается в настоящее время, при этом программное обеспечение, выполняющее функции экспертной системы, оказывает помощь при оценке результатов измерений. Поэтому одним из направлений совершенствования уже существующих методик применяемых при исследовании пожаров является разработка специального программного обеспечения, позволяющего проводить обработку аналитической информации с учетом специфики работы судебно-экспертных учреждений.

Рассматривать различные полевые методы, применяемые при исследовании пожаров целесообразно в привязке к тем материалам, для исследования которых они в основном применяются, с описанием методик анализа, включая способы обработки получаемой информации.

Прежде всего, необходимо рассмотреть физико-химические процессы, лежащие в основе формирования очаговых признаков.

На сегодняшний день основными инструментальными методами исследования бетонных конструкций после пожара являются: ультразвуковая дефектоскопия (УЗД), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), также хорошо известны метод Архимеда и метод термического анализа.

ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Калининградской области оснащена приборами для исследования широкого класса материалов: неорганических строительных материалов; холоднодеформированных металлических изделий и конструкций; окарины на металлических объектах; деревянных конструкции и предметов; отложений копоти на конструкциях и предметах; а так же поиска места локализации остатков горючей жидкости и их предварительной классификации. Имеющееся оборудование объединено в многофункциональный приборный комплекс модульного типа для инструментального обеспечения работы пожарно-технического эксперта на месте пожара «ПИРЭКС».

Одним из методов исследования бетонных конструкций в практике ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Калининградской области при производстве пожарно-технической экспертизы является ультразвуковая дефектоскопия, которая основана на измерении интервала времени, за который ультразвуковой импульс проходит по бетону от передающего преобразователя к приемному. Скорость прохождения ультразвука по конструкции напрямую зависит от состояния бетона. Под воздействием высоких температур в условиях пожара происходит разрушение бетонной конструкции и, следовательно, скорость прохождения ультразвуковых волн замедляется [10].

Прибор, позволяющий производить данные замеры называется «Ультразвуковым дефектоскопом» (рис. 1).

Прибор предназначен для оценки свойств и дефектоскопии твердых материалов по времени и скорости распространения



Рис. 1. Ультразвуковой дефектоскоп ПУЛЬСАР 2.1

ультразвуковых (УЗ) импульсов при поверхностном и сквозном прозвучивании. Прибор позволяет выявлять дефекты, определять прочность, плотность и модуль упругости строительных материалов, а также звуковой индекс абразивов по предварительно установленным градуировочным зависимостям данных параметров от скорости распространения УЗ импульсов.

Работа прибора основана на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику. Скорость ультразвука вычисляется делением расстояния между излучателем и приемником (база прозвучивания) на измеренное время. Для повышения достоверности в каждом измерительном цикле автоматически выполняется 5 измерений и результат формируется путем их статистической обработки с отбраковкой выбросов. Оператор выполняет серию измерений (в серии можно задать от 1 до 10 измерений), которая также подвергается математической обработке с отбраковкой выбросов и определением среднего значения, коэффициента вариации, коэффициента неоднородности.

Для исследований железобетонных конструкций после пожара могут быть использованы и более сложные приборы, например прибор ультразвукового зондирования «УЗ-01-ЭП», входящий в комплекс «ПирЭкс». В его состав входят: низкочастотный ультразвуковой дефектоскоп УД2Н-ПМ (рисунок 2), «шаблон» с преобразователями (ручка с двумя ультразвуковыми датчиками с конусообразными наконечниками) и штанга. Кроме того, в комплекте прибора имеется специальный датчик для измерения скорости ультразвуковой волны по глубине бетонной конструкции.

Основными частями дефектоскопа УД2Н-ПМ являются генератор сигналов и жидко-кристаллический индикатор (экран), на котором отображаются: зондирующий импульс, сигнал прошедший через материал (эхо-сигнал), селективирующий импульс (строб), используемый для измерения интервалов времени.

Для выполнения измерений необходимо выбрать параметры работы: усиление, скорость сканирования и т.д.

Возможны варианты прозвучивания со смазкой и сухим контактом (конусные насадки) (рис. 3).



Рис. 2. Низкочастотный ультразвуковой дефектоскоп УД2Н-ПМ

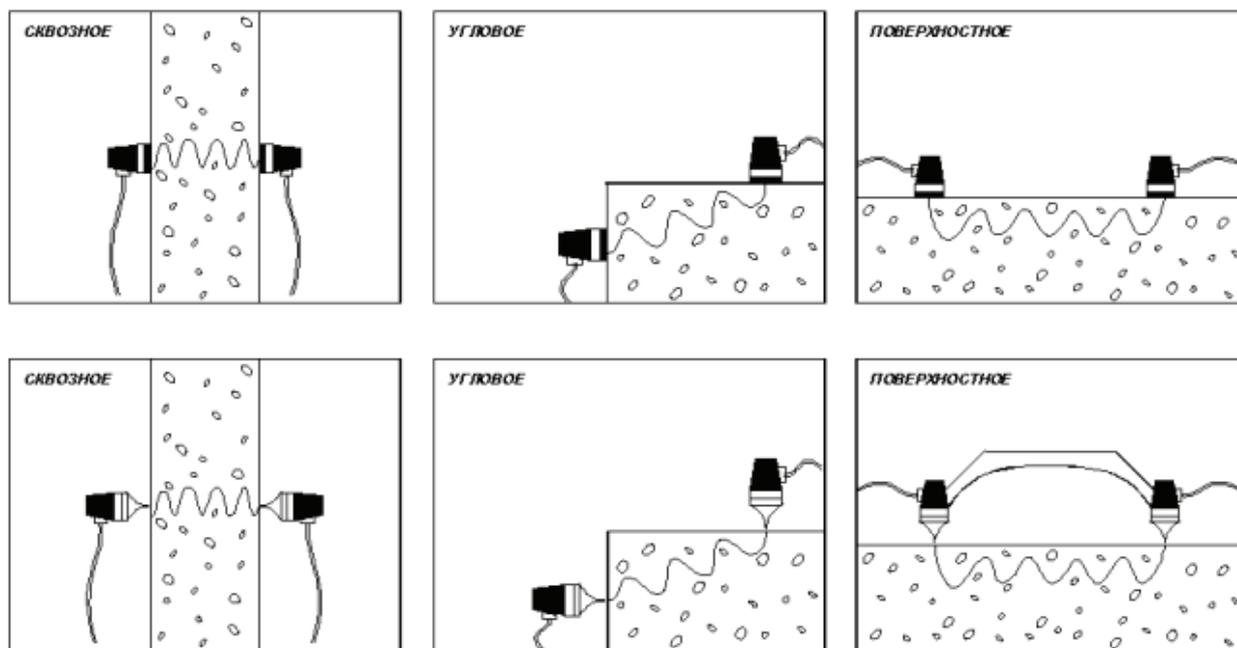


Рис. 3. Варианты прозвучивания

Прибор осуществляет запись принимаемых УЗ импульсов, имеет встроенные цифровые и аналоговые фильтры, улучшающие соотношение «сигнал-шум». Пользователь имеет возможность вручную изменять усиление измерительного тракта.

В качестве примера в научной статье Мануйлова В.В. [8] представлено помещение, в котором стены выполнены из железобетона или бетонных блоков. Очаг пожара расположен в углу помещения. Если пожарная нагрузка в помещении размещена равномерно и горючие материалы имеют одинаковые пожароопасные свойства, то сотруднику СЭУ ФПС ИПЛ методом ультразвуковой дефектоскопии не составит труда определить очаг пожара в помещении (рис. 4, а).

В результате пожара в здании или помещении могут возникать вторичные очаги пожара или находиться места с сосредоточенной пожарной нагрузкой. Эти факторы могут осложнить работу сотруднику СЭУ ФПС ИПЛ в вопросе определения истинного (первичного) очага пожара (рис. 4, б).

На рынке выпускаемой продукции имеются достаточно много различных модификаций аналогов данных приборов в различных конструктивных исполнениях, но со схожим принципом работы и, следовательно, подходящих для проведения исследований для целей пожарно-технической экспертизы.

Следующим методом исследования бетонных конструкций в практике деятельности ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Калинин-

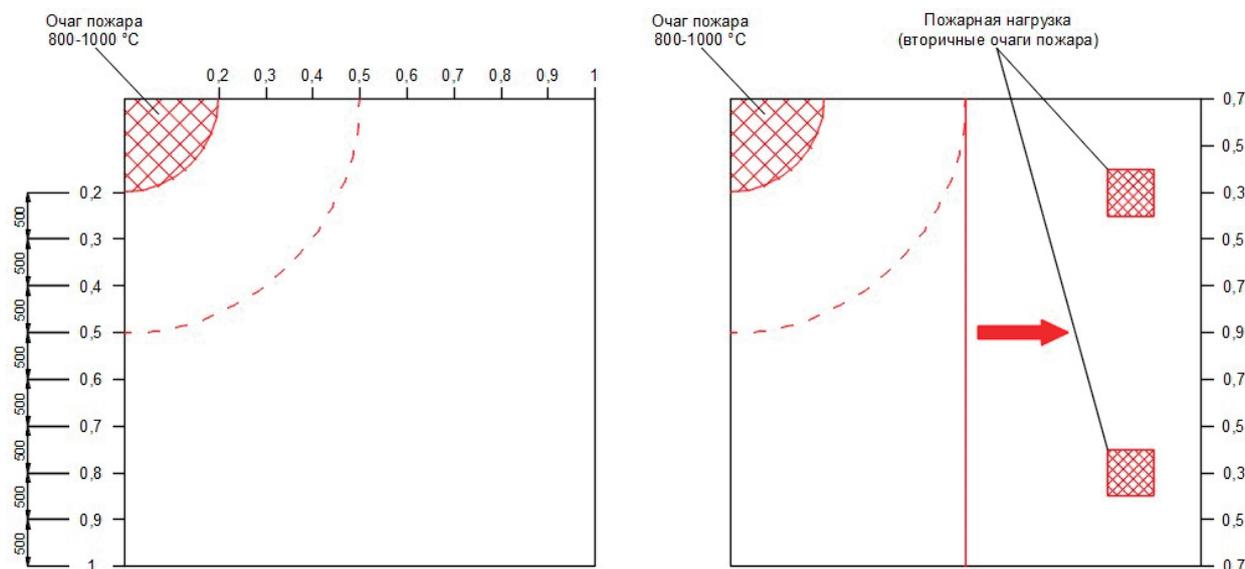


Рис. 4. Распределение коэффициента К в помещении пожара с равномерно распределенной пожарной нагрузкой (а) и с сосредоточенной пожарной нагрузкой (б) [8]

градской области при производстве пожарно-технической экспертизы является рентгенофлуоресцентный анализ, который основан на анализе спектров, который получается методом воздействия на материал при исследовании рентгеновскими лучами. При облучении образца мощным потоком излучения возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое

пропорционально их концентрации в образце. Данный метод позволяет определять степень термических поражений материалов путем сравнения составов исследуемых образцов [6].

Подходящим оборудованием для проведения исследований бетонных и железобетонных конструкций является портативный спектрометр NITON XL2 (рис. 5).



Рис. 5. Спектрометр NITON XL2

Niton XL2 гарантирует вам быструю и точную проверку металлического сплава для обеспечения качества. Благодаря стандартной встроенной фотокамере для точного позиционирования области анализа, анализатор XL2 обеспечивает немедленный, неразрушающий элементный анализ материалов сплавов от титана до никеля, а также анализ бродяжных и микроэлементов.

Прибор малогабаритный, что позволяет применять его непосредственно в полевых условиях при исследовании объектов пожарно-технической экспертизы.

Также одним из методов исследования бетонных конструкций в пожарно-технической экспертизе является метод термического анализа, который направлен на фиксацию физико-химических свойств веществ в процессе термических воздействий на исследуемый образец.

Термический анализ имеет ряд преимуществ перед другими методами исследований — гибкость постановки экспе-

римента, одновременное получение нескольких характеристик материала, быстрое снятие информации, возможность автоматизации при обработке данных, использование малого количества вещества, что позволяет сохранить вещественное доказательство.

Перечисленные полевые методы и приборы при исследовании бетонных конструкций в практике деятельности ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Калининградской области при производстве пожарно-технической экспертизы позволяют осуществлять оценку термических поражений материалов и широко применяются при проведении исследований материалов. На сегодняшний день нет комплексного наиболее информативного метода исследований, подходящего для работы в полевых условиях при исследовании бетонных конструкций, поэтому данные методы могут применяться как по-отдельности, так и взаимно дополнять друг друга.

Литература:

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
2. Федеральный закон от 21.12.1994 N69-ФЗ (ред. от 16.04.2022) «О пожарной безопасности»
3. Федеральный закон от 31.05.2001 N73-ФЗ (ред. от 01.07.2021) «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации»
4. Приказ Минюста России от 27.12.2012 N237 (ред. от 28.12.2021) «Об утверждении Перечня родов (видов) судебных экспертиз, выполняемых в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Минюста России, и Перечня экспертных специальностей, по которым представляется право самостоятельного производства судебных экспертиз в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Минюста России» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2013 N26742)

5. Дашко Л. В., Плотникова Г. В., Гольчевский В. Ф. Экспертные пожарно-технические исследования строительных материалов зданий при установлении очага пожара // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2014. № 4 (71). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspertnye-pozharno-tehnicheskie-issledovaniya-stroitelnyh-materialov-zdaniy-pri-ustanovlenii-ochaga-pozhara> (дата обращения: 28.06.2022).
6. Дашко, Л. В. Экспертное исследование цементного камня после высокотемпературного воздействия / Л. В. Дашко, В. Д. Синюк, Г. В. Плотникова // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 12. — С. 22–32.
7. Зернов С. И. Задачи пожарно-технической экспертизы и методы их решения: Учеб. пособие / С. И. Зернов; М-во внутр. дел Рос. Федерации. Гос. учреждение «Экспертно-криминалист. центр М-ва внутр. дел Рос. Федерации». — М.: ГУ ЭКЦ МВД России, 2001. — 199 с.
8. Мануйлов В. В. Ультразвуковой метод исследования железобетонных конструкций после пожара // Безопасность техногенных и природных систем. 2018. № 3–4. URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 29.06.2022).
9. Пожарно-техническая экспертиза: учебник / М. А. Галишев, Ю. Н. Бельшина, Ф. А. Дементьев и др. — СПб.: С. — Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2014. — 53 с.
10. Сикорова, Г. А. Изучение возможности использования метода ультразвуковой дефектоскопии для исследования стальных изделий в целях пожарно-технической экспертизы / Г. А. Сикорова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2016. — Т. 2, № 1 (7). — С. 323–325.
11. Соколова, А. Н. Инструментальные методы исследования места пожара / А. Н. Соколова, И. Д. Чешко // Пожарная безопасность. — 2012. — № 4. — С. 86–89
12. Чешко, И. Д. Анализ экспертных версий возникновения пожара. В 2-х книгах. Кн. 2 / И. Д. Чешко, В. Г. Плотников. — СПб: Береста, 2012. — 364 с.

Инновации в исследованиях по имплементации водородных двигателей в газотурбинных энергетических установках

Роговицкий Артем Сергеевич, студент

Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова в г. Северодвинске (Архангельская обл.)

В настоящей статье представлена краткая характеристика инноваций в исследованиях по внедрению в практическое использование водородных двигателей в газотурбинных энергетических установках. Автор привел примеры трех коммерческих проектов, нацеленных на популяризацию водорода в качестве топливного элемента в судовых энергетических установках.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, газовая турбина, газотурбинная энергетическая установка, водород, судостроение.

Еще одним ресурсом, который, как считается, станет топливом будущего на десятилетия, в особенности для отрасли мореплавания, является газообразный водород. Научные исследования по использованию водорода на транспорте начались вскоре после первого нефтяного кризиса во второй половине XX века. Многие производители приступили к разработке программ по выпуску автомобилей, которые могли бы работать на водородном топливе в двигателях внутреннего сгорания. В настоящее время в США действуют национальные программы по разработке водородных систем, особенно для топливных элементов, для преодоления любых проблем, связанных со сгоранием [3]. Сгорание водорода в двигателях внутреннего сгорания было и остается предметом многих исследовательских программ во многих странах. Как и в случае с природным газом, основные проблемы, связанные с применением водорода в двигателях внутреннего сгорания, включают детонацию двигателя. Однако многие исследования сейчас «ушли» в сферу применения водорода в качестве топлива и в морских энергетических установках.

Так, успешные результаты пилотных проектов по внедрению водорода, как топлива будущего для судовых энергетических установок, необходимы, чтобы доказать морской отрасли, что можно управлять работой систем транспортировки, доступности, использования и заправки водородного топлива. В связи с этим ниже будут рассмотрены различные текущие или предстоящие отраслевые пилотные проекты, а разнообразие механизмов и типов судов является результатом компромисса между требуемой мощностью судна, дальностью хода, выполняемыми технологическими операциями, размером, эффективностью, наличием топлива и общим знакомством с различными новыми или гибридными технологиями:

1. Морское судно с нулевыми выборами Golden Gate на водородных топливных элементах, США.

Первое судно в США, работающее на водородных топливных элементах, должно быть спущено на воду в конце 2022 года в США в районе залива Сан-Франциско для работы в качестве пассажирского парома. Проект был инициирован компанией Golden Gate Zero Emission Marine [англ. GGZEM],

ныне известной как Zero Emission Industries после технико-экономического обоснования водородного парома модели SF-BREEZE2018 года, прототип которого лег в основу рассматриваемого судна [1]. 21-метровый катамаран Water-Go-Round, переименованный в Switch, будет работать с использованием протонообменных мембранных топливных элементов с 242-килограммовыми баками со сжатым водородом, хранящимися на верхней части надстройки, и использовать батареи емкостью 100 кВт·ч для работы с пиковыми и переменными нагрузками. Ожидается, что топлива хватит на два полных дня паромной переправы с расчетной скоростью 22 узла. Данный проект призван показать, что технология создания и экономичность морского судна, работающего на водороде, осуществимы, поскольку в районе залива растет доступность промышленного водорода для заправки бортовых баков. Гибридный электрический паром будет способствовать нулевому уровню выбросов и бесшумной работе, что приведет к повышенной экономической эффективности и снижению вреда окружающей среде [1].

2. BeHydro Engines и Hydroville CMB Tech, Бельгия.

В 2017 году в Бельгии был спущен на воду паром Hydroville как первое в мире пассажирское судно, работающее на водороде, принадлежащее CMB Tech. Hydroville оснащен двухтопливным водородно-дизельным двигателем. Двигатель BeHydro, разработанный совместным предприятием CMB Tech, доступен с 6, 8 [рядным расположением], 12 или 16 цилиндрами для обеспечения диапазона выходной мощности от 1000 до 2670 кВт. Выбросы оксидов азота [NOx], производимые этой системой сгорания, снижаются до требуемых пределов с помощью технологии селективного каталитического восстановления. В связи с этим комбинация системы сжигания водорода и технологии доочистки позволяют судну достичь почти нулевых выбросов, что благоприятно для нивелирования атмосферного загрязнения. Однако одним из ограничивающих факторов для применения на борту судна является необходимая емкость топливного бака [2]. Помимо этого, CMB Tech работает над развитием других малых судов с двухтопливным водородно-дизельным двигателем, в том числе паром Hydrobingo на 80 человек, который был спущен на воду в Японии в 2021 году, судно для обслуживания ветряных электростанций Hydrocat, которое тоже было спущено на воду в середине 2021 года, и Hydrotug, который будет спущен на воду в середине 2022 года для обслуживания порта Антверпена в Бельгии.

3. Морское вспомогательное судно Ulstein SX190 с нулевыми выбросами.

В 2019 году компания Ulstein Design & Solutions опубликовала проект морского судна с использованием технологии топливных элементов Nedstack. В проекте утверждается, что судно нового поколения может быть построено к 2024 году.

Данное судно спроектировано на топливных элементах с возможностью работы на нем до двух недель, ведением технологических операций с нулевым уровнем выбросов, достигнутые за счет реализации в ближайшем будущем передовых разработок для хранения водорода и технологии топливных элементов. Для более дальних рейсов конструкция судна включает дизель-электрические энергетические установки, работающие на дизельном топливе с низким содержанием серы [4].

Блоки топливных элементов Nedstack с протонообменной мембраной, расположенные в отдельном машинном отделении на борту, должны обеспечивать 2 МВт из общей установленной бортовой мощности 7,5 МВт. Водородное топливо на борту должно храниться в герметичных контейнерах, которые размещаются с помощью обычных кранов, и которые могут быть дозаправлены уже в пути при необходимости. Ожидается, что модульные топливные контейнеры можно будет заправлять на любом объекте производства водорода, что обеспечит глобальные возможности обслуживания, где бы ни находились промышленные предприятия. Когда сама технология и береговая бункерная инфраструктура станут доступными, модульные решения для хранения водорода под давлением могут быть заменены интегрированными резервуарами для сжиженного водорода, что позволит не только хранить примерно в три раза больше водородного топлива на борту, но и увеличить рабочий диапазон рейсов с нулевым уровнем выбросов. Данная технология заправки топлива с нулевым уровнем выбросов дополняется другими решениями по повышению эффективности судов Ulstein, включая конструкционное решение X-Bow® для хранения бортовых аккумуляторов, а также методы управления и восстановления энергии, что позволит в будущем способствовать развитию применения водорода в качестве топлива в газотурбинных энергетических установках [4].

Таким образом, ожидается, что по мере накопления опыта в пилотных проектах по внедрению топлива на водороде в газотурбинные энергетические установки, водород будет использоваться в морской промышленности в качестве предпочтительного экологически чистого топлива. В отличие от судового топлива на основе ископаемых источников, которое экспортируется из богатых ресурсами стран в другие страны мира, производство водорода в любой стране может обеспечить энергонезависимую экосистему. По этой причине многие национальные правительства, как, например, Австралии, Японии и США разрабатывают планы по включению его в стратегии энергетического развития, что, в свою очередь, может помочь ускорить темпы глобального производства водорода, включая доступный водород для судового топлива. Подобное позволит не только создать энергетическую независимость морской отрасли, но также и благоприятно отразится на общеглобальной экологии.

Литература:

1. AAM+ Switch — world's first commercial vessel powered 100% by hydrogen fuel cells [Электронный ресурс]. URL: <https://www.allamericanmarine.com/hydrogen-vessel-launch/> (дата обращения: 24.06.2022).
2. Chambers S. 2020. CMB debuts latest hydrogen-powered engine [Электронный ресурс]. URL: <https://splash247.com/cmb-debuts-latest-hydrogen-powered-engine/> (дата обращения: 24.06.2022).

3. Hydrogen as a marine fuel. 2021. American Bureau of Shipping [Электронный ресурс]. URL: <https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2021/06/ABS-hydrogen-as-marine-fuel.pdf> (дата обращения: 24.06.2022).
4. Zero emission operations in offshore construction market [Электронный ресурс]. URL: <https://ulstein.com/news/zero-emission-operations-in-offshore-construction-market> (дата обращения: 24.06.2022).

Конструктивная конфигурация газотурбинных энергетических установок на водородном топливе

Роговицкий Артем Сергеевич, студент

Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова в г. Северодвинске (Архангельская обл.)

В настоящей статье представлена краткая характеристика конструктивной конфигурации газотурбинных энергетических установок на водородном топливе. Автор проанализировал основные характеристики и параметры строения морских судов, которые будут отличительными от уже имеющихся, если в их судовых энергетических установках будет использоваться водород в качестве превалирующего топливного источника.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, газовая турбина, газотурбинная энергетическая установка, водород, судостроение.

Использование газотурбинных двигателей в мореплавании началось только в 70-х годах XX века. В целом, основным «потребителем» морских газотурбинных энергетических установок являются военно-морские подразделения, где многие военно-морские силы по всему миру используют их в качестве основных или вспомогательных генераторов энергии для своих кораблей. Однако стоит отметить, что в последнее время данная типология судовой энергетической установки начала медленно проникать на коммерческий рынок в качестве вспомогательных энергетических установок, особенно на больших круизных лайнерах, таких как Queen Mary II [2]. Причем ожидается, что они будут все больше и больше проникать в другие коммерческие сектора, поскольку многие благоприятные условия убеждают судовладельцев использовать именно газовые турбины, а не дизельные двигатели в новых построенных кораблях. В последнее десятилетие газовые турбины добились успеха в двух категориях коммерческих судов, обе из которых рассчитаны на пассажиров — быстрые паромы и круизные лайнеры. С начала XXI века многие суда приводятся в движение газовыми турбинами, но большинство из них используют их в комбинированной конфигурации для достижения более осуществимого и гибкого решения по энергетической установке из-за высокого расхода топлива газовых турбин. В связи с этим инженеры постоянно пытаются усовершенствовать практику применения газотурбинных двигателей для повышения их эффективности, и одним из решений является использование водорода в качестве топлива, что предполагает изменение конструктивной конфигурации газотурбинных энергетических установок, поскольку его применение накладывает определенные специфические характеристики.

Различные проблемы, связанные с водородом в качестве судового топлива, должны быть решены, прежде чем он станет коммерчески доступным для использования в широком значении, поскольку он, как топливо, все еще находится

на ранних стадиях разработки для применения в судовых энергетических установках. Требования к хранению водорода в сжиженной или газообразной форме необходимо учитывать на этапе разработки концепции, так как это будет зависеть от типа судна и потребует установки соответствующих резервуаров для хранения высокого давления или низкотемпературных защитных устройств. Так, в таблице 1 приведены некоторые относительные преимущества и проблемы использования водорода в качестве топлива для судовых энергетических установок [1].

Учитывая проблемы использования, фактор применения водородного топлива в судовых энергетических установках требует изменения конфигурации самого судна. Так, к примеру, будущим судам могут потребоваться интегрированные конструкции, основанные на эксплуатационном профиле, выбранной топливной системе, выработке электроэнергии и выбранных энергетических установках. Системы выработки электроэнергии, такие как водород, интегрированный с системами хранения топливных элементов и аккумуляторов, могут изменить архитектуру текущего дизайна машинного отделения. Например, установки на топливных элементах могут быть большими, но им может не потребоваться столько доступного пространства для обслуживания, как для типичных судовых двигателей, поэтому они могут более эффективно использовать объем машинного отделения. Однако следует учитывать вес больших установок топливных элементов. Топливные элементы и электрические гибридные системы могут обеспечить более эффективное использование пространства на судах, поскольку они позволяют распределять электрооборудование по всему судну [3].

Поскольку водород имеет низкое содержание энергии на единицу объема, для эквивалентного хранения энергии потребуются резервуары большего размера, и их расположение на борту будет критическим фактором конструкции. Многие не-

Таблица 1. Водород в качестве топлива для судовых энергетических установок

Преимущества использования	Проблемы использования
Свобода от углерода и серы	Топливная инфраструктура и бункеровка требуют значительных инвестиций
Может производиться возобновляемыми источниками энергии	Новые системы производства электроэнергии потребуют большого количества технологических инноваций
Хранение и транспортировка в жидком или газообразном состоянии	Возможно высокая стоимость топлива
Факт коммерческого применения на суше	Отсутствие опыта морских перевозок
Отсутствие выборов газов, твердых частиц и парниковых газов при использовании топливных элементов	Высокий риск взрыва в замкнутом пространстве
Обладает высокой плавучестью и рассеивается при утечке даже при температуре жидкого водорода	Проблемы с материалами [проницаемость, водородное окрупчивание и др.]

большие резервуары с водородом устанавливаются на палубах или надстройках, чтобы использовать естественную вентиляцию в случае небольших утечек. Другие, более крупные приложения могут рассматривать возможность хранения водорода в резервуарах в качестве независимых или интегрированных конструкций.

Также стоит отметить, что могут потребоваться значительные технические достижения в судостроении, чтобы водород считался жизнеспособным крупномасштабным коммерческим топливом, особенно для судов с большими объемами водородного топлива, которые могут потребовать увеличения места на борту, особенно для дальних маршрутов. Водород, хранящийся в качестве груза, может храниться в самой плотной криогенной жидкой форме для увеличения объема торговли и хранения на борту. Однако большие объемы топлива и условия хранения газообразного и жидкого водорода на борту могут потребовать компромисса между некоторым грузовым пространством, в зависимости от плотности водорода, работы судна, бортовых энергетических систем и маршрута. Суда, работающие на водородном топливе, проходящие вблизи или работающие рядом с бункеровочными сооружениями, с возможностью частой бункеровки, могут испытывать минимальные проблемы с нехваткой топлива или потерей грузового пространства [3].

Для сжиженного водорода при низких давлениях потери энергии при хранении и образовании выпарного газа могут быть проблемой для резервуаров длительного хранения в зависимости от номинального давления криогенного резервуара

и продолжительности времени, в течение которого топливо остается «бездействующим», поскольку скорость испарения составляет от одного до пяти процентов в день для стандартных наземных резервуаров для хранения жидкого водорода. Улучшенная изоляция и несколько более высокие затраты на хранение могут снизить испарения жидкого водорода до 0,02% объема в день. Чтобы избежать потерь, выпарной газ из баков со сжиженным газом можно использовать в двигателе или топливном элементе, и стоит подчеркнуть, что резервуары с газообразным водородом под давлением не испытывают проблем с испарением газа [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что водород как топливо для судовых энергетических установок, может стать реальностью для использования в газотурбинных двигателях. Использование данного вида топлива может быть полезным, поскольку водород обладает многими свойствами, которые способствуют его использованию в качестве горючего топлива. Так, например, Низкая энергия воспламенения важна при горении, поскольку количество энергии, необходимое для воспламенения водорода, составляет на порядок меньше, чем требуется от флотского мазута, а высокая температура самовоспламенения водорода играет ключевую роль в определении степени сжатия двигателя, положительно влияя на максимальную выходную мощность. Однако, наряду с положительными аспектами применения данного вида топлива, потребуются изменение конструкционных характеристик морских судов, что должно быть заложено на этапе их проектирования.

Литература:

1. Elgohary MM, Seddiek IS. 2012. Comparison between Natural Gas and Diesel Fuel Oil Onboard Gas Turbine Powered Ships. JKAU Marine Science 23(2):109–127.
2. Elgohary MM. 2013. Overview of past, present and future marine power plants. Journal of Marine Science and Application 12(2): 219–227.
3. Hydrogen as a marine fuel. 2021. American Bureau of Shipping [Электронный ресурс]. URL: <https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2021/06/ABS-hydrogen-as-marine-fuel.pdf> (дата обращения: 24.06.2022).

Влияние пористости и структурных параметров на разные виды диссоциации газогидратов

Семенов Константин Сергеевич, студент
Ухтинский государственный технический университет

Экспериментально изучена диссоциация гидрата метана при отрицательных температурах для различных искусственных и природных образцов, различающихся по макро- и микроструктурным параметрам. В данной статье обсуждается тип диссоциации. Внутренняя кинетика искусственных гранулированных газогидратов и клатратных гидратов в углях зависит от пористости, дефектности и скорости фильтрации газа. Плотность распределения пор в корке сформировавшегося льда уменьшается на несколько порядков, и это существенно меняет скорость распада. Существующие модели описания диссоциации при отрицательных температурах не учитывают структурные параметры образцов.

Ключевые слова: газогидраты, газ, метан, диссоциация, энергетика.

Influence of porosity and structural parameters on different types of dissociation of gas hydrates

Keywords: gas hydrates, gas, methane, dissociation, energy.

Диссоциация регулируется внутренними физическими процессами, которые необходимо учитывать при моделировании. Неизотермически численно моделировалась диссоциация при постоянном внешнем тепловом потоке. Диссоциация моделируется с учетом тепломассопереноса, кинетики фазового превращения и фильтрации газов через пористую среду гранул для отрицательных температур. Показано, что газогидрат диссоциация при наличии преимущественно микропористых структур принципиально отличается от дезинтеграции газогидратов, содержащих мезо- и макропоры. Залежи газогидратов содержат огромные запасы природного газа, и их интенсивная разработка начнется в ближайшее время. Вопросы безопасности и экологии становятся одной из самых сложных областей в мировой энергетике. Теперь не только вопросы о стоимости традиционных технологий добычи природного газа, в том числе сланцевого газа, становятся актуальными, но и экологические проблемы играют первостепенную роль. Исследования газогидратов тесно связаны с проблемой глобального потепления. Выброс метана из вечной мерзлоты приводит к изменению климата. Альтернативные энергетические технологии могут эффективно решать экологические проблемы.

Среди таких альтернативных технологий — производство и хранение природных и искусственных гидратов метана. Много усилий затрачивается не только на повышение эффективности технологий добычи газогидратов, но и на борьбу с гидратными пробками в трубопроводах. Эти пробки быстро растут, они способствуют резкому увеличению гидравлического сопротивления и остановке потоков нефти и газа. В связи с этим применяются ингибиторы гидратообразования. Новый класс гидрофобных ингибиторов кинетики аминокислот может эффективно бороться с гидратообразованием. Пектин (кинетический ингибитор гидратации) также обладает уникальными свойствами. Большое внимание уделяется проблемам, связанным

с транспортировкой и хранением сырья в крупнотоннажной таре. Гранулированный метан может храниться длительное время за счет явления самоконсервации при температурах отжига, а наименьшая скорость диссоциации гидрата метана достигается при температурах 265–267 К. Эффективность вышеперечисленных технологий зависит от глубины понимания механизмов диссоциации, границ фазовой стабильности и метастабильного состояния. Важно понимать принципиальную разницу между распадом газогидратов при положительных температурах и диссоциацией при температурах ниже точки заморозания. При положительных температурах диффузия газа происходит через пленку или слой воды и описывается известным уравнением зависимости. Кинетическое уравнение удовлетворительно описывает эксперимент, а определяемые кинетические константы равны. При диссоциации в пористой среде помимо кинетических уравнений используются закон Дарси и модель Кори для проницаемости. Поскольку коллапс газового гидрата сопровождается охлаждением, необходимо учитывать теплообмен с окружающей средой. Скорость образования газогидратов и разложение лимитируется тепловой инерцией среды и скоростью диффузии газа в жидкости и твердом теле. Влияние теплообмена при росте кристаллов и распад особенно важен для сильно неравновесных систем.

Физическая картина распада газовых гидратов при отрицательных температурах значительно сложнее. На сегодняшний день нет точных моделей, описывающих эту диссоциацию. Проблема в том, что в данном случае мы сталкиваемся с разнообразием структур и морфологий поверхности кристаллов. В этом случае нет смысла выбирать кинетические константы, описывающие распад, так как значение скорости диссоциации в интервале температур от 190 К до 273 К изменяется на пять порядков и зависит от внешнего давления, типа гидрата и морфологии льда. Поверхности гидратированных пород морских месторождений гидратов, разрабатываемых

в различных местах (район Дунша Южно-Китайского море, бассейн устья Жемчужной реки), имеют различную морфологию (пластинчатую, желваковую, жильную, вкрапленную) с различным размером зерна. В литературе большое внимание уделяется изучению структур льда применительно к диссоциации газовых гидратов. Газ и лед образуются при распаде газогидратов. Различают три основные структуры газогидратов: кубическую структура (sI); кубическая структура (sII); и гексагональная структура (sH). Гидраты природного газа обычно имеют структуру sI и sII. При диссоциации газовых гидратов при отрицательных температурах возникает разнообразие ледяных структур и морфологии поверхности. Сегодня для льда обнаружено более 15 кристаллических фаз; у каждого из них есть характерная метастабильная область. Наиболее распространенная структура льда в диапазоне низких отрицательных температур шестиугольный лед Ih. Кристаллическая структура кубического льда Ic, полученного при очень низких температурах, менее стабильна и с при повышении температуры он превращается в шестиугольный лед. Характерно, что при внешнем давлении 1 бар и температуре ниже 230 К вблизи точки плавления лед имеет разветвленную пористую структуру. При температурах отжига, наблюдается аномально низкая скорость разложения газогидратов (феномен самосохранения) и льда поверхность покрыта сплошной ледяной коркой. При этом структуры поверхностного льда имеют сложную и разнообразную морфологию. (рассеянный, разветвленный, куполообразный), что зависит от давления, температуры и типа газогидрата. Часто в литературе аномально низкая диссоциация связана с морфологией поверхностных структур льда. Когда диссоциирующая при температурах отжига, на поверхности гранул образуется тонкая и очень прочная ледяная корка. Там высокое внутреннее давление под ледяной коркой препятствует дальнейшему распаду газогидрата. Ока-

залось, что предел прочности этой корки во много раз выше, чем у крупнозернистого поликристаллического льда и его зерна размер около 10 мкм.

При горении на поверхности слоя гранул образуется не только ледяная корка, но и водяная пленка; при этом скорость распространения пламени зависит от скорости нагнетаемого воздушного потока. Самоконсервация при сжигании гидрата метана приводит к многократному уменьшению расхода топлива. В результате параметр впрыска и стехиометрическое соотношение, влияющие на скорость химической реакции при горении, изменяют. Пористость может образовываться как при разрушении, так и при образовании газогидратов. Естественные газогидраты, образующиеся как с континентального, так и с морского дна, также указывают на наличие микропористых структур. Возникновение пористости связано с избытком молекул газа в момент газогидратообразования. Сами пористые газогидраты в природе образуются в поровом пространстве твердой породы. Влажность угля приводит к образованию гидратов клатрата метана. Образование гидратов метана в углях увеличивает способность угля хранить газ. Емкость метана в газогидратах до 2 порядков превышает газоемкость угля за счет адсорбции. Математические модели реагирующих пористых частиц широко используется в задачах химической технологии и теории горения.

Экспериментальные данные и обсуждение

$$k_f = \frac{F_1 d_p^2}{32} \quad (1)$$

F_1 — часть поверхности, занятая открытыми порами, выражается поверхностной плотностью пор σ_p (число пор на 1 квадратный метр (M^{-2})).

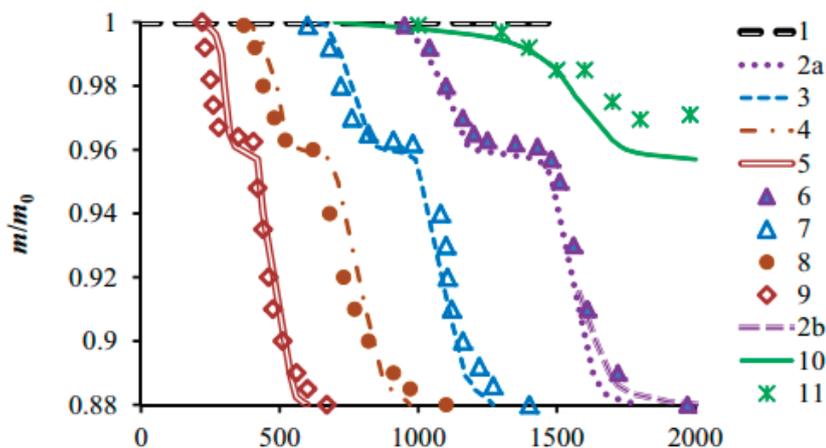


Рис. 1. Безразмерная масса гидрата метана ($\frac{m_i}{m_0}$) от времени с самосохранением

(1–9 для искусственного газогидрата; 10–11 для угольных частиц): моделирование 1–5; 1 — $\Delta T=5^\circ C$; 2а — $10^\circ C$ (1 секция самоконсервации); 2б — $10^\circ C$ (2 секция самоконсервации); 3–15 $^\circ C$; 4–25 $^\circ C$; 5–40 $^\circ C$; опыт 6–9; 6 — $\Delta T=10^\circ C$; 7–15 $^\circ C$; 8–25 $^\circ C$; 9–40 $^\circ C$; 10 — имитация угля ($\Delta T=15^\circ C$); 11 — опыт для угля ($\Delta T=15^\circ C$).

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \sigma_f d_p^2 \quad (2)$$

Для моделирования используется упрощенная схема диссоциации, когда толщина ледяной корки δ распределена равномерно по окружности цилиндрической гранулы. Данные моде-

лирования на $\frac{m_i}{m_0}$ с самосохранением для второй области и без

самосохранения для первой и третьей областей показаны на рис. 1. Имеется четыре конкретных интервала времени из эксперимента: (1) высокая скорость затухания из-за высокой плотности пор, (2) область самосохранения; (3) высокие скорости распада и менее заметный эффект самосохранения, (4) значительное снижение по скорости распада в конце разложения.

При $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ моделирование проводилось для одной области самосохранения (кривая 2а). Моделирование на двоих области самосохранения представлены кривой 2б. Экспериментальные данные лучше соответствуют кривой 2б, и это свидетельствует о значительном снижении плотности пор в конце третьей области диссоциации (исключая зону ползучести льда вблизи точки плавления). Заметное отклонение эксперимен-

тальных данных от расчета наблюдается вблизи $\frac{m_i}{m_0} = 1$. Рас-

четная кривая имеет значение производной для кривой dm/dt значительно меньше экспериментальной. изгиб.

Возможно, это связано с большей скоростью фильтрации газа через поры, когда толщина ледяной корки стремится к 0. Очевидно, что для этого случая уравнение Дарси может быть нелинейным. Значительное отклонение эксперимента от моделирования для угля (кривая 10) также вполне логично. На сегодняшний день нет достоверных данных о том, как вода или гидраты распределяются в порах разного размера. Необходимо знать распределение газогидратов по объему угольной частицы. Однако хорошо видно, что скорость диссоциации угольных частиц значительно ниже, чем для гранул, состоящих только из газогидрата. Меньшая скорость диссоциации, безусловно, связана с малым размером пор в угле и с большой толщиной льда в угольной поре. Аналогичный результат может быть полученный при диссоциации пористой гидратированной матрицы (рис. 2г) при $T < 0^\circ\text{C}$ и с самоконсервацией. Для моделирования этого процесса необходимо знать не только пористость и состав породы, но и распределение пор и трещин по размерам. Расчетные кривые и экспериментальные точки для скорости диссоциации J представлены на рис. 4а. Очевидно, что Дж имеет сильно нелинейный характер во времени: сначала увеличивается, достигает максимума, а затем уменьшается. В финальной стадии диссоциации производная dJ/dt стремится к нулю, что связано со сферической формой гранулы. При приближении фронта диссоциации к центру масса выделившегося метана стремится к 0,22. Эта нелинейный характер скорости диссоциации получен моделированием впервые и хорошо согласуется с экспериментальными данными с учетом самосохранения (точки 8). Аналогичный нелинейный характер в зависимости от времени и температура наблюдалась в экспериментах по сжиганию газогидратов.

Вывод

Для моделирования диссоциации газогидратов необходимо учитывать теплообмен как для квазиизотермический случай (при тлении образец охлаждается и требуется подвод тепла) и неизотермический условия. Для этого важно знать разницу температур между образцом и внешней средой и коэффициент теплопередачи. Неизотермическая диссоциация в порошковом слое газогидрата при отрицательных имеет четыре характерных временных режима: (1) высокая скорость затухания из-за высокой плотности пор; (2) регион самосохранения при температуре отжига и низкой скорости разложения; (3) высокая скорость распада за счет роста плотности пор; (4) значительное снижение скорости распада из-за возрастающей роли самосохранения. Диссоциация при низких температурах принципиально отличается от диссоциации при температурах выше нуля за счет образования пористости и механизма фильтрации. Процессы диссоциации существенно различаются при изменении морфологии пористых структур и характерных размеров пористой среды. В этом отношении, кинетика диссоциации гидрата природного газа на одну гранулу, прессованный окатыш, уголь и различные осадочные пород и пористых сред будут существенно различаться. Малый диаметр пор угля (10–100 нм) приводит к значительному снижению скорости диссоциации и скорости выделения метана из образца. Реальные природно-технические процессы нестационарны и неравномерны, и это необходимо учитывать при моделировании газовых процессов. гидратная диссоциация. Кинетика диссоциации газогидратов определяется не только движением фронта диссоциации, но и плотностью пор и их распределением по размерам по всему объему гранул. При моделировании неизотермической диссоциации при отрицательных температурах необходимо учитывать теплообмен, кинетику фазового превращения и фильтрацию газа через пористую среду. Для совершенствования технологии длительного хранения и транспортировки газогидратов требуется более точное моделирование кинетики диссоциации. Так и будет позволяют снизить стоимость техники. Эффективность хранения повышается при сохранении прочности льда корки при температуре, максимально близкой к температуре плавления льда. Представленная модель предполагает квазистационарные термические условия, т.е. медленное изменение температуры порошка во времени. При высоких скоростях нагрева или охлаждения и толстый слой порошка или пористой породы необходимо решить уравнение теплопроводности для твердого и газовых фаз, и это является предметом дальнейших исследований. Для повышения точности моделирования, дополнительные экспериментальные необходимы исследования для определения распределения пор и получения экспериментальной зависимости плотности пор от температуры при самоконсервации, а также при приближении к температуре плавления. Такой подход к моделированию важен для решения проблем хранения и транспортировки газогидратов и повышения эффективности технологии. Это также важно для оценки риска взрыва при перевозке сырья в танкерах.

Литература:

1. Редер Г. и соавт. Транспортировка гранул гидрата метана с использованием эффекта самоконсервации: технико-экономический анализ. Энергии 5, 2499–2523 (2012).
2. Чон З. Р., Ян С. Х. Б., Бабу П., Линга П. и Ли Х.-С. Обзор гидратов природного газа как энергетического ресурса: перспективы и проблемы. Прикладная энергия 162, 1633–1652 (2016).
3. Слоан, Э. Д. Фундаментальные принципы и применение гидратов природного газа. Природа 426, 353–359 (2003).
4. Ховарт, Р. В., Инграффеа, А. и Энгельдер, Т. Природный газ: следует ли прекратить гидроразрыв? Природа 477, 271–275 (2011).
5. Кеннеди, М., Дэвид Мровка, Д. и Крис фон дер Борх, Прекращение действия Snowball Earth путем дестабилизации метанового клатрата экваториальной вечной мерзлоты. Природа 453, 642–645 (2008).
6. Дрессельхаус М. с. и Томас И. Л. Альтернативные энергетические технологии. Природа 414, 332–337 (2001)

Возобновляемые источники сырья. Биотопливо

Семенов Константин Сергеевич, студент
Ухтинский государственный технический университет

В данной статье рассматриваются некоторые виды возобновляемых источников энергии, в т.ч. рассмотрено понятие биотоплива, приведена некоторая характеристика биомассы, биоэтанола и т.д. Показана статистика резкого увеличения в нефтяной отрасли биоэтанола и других экологически чистых источников сырья. Сделаны некоторые выводы.

Ключевые слова: биомасса, биотопливо, биоэтанол, энергия.

Renewable sources raw materials. Biofuels

Keywords: biomass, biofuel, bioethanol, energy.

Менее чем за два десятилетия мощность новых возобновляемых источников энергии, включая солнечную, ветровую, биомассу, в целом увеличились в несколько десятков раз. По данным Инновационного центра «Сколково», мощности НВИЭ 2000 г. было 56 ГВт и 2018 г.— 1179 ГВт. Их доля в выработке электроэнергии составила 3,4% в 2006 г. 10,5% на

конец 2018 года. При этом окончательно фактические объемы ввода возобновляемого сырья в год энергетическая структура оказалась выше прогнозируемой. Распространение такого быстрого производства тепла и электроэнергии за счет использования возобновляемых источников энергии связано, в основном, с нестабильностью рынка нефти.

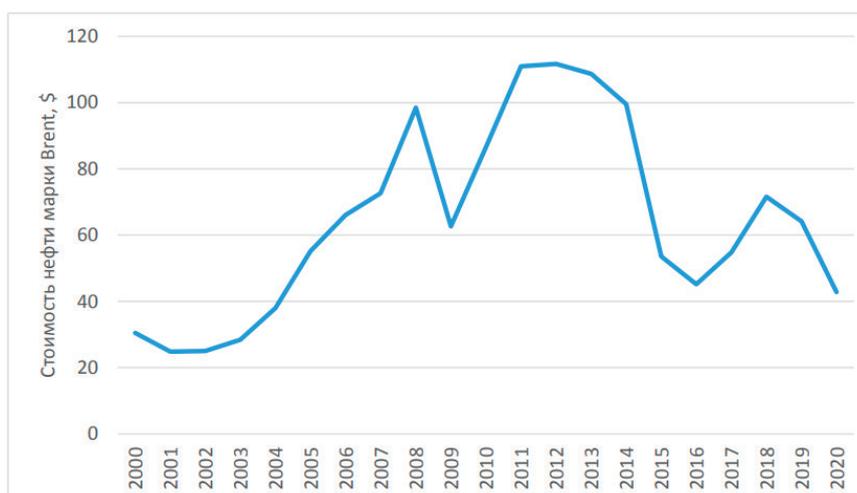


Рис. 1. Динамика мировых цен на нефть

Как видно из графика на рисунке 1, динамика цен нефти марки Brent была очень волатильной в течение последних нескольких лет. Динамика цен на основные виды топлива из углеводородного сырья по данным Санкт-Петербургской товарно-сырьевой биржи 2014–2019 годы показывают уверенный рост. Стоимость автомобильного бензина Нормаль-92 в указанный период увеличилась с 35 840 руб./т до 43 774 руб./т, а стоимость бензина Регуляр-95 — от 37 682 руб./т по 45 851 руб./т. Дизельное топливо всех марок так же выросло в цене, летнее — с 30 643 руб./т по 46 203 руб./т, межсезонное — с 31 420 руб./т по 45 661 руб./т, зимнее — с 33 299 руб./т по 50 026 руб./т. К концу 2020 года цены на дизельное топливо в России выросли на 1,7%. При этом, согласно оценке Росстата, бензин в стране подорожал в среднем на 2,3–2,7%. Удержать рост стоимости топлива ниже уровня инфляции позволил специальный компенсирующий механизм. Более того, по мнению экспертов, дополнительное давление на цены оказало внезапное сокращение спроса на нефтепродукты в период коронавирусной пандемии.

Приведенные данные усиливают глобальную тенденцию поиска альтернативных возобновляемых источников топливной энергии, что может помочь, с одной стороны, обеспечить энергетическую безопасность и избежать рыночной зависимости сырой нефти, с другой стороны, значительно улучшить экологическое состояние окружающей среды (ОС). Продвижение возобновляемых источников энергии является ключевой концепцией в Евростратегии (ЕС) как по экономическим, так и по экологическим причинам. Эта энергия способствует достижению целей, поставленных Киотским протоколом, и, кроме того, позволяет получать различные социально-экономические выгоды, такие как создание новых мест для сотрудников, ди-

версификация энергетики, создание сильной отечественной промышленности и региональные и местное развитие.

Биомасса широко используется в мире для производства биотоплива (биодизеля и биоэтанола). Производство биоэтанола растет огромными темпами за счет наличия свободных ресурсов и экономической целесообразности их добычи. За 13 лет, прошедших с 2007 г., мировое производство этанола на основе возобновляемого сырья увеличилось более чем в два раза, достигнув по данным 2019 г. 109,86 млрд литров. В данный момент около 26% этанола получают из сахарного тростника, 64% — производится из кукурузы, 3% из пшеницы 3% из мелассы и остальное из других зерновых, маниоки или сахарной свеклы.

Директива о возобновляемых источниках энергии также ускорила замену ископаемого топлива биотопливом в связи с защитой климата в Евростратегии. Так, например, первое место по производству биоэтанола принадлежит Франции, а второе место занимает ФРГ, 3–4 места принадлежат Польше и Венгрии соответственно. В 2019 году всего в странах ЕС было произведено около 5,6 единиц. млрд литров биоэтанола и 82,3%, или 4,61 млрд тонн топлива было использовано. Остальная часть нашла свое применение в пищевой и химической промышленности.

В 2019 году мировой рынок биоэтанола достиг 43,2 млрд долларов США, а к 2025 году ожидается, что он достигнет \$64,8 млрд. В мире имеются значительные ресурсы этанола, страны в значительной степени вовлечены в процесс получения биотоплива, особенно в России. Здесь имеются свободные мощности для производства 250 тыс. тонн этилового спирта в год, в т.ч. половина из возобновляемых источников.

Таблица 1. Получение биоэтанола из различных зерновых культур

Культура	Урожайность т/га	Выход биоэтанола	
		%	л
Пшеница	2-3	20	400-600
Картофель	20-30	8	1600-2400
Топинамбур, в том числе стебли	70-110	6-12	5460-9100
клубни	40-60	6	2460-3600
	30-50	10-12	3000-5500

В таблице 1 представлены результаты исследований выхода биоэтанола из различных культур. Развитие отрасли производства биодизельного топлива определяется также наличием свободной сырьевой базы растительных масел, мировое производство которых неуклонно растет. (по данным мирового баланса спроса и предложения растительных масел Oil World).

В настоящее время примерно 77% биодизельного топлива состоит из растительных масел (37%), 27% соевого масла, рапсового масла и 9% пальмового масла или отработанных растительных масел (23%). Более современные технологии производства позволяют использовать целлюлозное сырье. Несмотря на то, что в России ежегодно производят только деревообрабатывающие предприятия более 70 млн м³, могут быть обработан-

ными также другие виды отходов сырья. Для этого для целей применяют термические процессы, наиболее эффективным из которых является быстрый пиролиз (термическая деструкция без окислителя 450 – 550 °С, высокая скорость нагрева 500 – 1000 °С/с и очень короткое время пребывания продуктов площадь реакции до 2–3 с). При сравнении, материальные балансы процесса быстрого пиролиза древесины, куриный помет, торф, навозная подстилочная масса, грязь осадка сточных вод, элева-торные отходы, наибольшее количество жидкого продукта образуется при обработке древесины (65%). Полученный продукт можно использовать в качестве котельного топлива без предварительной подготовки и после дальнейшей обработки. — как биодизель.

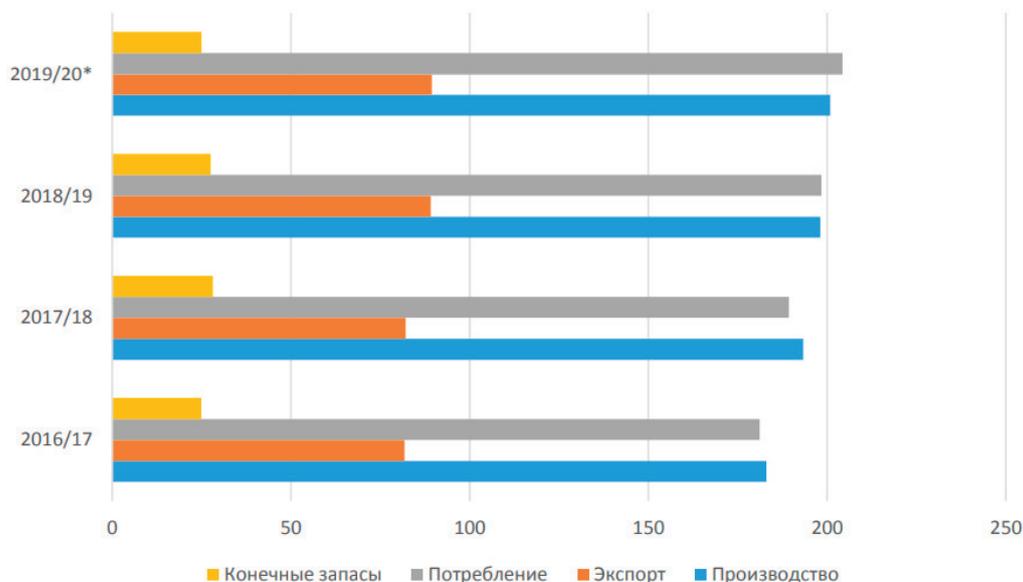


Рис. 2. Баланс мирового спроса и предложения растительных масел (млн тонн)

Сахарный тростник и кукуруза будут по-прежнему доминировать в качестве исходного сырья для этанола [15]. Ожидается, что к 2029 году на производство этанола будет приходиться 25% и 14% мирового производства сахарного тростника и кукурузы соответственно. Ранее он был предпочтительным сырьем для

ЕС, Канады и производства биодизеля в США. По прогнозным данным, ожидается к 2027 г. 12,9 млрд литров производства биодизеля, 13,5 млрд литров в 2017 году и 14 млрд литров в 2020 году. Таблица цен в долларах гектолитр (100 литров) для биодизеля, этанола и сырья для их производства показано на рисунке 3.

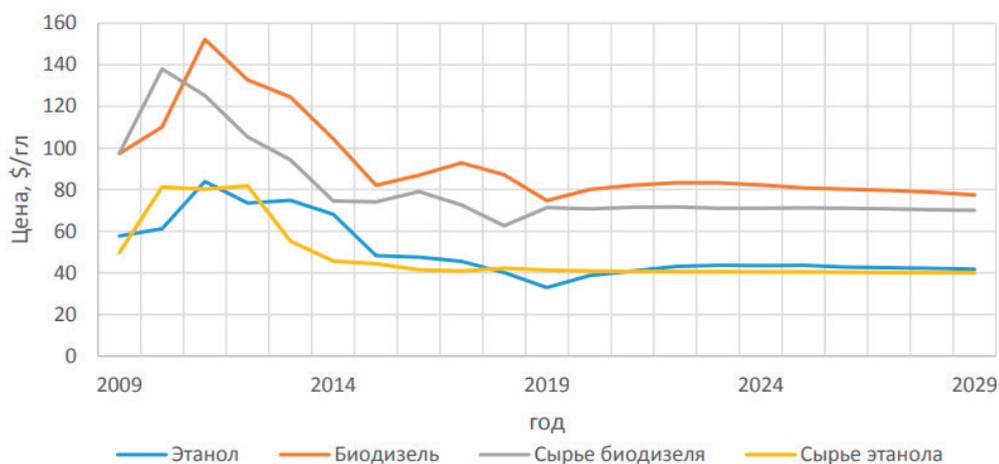


Рис. 3. Динамика цен на этанол, биодизель и исходное сырье

Важная роль в формировании цен на биоэтанол есть в налоговом законодательстве. Например, страны Евросоюза поощряют производителей к расширению полностью очищенного биотоплива и платят за это налог. В РФ такая правовая база производства биотоплива, в настоящее время находится на этапе развития. В ЕС Директива о возобновляемых источниках энергии (RED II) классифицирует биодизель на основе пальмового масла как категорию риска с высоким уровнем косвенного риска.

Бразильский закон *RenovaBio* направлен на сокращение выбросов топлива на 10% к 2028 году. Ожидаемый результат — по-

вышенное потребление этанола и биодизеля. При этом расчетный расход биодизеля будет соответствовать общему потреблению доли дизельного топлива и этанола в потреблении.

Китай разрабатывает множество программ по развитию производства биотоплива, финансовых стимулов и национальных стратегий. В Марте 2005 г. Конгресс принял Закон о возобновляемых источниках энергии, который вступил в силу 1 января 2006 года. Это год, в котором помощь была гарантирована. Развитие, продвижение использования биотоплива биомассы, льготные кредиты и налоговые субсидии для выращивания био-

энергетических культур, а также производство оборудования и др. Производство биоэтанола в Китае выросло с 30 тыс. тонн в 2002 г., до 1,9 млн тонн в 2008 г., это выводит Китай в тройку лидеров по величине производителя биоэтанола.

Производство биодизеля в Китае зародилось в начале 2001 года, но оно не смогло найти широкое использование и государственную поддержку. Для продвижения биодизельной промышленности в 2007 году в Китае был введен добровольный стандарт BD100. В настоящее время только обсуждается использование стандартов B5 (GBT 25199–2010) и B10; в настоящее время в Китае нет обязательных требований к смешиванию биодизельного топлива.

Мировые тенденции развития и использования биотоплива подтверждают его проблемы и актуальность. При этом наибольшее внимание привлекает такое сырье как биомасса, занимающая две трети энергии из возобновляемых источников. В своем виде биомасса имеет продукты растительного и животного происхождения, включая различные отходы агропромышленного, сельскохозяйственного и лесохимического комплексов. Она служит ресурсом как газообразных (биогаз, синтез-газ), так и жидких компонентов, имеет большую сырьевую базу для производства и много целей, включая тепло, автомобильное топливо и производство электроэнергии. Главное её преимущество — экологичность — энергия из биомассы производит меньше парниковых газов и углерода,

а также имеет низкое содержание SO_2 в выбросах, который приводит к образованию кислотных дождей. Трудности использования биомассы в качестве сырья производства источников энергии — это высокая стоимость организации процессов получения компонентов из биомассы, а также проблемы ресурсов и хранения.

В статье рассмотрены полученные соединения из биомассы, которая может быть включена в состав обычных моторных топлив как для бензиновых, так и для дизельных двигателей. Большинство новых биокомпонентов могут иметь существенные недостатки, связанные с их физико-химическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. Биогаз, синтез-газ и водород, полученные из органических отходов, могут удовлетворить более 20% мирового спроса на моторное топливо на основе ископаемого газа.

Анализ подтверждает развитие исследований в области топливных компонентов на основе возобновляемого сырья. Применение полученных результатов на практике способствует снижению среднегодовой температуры окружающего воздуха. Вред ОС растет с каждым годом из-за большого количества производимых парниковых газов, включая сжигание моторного топлива. Развитие биотоплива позволит предотвратить глобальный экологический кризис и увеличит долю альтернативных источников сырья в общей структуре топливно-энергетического комплекса.

Литература:

1. А. А. Макаров, Т. А. Митрова, В. А. Кулагин, Прогноз развития энергетики мира и России 2019. ИНЭИ РАН–Московская школа управления Сколково, Москва, 2019, 210с.
2. Н. Jianbai, D. Qian, Z. Hongwei, G. Yaoqi, S. Muhammad Tahir. Nonlinear dynamic correlation between geopolitical risk and oil prices: A study based on high-frequency data. *Research in International Business and Finance*, 56 (2021)
3. (АО «Санкт-Петербургская Международная Товарносырьевая Биржа»: [<https://spimex.com/>])
4. Д. Н. Сафина, И. Ш. Хуснутдинов, А. Г. Сафиулина, Р. Р. Заббаров, А. З. Шангараева. Традиционные и альтернативные источники сырья для получения моторных топлив. *Вестник технологического университета*, 24, 6, 26–40 (2021)

Об освещении рабочих мест как о части производственного процесса

Скорик Юлия Александровна, советник по научным вопросам
ООО «Семантические системы» (г. Москва)

В статье автор показывает важность оценки условий освещения с точки зрения производственного процесса в целом.

Ключевые слова: зрительная работа, интеллектуальное освещение.

Человек получает 40% информации непосредственно через зрительную систему, в получении до 80% информации зрение участвует совместно с другими системами [1]. Стоит ли говорить о важности обеспечения комфортных условий освещения на любом рабочем месте. Вместе с тем, наблюдается существенный разрыв в возможностях современной светотехники (например, появление интеллектуальных систем освещения с возможностью имитации условий естественного освещения) и ролью, которую отводят

освещению при планировании производственной деятельности. Причем, неважно, идет ли речь о создании офисного рабочего пространства или организации условий труда в заводских цехах.

Безусловно, при организации производственных процессов в рамках выпуска продукции освещение относится к вспомогательным процессам [2]. При этом непосредственно зависящие от освещения зрительные функции (например, зрительная работоспособность и зрительное утомление) влияют на произво-

длительность труда, на совершение ошибок, приводящих к увеличению процента брака продукции, и даже возможность возникновения аварийных ситуаций.

Подход к проектированию осветительных установок (ОУ) с появлением научных данных о влиянии динамики ключевых параметров (спектре и уровне освещенности) на работу мозга [3; 4] существенно меняется. С обнаружением органических светочувствительных клеток сетчатки ганглия — ipRGCs (или, по-другому, меланопсинсодержащих ганглиозных клеток сетчатки — МГКС) стало окончательно ясно, что освещение (прежде всего естественное) влияет на синхронизацию биологических ритмов человека и, следовательно, на физиологические, биохимические и поведенческие функции организма. Для объективного подхода к созданию оптимальных сценариев освещения вводятся новые оценочные критерии, например, меланопическая чувствительность [5]. В рамках оценки условий освещения с точки зрения наблюдателя (человека, выполняющего зрительную работу в рамках ращения производственных задач) ставится вопрос о введении единого интегрального критерия. Для решения данной научной задачи автором разработана универсальная методика оценки влияния условий освещения на функциональные характеристики наблюдателя [6]. Методика оценки состояния наблюдателя (прежде всего его зрительных функций зрительного утомления и показателей зрительной работоспособности) испытывалась в условиях реального производственного предприятия, в офисной его части, где наблюдатели выполняли напряженную зрительную работу по подготовке и проверке чертежей. Хотя это и не являлось целью исследования, было отмечено, что с улучшением условий освещения, с применением динамики, повторяющей естественное освещение, по субъективным оценкам наблюдателей существенно выросла мотивация к труду на рабочем месте, увеличилась эффективность работы (снизилось время на выполнение поставленных задач, уменьшилось количество ошибок). Анализ данных говорит о том, что при применении подхода к улучшению качества освещения на производстве непосредственно на линиях выпуска продукции, можно повысить эффективность выпуска продукции. Тем более, что с современными методами диспетчеризации предприятий данную эффективность можно измерить и оценить.

Современная высокотехнологичная ОУ отражает принципы интеллектуального освещения: обеспечение необходимых уровня освещенности на рабочей, обобщенного показателя дискомфорта и коэффициента пульсации, учёт доли и спектра естественного освещения в течение дня, расположение рабочих мест, продолжительность нахождения наблюдателя в помещении, возможность получения данных о состоянии ОУ, ее дистанционного управления и связи с автоматизированной системой управления зданием. ОУ интеллектуального освещения позволяет решить следующие задачи:

- обеспечение комфортных условий работы наблюдателей в неблагоприятных с точки зрения распределения естественного освещения регионов (20% территории РФ находится за полярным кругом [7]);

- обеспечение комфортных условий работы наблюдателей, по роду деятельности не имеющих доступ к естественному ос-

вещению (космонавты, подводники, ряд военных специалистов и т.п.);

- увеличение срока активной жизни, мотивации и лояльности высококвалифицированных специалистов, подготовка которых требует как материальных, так и существенных временных затрат;

- снижение зрительного утомления (как следствие, промахов и ошибок) и повышение работоспособности наблюдателей, занятых напряженной зрительной работой.

Разработан подход к проектированию и применению ОУ интеллектуального освещения — освещение, направленное на человека, или Human Centric Lighting [8]. В рамках этой концепции реализуются проекты по внедрению ОУ с изменяемыми уровнем освещенности на рабочей поверхности и коррелированной цветовой температуры как параметра, отражающего изменение спектрального состава видимого излучения.

К сожалению, в силу высокой стоимости (несмотря на тенденции к снижению) чаще всего освещение с данными изменяемыми параметрами применяется в небольших помещениях офисного типа.

Всё же рассматривать создание световой среды необходимо совместно с выстраиванием рабочих процессов предприятия. При всей эффективности интеллектуального освещения с точки зрения повышения работоспособности, снижения утомляемости, перспективы увеличения активного срока жизни сотрудников его неуместно проектировать и реализовывать в помещениях с низкими требованиями к точности зрительной работы или непродолжительным нахождением сотрудников (например, в зоне отгрузки готовой продукции). В то же время такой действенный способ сбережения электроэнергии, как установка датчиков движения, будет неэффективен в офисной части производства, где постоянно находятся сотрудники, выполняющие систематическую работу за экранами мониторов персональных компьютеров. Назначение помещений, время нахождения сотрудников, необходимость работать с новыми средствами учета (например, с экраном планшета мастеру цеха) в результате оптимизации рабочих процессов предприятия может корректироваться. Именно поэтому такой важный вспомогательный (с точки зрения производства) процесс, как организация освещения рабочих мест на предприятии должен учитываться не в виде отдельной задачи, а как часть решения проблемы по повышению эффективности работы предприятия в целом.

Оценка эффективности освещения производственных помещений постепенно выходит за рамки простого расчета энергоэффективности применяемых источников света. Разрабатываются и применяются методики оценки освещения производственных помещений с точки зрения не просто энергосбережения, но и влияния улучшения количественных и качественных характеристик ОУ на зрительную работу, а, следовательно, на производительность труда [9]. С привлечением к работе светотехников специалистов в сфере управления производственными процессами, технических средств и возможностей специалистов в сфере информационных технологий возможно разработать и внедрить принципиально новое восприятие освещения с точки зрения выстраивания производственных процессов.

Литература:

1. Auyang S. Y. What do you see, and how? The cognitive infrastructure of vision. — 1999.
2. Бикулова Е. Н. Производственный процесс и принципы его формирования //Тенденции развития науки и образования. — 2018. — № . 44–2. — С. 15–16.
3. Wong K. Y., Dunn F. A., Berson D. M. Photoreceptor adaptation in intrinsically photosensitive retinal ganglion cells //Neuron. — 2005. — Т. 48. — № . 6. — С. 1001–1010.
4. Мирзоева Д. В., Большакова О. В. Меланопсин-содержащие ганглиозные клетки сетчатки //Advanced science. — 2017. — С. 184–187.
5. CIE International Standard CIE026:2018 CIE system for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light, Vienna, 2018.
6. Скорик Ю. А. О влиянии освещения светодиодами и его динамики на зрительные функции и общее состояние наблюдателя //Светотехника. — 2020. — № . 1. — С. 27–30.
7. Красулина О. Ю. Арктическая зона Российской Федерации: особенности природно-экономических и демографических ресурсов //Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. — 2016. — № . 4 (48). — С. 51–58.
8. Houser K. W. et al. Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? //Lighting Research & Technology. — 2021. — Т. 53. — № . 2. — С. 97–118.
9. Железникова О. Е., Сеницына Л. В., Агеев С. Н. Методология исследований эффективности светодиодного освещения производственных помещений //Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. — 2017. — С. 239–244.

Теплообменный аппарат для газоперекачивающих станций, работающих с использованием синтез-газа

Устинов Филипп Дмитриевич, инженер-конструктор первой категории;
Белов Кирилл Иванович, кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор;
Мухина Светлана Дмитриевна, кандидат технических наук, начальник отдела
«Опытно-конструкторское бюро имени А. Люльки» филиал ПАО «ОДК УМПО» (г. Москва)

В статье рассмотрены способы охлаждения синтез-газа, получаемого непосредственно на перекачивающей станции, с целью его дальнейшего использования в топливной смеси для ГТД.

Ключевые слова: теплообмен, синтез-газ, камера сгорания.

Достичь высокой эффективности процесса горения можно, применяя такое топливо, как водород. Традиционные виды углеводородного топлива имеют значительно худшие показатели процесса горения, чем водород. Но в современных условиях водород — это наиболее дорогой из существующих видов топлива, ввиду сложности хранения и транспортировки [1].

В настоящее время крупнотоннажное производство водорода и водородосодержащих продуктов осуществляется в мире путем риформинга природного газа в синтез-газ (смесь водорода и СО), которую осуществляют тремя известными способами: паровой конверсией (паровой риформинг), углекислотной конверсией (сухой риформинг) и парциальным окислением (окислительная конверсия) [2]. В зависимости от методик соотношения СО: Н₂ в синтез-газе (СГ) варьируется от 1:1 до 1:3.

Повышение энергетической и экологической эффективности — одно из основных направлений совершенствования современных двигателей. Двигатель ОКБ им. А. Люльки АЛ-31СТ мощностью 16 МВт широко применяется для привода газоперекачивающих станций. Привод на основе АЛ-31СТ может перека-

чивать до 36 млн кубометров природного газа в сутки и обеспечивать топливом до 2,5 тысяч многоквартирных домов в год. [3]

Для снижения вредных выбросов оксидов азота NOx и окиси углерода СО при работе газотурбинного двигателя АЛ-31СТ планируется для питания двигателя использовать топливную смесь, состоящую из 30% синтез-газа и 70% природного газа. Водород и окись углерода существенно улучшают устойчивость горения бедных по составу смесей с относительно низкой температурой горения, и, следовательно, с низкими выбросами оксидов азота NOx.

В установке ОКБ им. А. Люльки для получения синтез-газа используется метод парциального окисления. Часть природного газа, подаваемого в камеру сгорания, поступает в генератор синтез-газа, где путем воздушной каталитической конверсии в химическом реакторе преобразуется в синтез-газ, содержащий водород Н₂ и окись углерода СО. Каталитические блоки химического реактора изготовлены в Институте катализа им. Борескова. Для поддержания необходимого режима работы химического реактора, необходимо разогреть катали-

тической блок до температуры $T=800\div 950^{\circ}\text{C}$. В результате испытаний генератора для получения синтез-газа зафиксированы следующие значения концентраций элементов синтез-газа: $\text{H}_2=23\div 29\%$, $\text{CO}=14\div 17\%$, $\text{O}_2=0,1\div 0,9\%$. После успешных испытаний химического реактора было принято решение о создании оборудования, предназначенного для дозирования топливной смеси и подачи его в камеру сгорания двигателя АЛ-31СТ.

Особенностью проведения химической реакции по получению синтез-газа в реакторе является необходимость разогревать газовое топливо до температур $800\div 950^{\circ}\text{C}$. Данную температуру не способна выдержать трубопроводная арматура,

устанавливаемая после генератора синтез-газа. Поэтому было принято решение о создании теплообменного аппарата понижающего температуру газа до приемлемой для применяемой трубопроводной арматуры, то есть не выше 300°C [4].

Были предложены методы охлаждения с помощью воздуха, с помощью воды, а также рассматривалось использование тепловой машины с синтез-газом в качестве рабочего тела. Анализ вариантов выполнялся с учетом коэффициента теплопередачи, гидравлического сопротивления, прочности и надёжности, технологичности, массогабаритных характеристик и простоты эксплуатации оборудования.

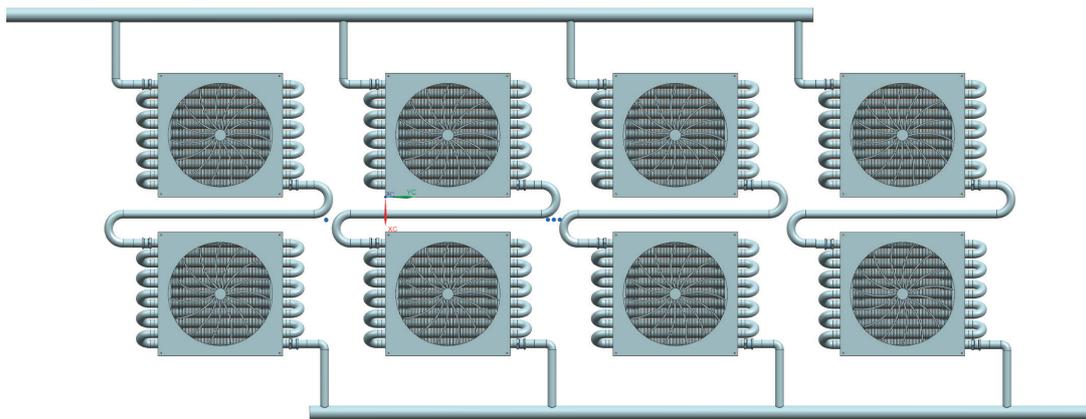


Рис. 1. Воздушный теплообменный аппарат

Первоначально расчеты были сделаны для воздушного теплообменного аппарата, используя методику из справочника [5]. Теплообменник представлял собой сборку из 4 параллельных ветвей по 2 секции. Каждая секция состояла из двух рядов по шесть трубок с оребрением. Таким образом, каждая секция имела 12 заходов в зону теплообмена. Схематично теплообменный аппарат изображен на рис. 1. На каждой секции устанавливался воздуходувный вентилятор, обеспечивающий поток воздуха достаточный для эффективного охлаждения синтез-газа. Для упрощения конструкции ребра принимались кольцевыми, в виде шайб, установленных на трубу теплообменника. Такая конструкция не только увеличивает эффективность теплообмена, но и упрочняет стенки трубок. Однако, использование воздуха для охлаждения синтез-газа приводило к сложностям при монтаже и эксплуатации такого теплообменника. Использование тепловой машины с синтез-газом в качестве рабочего тела имеет сложности как в конструировании такого механизма, так и в дальнейшем его обслуживании в связи с высокой температурой и химической активностью синтез-газа. Оптимальным оказалось использование для охлаждения воды ввиду технологичности и простоты.

Для охлаждения водой спроектирован теплообменный аппарат следующей конструкции (см. рис. 2). Поток СГ разделяется на три ветви. В каждой ветви синтез-газ проходит через две однотипные секции. В первой секции организовано течение теплоносителей по схеме прамоток, во второй секции — по схеме

противоток. Таким образом, теплообменный аппарат состоит из 6 теплообменных секций. Секции представляют собой однозаходный кожухотрубный теплообменник, в трубках которого течёт синтез-газ, вода течёт внутри кожуха и омывает трубки. Для разбиения и перемешивания воды внутри кожуха установлены две перегородки. Общая схема секции показана на рис. 3. Соотношения для расчёта данных секций взяты из справочника [5]. При проектировании теплообменника уделено внимание задаче устойчивости режима теплообмена и недопущения кризиса. Для решения этой задачи использовались методики из справочника [6].

Благодаря такой схеме теплообменного аппарата расчётная температура газа после теплообменника составила около 240°C .

На данный момент проведены испытания одной секции аппарата для верификации расчетной модели. Из-за взрывоопасности водород не применялся, вместо него использовался разогретый воздух. Температура воздуха выбиралась исходя из возможностей нагревателя испытательного стенда. Воздух, имитирующий синтез газ, подавался через горизонтально расположенные штуцеры, охлаждающая вода через вертикально расположенные штуцеры. Поток воздуха внутри теплообменника разбивается на 14 потоков — 14 трубок с горячим воздухом внутри. Трубки омывались снаружи водой и воздух внутри 14-и трубок охлаждался. Общая схема потоков теплоносителей представлена на рис. 4 без подводных конусов со стороны газообразного теплоносителя.

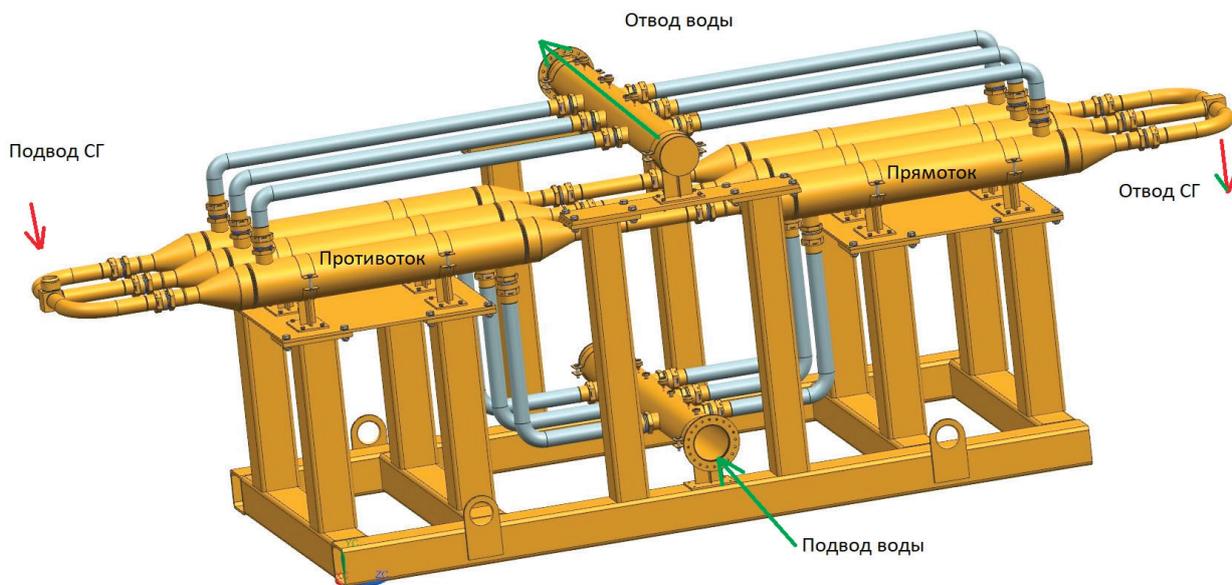


Рис. 2. Водяной теплообменный аппарат на раме

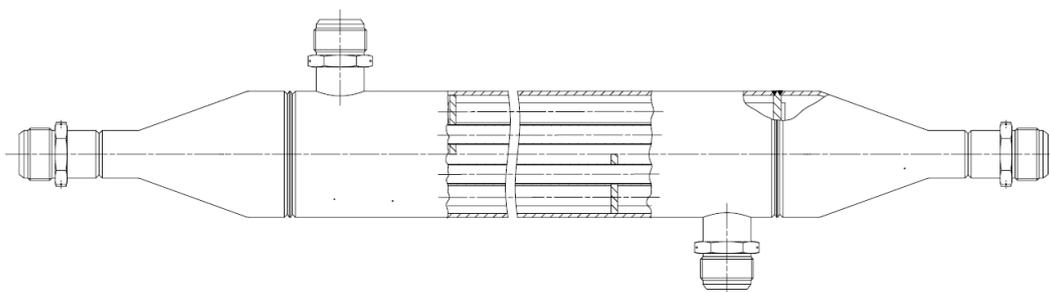


Рис. 3. Секция водяного теплообменного аппарата

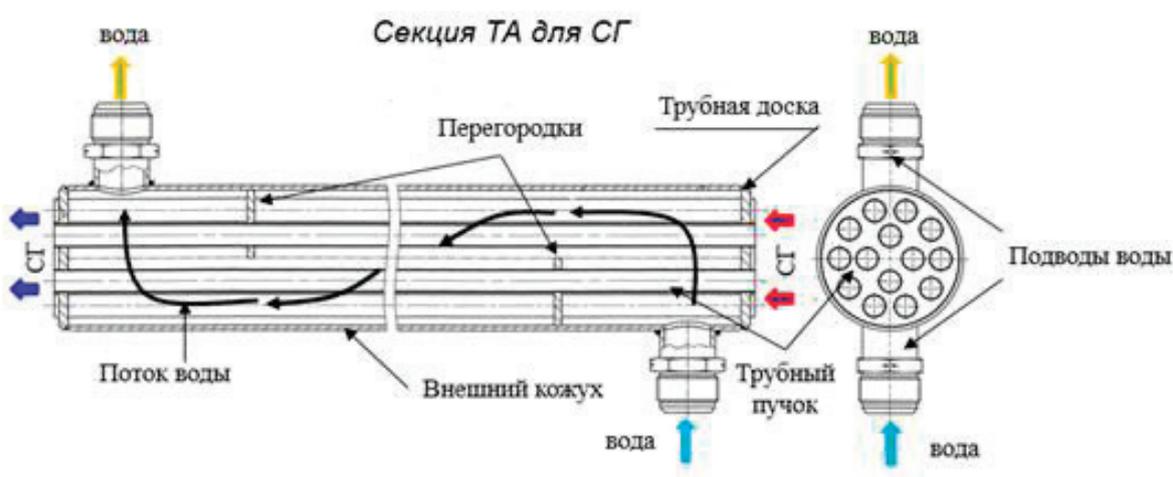


Рис. 4. Схема токов теплоносителей в секции водяного теплообменного аппарата

Расчётная модель была модифицирована по результатам проведенных экспериментов. Зависимость полученных значений КПД η одной секции теплообменника от соотношения водяных эквивалентов теплоносителей (W_g — водяной эквивалент

газа, W_w — воды) показана на рис. 5. Сплошными линиями показана зависимость η при изменяющемся расходе газового теплоносителя, а пунктирными линиями — при изменениях расходов воды. КПД теплообменной секции вычислялся по формуле

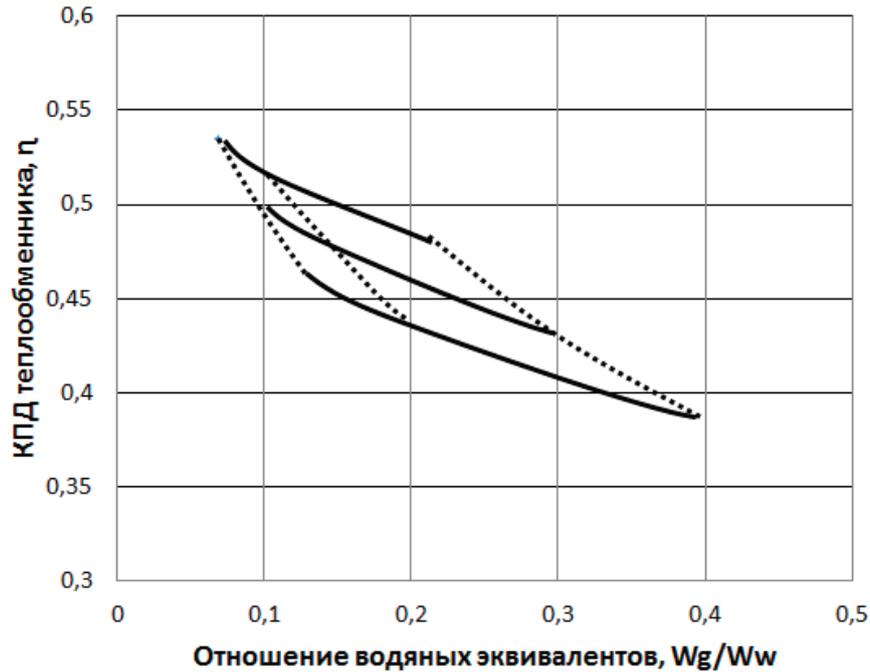


Рис. 5. Характеристики одной теплообменной секции

$$\eta = \frac{\Delta T_{\text{теплоноситель}}^{\text{макс}}}{\Delta T_{\text{максимальное}}}$$

где $\Delta T_{\text{теплоноситель}}^{\text{макс}}$ — максимальное изменение температуры теплоносителя в теплообменнике, $\Delta T_{\text{максимальное}}$ — максимальный располагаемый перепад температур в теплообменнике.

В ближайшее время планируются натурные испытания газоперекачивающего агрегата на основе газотурбинного двигателя АЛ-31СТ при работе на топливной смеси природного газа и синтез-газа, получаемого на встроенной в агрегат установке.

В случае успешных испытаний газоперекачивающего агрегата при работе на смеси с синтез-газом, блок охлаждения будет оптимизирован для увеличения сроков службы и технологичности.

Литература:

1. Яновский Л. С., Байков А.В., Ведешкин Г.К., Харин А.А., Шевченко И.В. Оценка возможностей снижения эмиссии вредных веществ в продуктах сгорания посредством конверсии углеводородного топлива, «Проблемы энергетики» № 9–10, 2003 год.
2. Макарян И. А., Седов И.В., Никитин А.В., Арутюнов В.С «Современные подходы к получению водорода из углеводородного сырья». «Научный журнал российского газового общества» № 1 (24), 2020 г.
3. Rostec.ru/ufimskie-dvigateli-progressa/
4. Справочник «Промышленное газовое оборудование» изд. 6 перераб. и доп., под ред. Е. А. Карякина, НИЦ промышленного газового оборудования «Газовик», 2013 год, — 326с.
5. Справочник по теплообменникам. В 2-х томах. Т1: Пер. с англ. Под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. М: Энергоатомиздат, 1987г — 560с.
6. Кириллов П. Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам. Под общей ред. П. Л. Кириллова. М: Энергоатомиздат, 1990, — 360с.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

3D-печать зданий

Терещенко Виолетта Павловна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Данная статья посвящена трехмерной печати зданий, опыту строительства 3D-объектов.

Ключевые слова: *трехмерная печать, органическая архитектура, 3D-моделирование, 3D-принтер.*

Реализация новых идей, которые упрощают жизнь, ускоряют долгий процесс работы, уменьшают трудоемкость, является приоритетом во всех сферах деятельности человека. Сейчас прогресс не стоит на месте, он затронул и сферу строительства. В данном направлении имеется множество материалов, которые совершенствуются из года в год, а также создаются абсолютно новые, ранее не виданные. Однако и сами методы строительства не уступают в прогрессе, уже сейчас существуют мобильные эко-дома, энергоэффективные здания, которые могут производить энергию как для собственного функционирования, так и для соседних построек, многоэтажные или большепролетные деревянные объекты, о которых ранее не думали, а сейчас строительство таких домов возможно благодаря прогрессу. Один из самых интригующих методов возведения зданий — это трехмерная печать. «Распечатайте мне дом» — фраза, которую, скорее всего, в ближайшем будущем можно будет услышать в обычной строительной фирме, ведь никто раньше даже не представлял, что можно просто напечатать дом, а сейчас это не просто идея, а уже целые построенные объекты.

Данная технология, при помощи которой любое изделие, любой формы наращивается из исходного материала, который зависит от конечного назначения объекта, по цифровой модели. Для зданий используют цементно-песчаный раствор, предварительно смешанный специальной машиной, что уменьшает трудоемкость строительства. Но главное преимущество такого процесса — это скорость, а она, в условиях быстрорастущих городов, выступает важнейшим показателем.

Органическая архитектура — это течение архитектурной мысли, которое впервые сформулировал Луис Салливан. Он рассмотрел положения эволюционной биологии, где имеется соответствие функции и формы в философском смысле. Термин «органическая архитектура» может иметь весьма различное смысловое наполнение. Чаще всего архитекторы, которые творят в этом стиле, вдохновляются природными формами: ракушками, панцирями, рогами. Не стоит забывать, что без проектировщиков данные проекты не были бы воплощены, необходимо разработать объемную модель. Благодаря

3D-моделированию и вычислительным машинам этот процесс значительно упрощается; а благодаря печати на новых 3D-принтерах еще и ускоряется почти в два раза.

Органическая архитектура подразумевает не подражание природным формам, а следование природе в поисках конкретных, каждый раз индивидуальных путей разрешения проблемы. Она как бы подсматривает в природе формы для создания уникальных зданий со сложной геометрической составляющей, а если рассмотреть 3D-дома, то и способ строительства, например, у пчёл.

Иркутская компания Aris Cor, которую основал Никита Чен Юн Тай, получила свое название как раз благодаря пчёлам (aris в переводе с латыни означает «медоносная пчела»). Пчелы строят соты при помощи наплавляемого воска, поэтому их называют лидерами по 3D-печати в природе. Пчелы строят улей изнутри, слой за слоем. Циркулярный принтер Aris Cor полностью повторил их технологию производства.

Сейчас в этом доме никто не живёт, он является выставочным экспонатом, но именно он запустил «цепочку»: теперь много крупных строительных компаний закупили у Aris Cor 3D-принтеры, чтобы печатать дома уже «конвейером». Профессор Берок Хошневис из университета Южной Калифорнии разработал 3D-принтер, который может построить дом площадью 250 кв. м. Идею реализовали в Дубае (Объединенные Арабские Эмираты) — самом быстро растущем городе мира. Именно там появилось первое в мире здание, созданное при помощи 3D-печати.

Ещё в 2005 году в одном из журналов написали: «Представьте, что над стройплощадкой возвышается большой робот, который послойно создаёт дом, выдавливая бетон на его растущие стены, как пасту из тубика. Он может появиться в не столь уж далёком будущем. Уже построен прототип, способный «нарисовать» бетонную стену примерно 1,5 на 1,5 метра». «Если вы научились делать стену, вы сможете сделать и дом», — логично рассуждает автор изобретения, профессор Берок Хошневис (Behrokh Khoshnevis) из университета Южной Калифорнии (University of Southern California).

Робот, которого построил Хошневис, называется «Контурный каменщик», а развиваемая технология — «Контурное строительство». Несмотря на все предыдущие достижения, первый в Европе и странах СНГ жилой дом, напечатанный на 3D-принтере, построили в России, а точнее в Ярославской области, площадь в почти 300 квадратных метров. По некоторым данным, он является не только первым в Европе и СНГ «напечатанным» жилым домом, но еще и самым большим зданием, построенным с применением технологии строительной 3D-печати.

По словам представителя группы компаний «СПЕЦАВИА» — Евгения Тарбеева, дом был напечатан всего за один месяц в 2015 году, оставалось выполнить его внутреннюю отделку. На этом этапе строительство прервалось, из-за возникших у заказчика трудностей его пришлось на время отложить. За этот месяц была полностью напечатана коробка здания, напечатали её по частям и смонтировали на заранее отлитом фундаменте. Летом 2017-го года завершили устройство крыши и внутренняя отделка этого дома.

Технология производства всё же отличается от описанной выше: печать производилась в цеху на самом маленьком принтере частями (стены дома, башню, декоративные элементы, через принтер здесь не прошли только крыша и фундамент), после их везли на стройплощадку и собирали как конструктор. Фундамент и крыша дома строились по традиционным технологиям. По подсчетам компании, строительство обошлось примерно в 1,5 раза дешевле, за счет автоматизации производства и исключения человеческого фактора.

Строительная 3D-печать схожа с обычной: в выбранной программе создается 3D-модель будущего здания или сооружения, загружается в специально разработанную для этих целей программу, и принтер воссоздает модель. Технология заключается в экструзии бетонной смеси по периметру заданной модели. Толщина стен закладывается сразу, принтер печатает наружную и внутреннюю стенки, они растут равномерно, остальное пространство заполняется раствором после того,

как напечатанные стены приобретут необходимую прочность. Печатают новоизобретенным материалом Saltygloo, но можно и самым обычным пескобетоном, скорость печати составляет примерно 100 квадратных метров за 100 часов [1]. Такой дом можно возвести за две недели даже с учетом изготовления материалов в цеху. Сама сборка стен занимает не больше трех дней. Применяемая технология — технология контурного строительства. Чем быстрее строительство — тем выше на нём производительность труда. Это всегда будет актуально. Строительство будущего — это быстрое и точное строительство с минимизацией рисков, поэтому технология 3D-строительства — это технология будущего, а точнее уже настоящего, которое делает нашу жизнь максимально комфортной.

1. В Европейском союзе сейчас реализуется программа под названием «Деревянная Европа», в рамках которой до 2020 года доля жилой недвижимости из дерева должна составлять не менее 80 процентов.

2. Для Райта понятие «органическая архитектура» означало не подражание природным формам, а гармонию с окружающей средой. Здание должно не выделяться из пейзажа, как какое-то инородное тело, а «вырастать из него подобно растению и гармонично сочетаться с окружением, как если бы сама природа создала его». Каждый проект уникален, потому что разработан для конкретного места и конкретных людей, — вырванный из контекста, он не сможет существовать.

3. Экструзия (от англ. *extrusion* — выталкивание, выдавливание)

4. «Контурное строительство» (англ. *Contour Crafting*) — инновационная технология в строительстве, позволяющая без ущерба для эксплуатационных качеств конечной продукции автоматизировать самый трудоемкий этап строительства — возведение несущих и ограждающих конструкций, и в потенциале прокладку инженерных сетей, отделочные работы. Развитием этой технологии занимается доктор Бехрох Хошневис из Университета Южной Калифорнии [2].



Рис. 1. Apis Cor 3D принтер [4]

Литература:

1. NEWS2 Экономика, <https://news2.ru/story/531466/>.
2. КАРТАСЛОВ.РУ <https://kartaslov.ru/карта-знаний/Контурное+строительство>.
3. Mobile 3D printer can build an entire house in just 24 hours <https://mashable.com/video/lowcost-house-3d-printed-in-a-day>.
4. Российский производитель строительных 3D-принтеров привлёк до \$6 млн от фонда «Системы» и «Роснано» — <https://vc.ru/finance/26597-apis-cor-6m>.

Использование альтернативных источников энергии в сфере современного строительства

Терещенко Виолетта Павловна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Данная статья посвящена решению такой глобальной проблемы как обеспечение человечества электроэнергией. По мере того, как стремительно увеличивается население нашей планеты, растет и потребность людей в электричестве и других видах энергии. Развитие новых технологий оказывает огромное влияние на динамику роста количества потребляемой энергии. В статье рассматривается применение альтернативных источников энергии в современном строительстве. Работа включает в себя анализ некоторых примеров, таких как: «Гелиотроп» (англ. Heliotrop, 1993–1995) в Германии, «Вращающаяся башня» (англ. Dynamic Tower) в Объединенных Арабских Эмиратах, «Активный дом» (2011) в России.

Ключевые слова: электроэнергия, солнечные батареи, солнечные коллекторы, ветряные турбины.

Введение

В XXI веке из-за скорости развития мира и повышения потребностей человечества электроэнергетика встает практически на первое место среди важнейших отраслей для жизни человека. Все города без остановки затрачивают огромное количество энергии для нужд человека. В данном ресурсе нуждаются все предприятия, фирмы, заводы, фабрики, аэропорты, вокзалы, магазины, больницы, пожарные части, и этот список можно продолжать бесконечно, но количество энергоресурсов ограничено. Прогресс в сфере строительства дошел до того, что можно запроектировать и воплотить в жизнь такое здание, которое сможет самостоятельно обеспечить себя всем необходимым, полностью или частично. Данные результаты достигаются путем разработки решений с точки зрения архитектуры и строительства.

«Здание нулевого потребления»

Первый пример такого решения «Гелиотроп» — это дом, который производит энергию в несколько раз больше, чем потребляет. Свое название он получил в честь цветка «*Heliotropium*», что в переводе означает «тот, кто поворачивается за солнцем», его архитектурный облик полностью оправдывает свое название. Данный проект еще называют «Солнечный дом» или «Вращающийся дом». Здание построено в Германии, на окраине города Фрайбург, в 1993–1995 гг. Идея строительства этого полностью самодостаточного дома принадлежит архитектору Рольфу Дишу. Дом может вращаться вокруг своей оси, поворачиваясь за Солнцем. «Гелиотроп» стоит на железобетонной опоре, напоминающей стебель. Внешне такое сооружение напоминает дерево.

Про такой дом часто говорят: «Здание нулевого потребления энергии». То есть это дом, который вырабатывает самостоятельно электроэнергию для собственного функционирования, и так же «Гелиотроп» отдает городу больше энергии, чем тратит. Сам дом почти полностью состоит из дерева, что позволяет облегчить конструкцию вращения. Фасад здания, который постоянно пребывает в тени, оборудован высокой степенью теплоизоляции стен. Комнаты, расположенные на другом фасаде, оснащены большими окнами со специальными стеклами,

которые в зимнее время пропускают солнечное тепло, а летом его отражают [1]. В холодный период весь дом нагревается за 7 минут. На балконах находятся солнечные коллекторы, они служат, как для ограждения, так и в качестве устройства для сбора тепловой энергии солнца. Коллекторы представляют собой вакуумные стеклянные колбы, внутри которых находятся металлические трубы, по которым течет жидкость — теплоноситель. Солнечный свет нагревает ее, и затем она поступает в большой резервуар внутри дома, дальше жидкость попадает в обогреватели, расположенные на потолках комнат, а также ее используют в качестве воды на кухне и ванной. На крыше дома возвышается солнечная батарея площадью 54 квадратных метра. Она вращается, что позволяет ей выполнять свою главную задачу — всегда быть направленной на солнце. Солнечная батарея состоит из тонких пластин чистого кремния. На кремневую пластину сначала наносится небольшое количество бора, а затем фосфора. В слое кремния с фосфором возникают свободные электроны, а в слое с бором образуются «дырки», то есть отсутствующие электроны. Когда на батарею попадает квант свет, в ней начинается движение частиц из одного слоя в другой, то есть возникает электрический ток. Чем больше площадь солнечной батареи, тем она мощнее. Благодаря этой солнечной панели дом получает электричество, а избыточная энергия поступает в электросеть района города.

Вращающаяся башня

«Dynamic Tower» или Вращающаяся башня — это проект итальянского архитектора Девида Фишера, представляющий собой небоскрёб будущего, каждый этаж которого может поворачиваться на 360 градусов, независимо от остальных этажей. Вращение происходит при помощи голосовых команд, так же есть возможность поменять скорость или совсем остановить вращение. Каждый этаж может быть запрограммирован таким образом, чтобы вращение происходило вслед за солнцем. Здание будет иметь 80 этажей, примерно 420 метров в высоту. Это первый 4D-небоскрёб в мире.

Конструкция этого сооружения принадлежит к такому направлению, как кинетическая архитектура. Это особый вид архитектуры, когда полностью всё здание, либо его отдельные элементы могут двигаться независимо друг от друга.



Рис. 1. «Гелиотроп» [2]

Такое направление имеет три основных особенности:

- форма здания, которая приспосабливается к таким природным явлениям как солнце и ветер;
- динамические методы строительства. При возведении здания используют только сборные элементы;
- сочетание современных технологий. Кинетические здания способны производить энергию для автономного питания благодаря энергии солнца и ветра.

Все три особенности нашли отражение в проекте Вращающейся Башни Дэвида Фишера. Основу конструкции данного сооружения составляет монолитный бетонный стержень, на который будут насаживаться отдельные части этажей, состоящие из металла, которые предварительно собраны на заводе в Италии. Каждый из 80 спроектированных этажей — это самостоятельное сооружение, способное вращаться вокруг своей оси. Между вращающимися этажами будут установ-

лены ветряные турбины, с помощью которых здание будет обеспечиваться электроэнергией. Суть работы ветрогенераторов заключается в преобразовании кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию. Такое устройство работает при скорости ветра от 1 м/с до 28 м/с [3].

Со слов самого архитектора: «Небоскребы обычно сильно страдают от ветра, и я подумал, что можно заставить ветер работать на нас, поэтому решил установить между этажами ветряные турбины», то есть зданию в 80 этажей понадобится 79 турбин, полностью управляемых ветром».

Согласно расчетам, всего 7 турбин из 79 хватит чтобы обеспечить все здание электропитанием. Избытки планируется отдавать городу. Таким образом, здание тратит только ту энергию, которую само вырабатывает.



Рис. 2. Вращающаяся башня [4]

Первый «активный дом» в России

В 2011 году был построен первый в России «активный дом». Это дом с эффективным использованием природных энергоресурсов. Такой результат достигнут благодаря правильным техническим расчетам. Коттедж спроектирован таким образом, чтобы иметь максимальную площадь фасада с южной стороны

и минимальную с северной [1]. Окна располагаются на южном, восточном и западном фасадах. Здание оснащено программой «умный дом», что позволяет автоматически затемнять стекла при переизбытке света, и приоткрывать окна для проветривания помещений. Стены имеют высокую степень теплоизоляции. Внешние конструкции дома имеют толщину 60 сантиметров. На крыше здания расположены солнечные коллекторы, к которым



Рис. 3. Первый «активный дом» в России [5]

подводится вода. От попадания солнечных лучей жидкость в коллекторе нагревается и поступает в коттедж для эксплуатации. Таким образом, дом полностью обеспечивает себя водой и отоплением. Однако, создать сооружение, которое бы полностью снабжало себя электроэнергией в России невозможно из-за погодных условий. А также из-за отсутствия возможности отдавать излишнюю электроэнергию в центральную сеть. По этим причинам в доме нет солнечных батарей, и было решено подключить его к централизованному энергоснабжению.

На сегодняшний день термин «энергосбережение» звучит все чаще и чаще. Очень часто можно встретить энергосберега-

ющие лампы, автоматические счетчики воды и электричества, и многое другое. Все это направлено на экономию энергоресурсов. Поэтому эта тема весьма актуальна на закате нефтяной эры. Люди ищут новые источники энергии, поэтому дома с почти нулевым расходом энергии могут по праву называться первопроходцами в сфере ресурсосбережения. Разумеется, ещё очень далеко до того момента, когда такие сооружения прочно укоренятся в массовой застройке. Однако мы находимся на старте новейшего времени, когда сами здания смогут вырабатывать энергию и обеспечивать своих жильцов всеми необходимыми энергетическими благами.

Литература:

1. Д. Холлоуэй. Пассивный солнечный дом: проектирование. Пер. с англ. О. Б. Меньшинин, 2006.
2. Гелиотроп — автономный дом, который вращается за солнцем, <https://fshoke.com/2015/09/04/geliotrop-avtonomnyj-dom-vrashhaetsya-za-solncem/>.
3. Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. В. Альтернативные энергоносители. Изд. Наука, Москва, 2004 г.
4. Вращающийся дом в Дубаи, <https://dubai-life.info/1280-dynamic-tower-dom-v-dubai/>.
5. Первый «активный дом» в России, <https://realty.rbc.ru/news/577d317e9a7947a78ce97ded>.

Работа древесины в сейсмических районах

Терещенко Виолетта Павловна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье автор рассматривает использование древесины в сейсмических районах на основе предыдущего опыта строительства и отнесение древесины к экологичным, энергоэффективным и сейсмостойким материалам, применяемым при строительстве при условии правильного проектирования и возведения.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, сейсмических районы, землетрясение.

Древесина обладает рядом преимуществ перед другими материалами при эксплуатации в сейсмических районах, такие как, малый удельный вес, высокая прочность на изгиб, а все недостатки могут быть уменьшены с помощью использования современных технологий.

В странах, где дерево издавна применяется в сейсмических районах, в том числе и особенно в Российской Федерации, из-

вестны строительные методы, приемы и целые системы мер, которые повышают сейсмоустойчивость деревянных конструкций и зданий и могут считаться традиционными (народными) антисейсмическими мероприятиями [1].

На протяжении многих десятков лет деревянные дома сибирской рубки были способны выдерживать землетрясения 7, 8 и более баллов, о чем свидетельствует свод сведений о земле-

трясениях на территориях Удинска, Верхнеудинска, Улан-Удэ. Аналогичная ситуация наблюдалась при обследовании более 800 деревянных зданий после землетрясения 1849 г. в г. Верном (Алма-Ата) и во время Итурупского землетрясения 1958 г. [2].

В местах землетрясения сравнивались здания из различных материалов, таких как кирпич, железобетон, дерево, благодаря исследованиям выяснилось, что сооружения, построенные из древесины, показали меньшие повреждения. В Японии также проводились исследования по работе древесины в сейсмических районах, был разработан деревянный дом высотой в 7 этажей, который выдержал землетрясение магнитудой 7,5 по шкале Рихтера. Дом получил совсем незначительные повреждения.

В 2003 году в Республике Алтай произошло землетрясение силой 8 баллов по шкале Рихтера большинство деревянных домов уцелело, тогда как кирпичные постройки были разрушены.

Секрет работы деревянных конструкций в сейсмических районах знают уже давно, например, пагода «Восточная» является одной из самых древних деревянных конструкций на Земле, построена в конце VIII в.н.э. Высота чуть больше 34 м. Для того чтобы здание смогло выдержать все нагрузки от землетрясений в центре была предусмотрена деревянная колонна 1 м в диаметре, она в свою очередь соединена с более жесткими конструкциями стен. И при землетрясении вместе данная конструкция гасила колебания.

Пагода «Фогунсы Шицзята», высотой чуть больше 67 м, построенная в 1056 году. Для противодействия толчкам в соединениях использованы 60 видов пространственных догунов, они придают гибкость конструкции. На крыше пагоды имеется гаситель колебаний

Самое же интересное заключается в том, что на крыше пагоды имеется небольшая кирпичная площадка, на которой установлена тяжёлая металлическая ступа. Эта конструкция представляет собой самый настоящий, с современной точки зрения, гаситель колебаний. При землетрясении обычно движется нижняя часть сооружения, верхнюю же удерживает сила инерции, находящейся в покое массы сооружения, в данном случае площадка со ступой.

Особенностью проектирования деревянных домов в сейсмических районах являются анкерные соединения, которые соединяют конструкцию дома с фундаментом. Соединения выполняются на болтах или нагелях, так как сварные соединения не терпят динамических нагрузок.

Необходимая общая пространственная жесткость в деревянных зданиях достигается за счет грамотной планировки, где продольные и поперечные стены обеспечивают правильную работу всего здания. Так же требуется низкая и легкая кровля.

Но по результатам обследований были выявлены и серьёзные повреждения, которые могут появиться после сильных подземных толчков. В бревенчатых домах — это трещины в углах домов, сдвиг зданий относительно фундаментов, перекос сруба, деформация пазов. В сборно-щитовых домах — это выпадения стен из щитов; раскрытия швов между щитами; недостаточной жесткой связи с основанием; отсутствия в уровне перекрытий антисейсмических поясов. Влияние на долговечность

деревянных домов так же оказывают процессы гниения, неблагоприятное состояние грунтового основания.

В одноэтажных деревянных зданиях при расчетной сейсмичности 7 и 8 баллов допускаются столбчатые фундаменты в виде деревянных ступьев. Они устанавливаются под всеми углами и пересечениями стен и через 2–3 м по длине стен.

Стойки ступьев должны выполняться, предпочтительно, из комлевых частей деревьев, все части ступьев необходимо антисептировать (например, путем обжига и последующей обмазки битумом). Дополнительно ступья должны быть соединены с обвязкой подкосами на болтах.

Деревянные стены всех видов должны быть конструктивно замкнутыми сверху и внизу по всему их контуру. Для этого в рубленых стенах над большими проемами и под ними следует выполнять проходные цельные венцы (балки); таким же образом соединяют противоположные поперечные коротыши в продольных стенах, устраиваемые для укрепления последних при увеличенных расстояниях между поперечными стенами. В каркасных и щитовых зданиях следует предусматривать обвязки и антисейсмические пояса.

В рубленых бревенчатых стенах для предотвращения смещения при горизонтальных сейсмических воздействиях венцов относительно друг друга и других деформаций в плоскости и из плоскости стен необходимо выполнять комплекс традиционных противосдвиговых мер, применяемых в русской (сибирской) рубке. Нельзя выполнять облицовку рубленых стен кирпичом или камнем.

В каркасных стенах основными направлениями необходимого комплекса антисейсмических мер, помимо обеспечения их прочной и неизменной связи с фундаментом, должны быть: увеличение жесткости стен в своей плоскости, усиление связи элементов каркаса в узлах и всего каркаса с перекрытиями, повышение надежности крепления заполнения стен к каркасу.

Жесткость каркасных стен в своей плоскости следует повышать постановкой раскосов и косой обшивкой. В двухэтажных каркасных зданиях, для обеспечения прочности и неизменности скрепления верхнего и нижнего этажей, помимо раскосов и общей для этажей косой обшивки, следует предусматривать также и специальные крепления.

Расстояние между поперечными стенами принимают равным 6–8 м во избежание стыков брёвен в пролётах, а расстояние между продольными стенами назначают не более 5–6 м. В тех случаях, когда расстояния превышают перечисленные необходимо устраивать дополнительные меры, которые повышают общую пространственную жесткость, связь между стойками и перекрытиями и др., например, путем устройства коротышей. Конструктивные мероприятия, обеспечивающие сейсмостойкость деревянных зданий, зависят от применяемой конструкции остова.

При проектировании сборно-щитовых домов для сейсмических районов необходимо соблюдать следующие общие требования: обеспечение пространственной жесткости коробки здания в целом; центрирование нижней обвязки относительно фундамента и надёжная связь с ним и т.п. Сейсмостойкость каркасных зданий может создаваться за счет использования в качестве заполнителя стен легких материалов, постановки раскосов и косой обшивки в плоскости стен, обеспечения прочной и не-

изменной связи с фундаментом, соединения элементов каркаса между собой и др.

Таким образом можно сказать, что на сегодняшний день деревянные дома хоть и не являются самыми популярными в строительстве, но точно являются экологичными, энергоэф-

фективными, а также из-за своей легкости, прочности наиболее благоприятно ведут себя при сейсмических воздействиях, при правильном проектировании и возведении. Еще с давних времен применялись деревянные конструкции в зонах с повышенной сейсмической активностью.

Литература:

1. Указания по антисейсмическим мероприятиям в деревянных конструкциях и зданиях, возводимых, в республике Бурятия - <https://docs.cntd.ru/document/1200050951>.
2. Известия Петербургского университета путей сообщения http://izvestiapgups.org/assets/pdf/03_2005.pdf
3. Иванова, Ж. В. Обеспечение надежности и безопасности деревянных зданий, применяемых для строительства в сейсмоактивных районах / Ж. В. Иванова. — Текст: электронный //: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-nadezhnosti-i-bezopasnosti-derevyannyh-zdaniy-primenyaemyh-dlya-stroitelstva-v-seysmoaktivnyh-rayonah?ysclid=I5dw622gz3588229892> (дата обращения: 10.07.2022).

Сушка древесины и внутренние напряжения при сушке

Терещенко Виолетта Павловна, студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В этой статье автор рассматривает процесс сушки древесины и возникающие в процессе внутренние напряжения.

Ключевые слова: сушка древесины, процесс сушки, древесина, пиломатериалы, внутренние напряжения, покоробленность, усушка, силовая секция, временные напряжения.

Сушка древесины — это процесс удаления влаги из древесины. Она позволяет предохранить древесину от биоразрушения, продлевает срок службы. Имеется несколько способов сушки, например, естественная — это медленный процесс, требуется специальное место, где древесина не будет подвержена воздействию осадков и солнечных лучей. Влажность при таком способе достигает 18%. Так же возникает минимальное количество трещин, но процесс может длиться несколько месяцев. Инфракрасная сушка — быстрый процесс с рядом преимуществ. Сохраняет целостность и структуру древесины, процесс длится всего 3–7 дней. Инфракрасные камеры экономичны, но имеют недостатки, возникает плесень, так как отсутствуют воздушные потоки. Вакуумная сушка — универсальный способ с использованием камеры с вакуумом, процесс исчисляется не днями, а часами. Не происходит растрескивание пиломатериалов, а также удаляется смола. Такие камеры пожаробезопасны, но минусами являются дороговизна аппаратуры и затраты на электроэнергию, поэтому такие камеры не пользуются большим спросом. Конденсационная сушка — древесины сохнет при использовании печи и холодильного оборудования, влага удаляется конденсатом, это оптимальное сочетание стоимости и качества, но данный метод не рационален при сушке небольших пиломатериалов, таких как опилки, дрова и т.д.

Одним из самых популярных способов сушки является сушка в специальной камере. Процесс длится около недели, можно достичь 7% влажности благодаря данному способу. Но также имеются и свои недостатки, например неравномерное просушивание, в следствии чего — разрушение материала. Сам

процесс сушки древесины в камере представляет собой укладку пиломатериалов в штабеля. Необходимо, чтобы элементы были одинаковой толщины в разрешенных пределах, иначе возникает большая величина покоробленности.

Покоробленность — это дефект, при котором древесины меняет свою изначальную форму изгибается в разных направлениях, уменьшается прочность, поэтому уменьшается сорт пиломатериала, ухудшается внешний вид, усложняется обработка. Допускается укладывать доски с разной шириной, но необходимо это учитывать, главное условие — одинаковая толщина. Все пиломатериалы должны иметь приблизительно одинаковую влажность.

После равномерно по всему штабелю устанавливаются дистанционные датчики влажности. Датчики имеют различные иголки в зависимости от толщины пиломатериалов. Далее контролер в автоматическом режиме определит, когда необходимо завершить процесс сушки. К штабелям подается пар через увлажнительные трубы. Температура воздуха не должна превышать 100°C. Далее начинается сам процесс сушки, температура, влажность, работа вентиляторов различаются.

Внутренние напряжения в древесине при сушке (любого вида) возникают из-за неравномерного выхода влаги из толщи древесины, они не зависят от воздействия на тело внешних нагрузок, возникают из-за внутренних неоднородных деформаций. Такие напряжения, возникающие в древесине при сушке, называются временными.

Когда влажность наружных слоев древесины перейдет за предел точки насыщения волокна, и они начнут усыхать, а во

внутренних слоях, где влажность 30% усушки еще нет, то наружные слои окажутся в состоянии недопущенной усушки и будут растянуты, а внутренние — сжаты [2].

При неправильном проведении сушки внутренние напряжения могут достигать и нередко достигают предела прочности древесины, что приводит к нарушению ее целостности (растрескиванию). Так как древесина в нагретом состоянии пластична, то наружные слои доски могут высохнуть в растянутом состоянии и в дальнейшем, сохраняя свои размеры и форму, будут противодействовать усадке внутренних слоев доски, когда последние прогреются и тоже начнут усыхать. Тогда во внутренних слоях возникнут растягивающие напряжения, которые в свою очередь могут привести к образованию внутренних трещин [1]. Чаще подвержены растрескиванию доски твердых лиственных пород, обладающих большой усушкой. Стоит отметить, что если в доске

не появилось внутренних трещин, а по визуальному признаку она осталась целой, но в материале имеются напряжения, такую доску признают дефектной, дальнейшее использование невозможно.

В камере просыхание доски начинается с наружных слоев, в то время как внутренние слои еще не прогрелись и не начали сохнуть. Если влажность наружных слоев древесины перейдет за предел точки насыщения волокна, и они начнут усыхать, а во внутренних слоях, имеющих влажность выше 30%, усушки еще не будет, то наружные слои окажутся в состоянии недопущенной усушки и будут растянуты, а внутренние — сжаты [2]. В этих случаях говорят, что в древесине возникли напряжения.

Для обнаружения напряжений необходимо вырезать из контрольной доски силовую секцию и после раскалывания анализируется изгиб полосок. Силовая секция — секция, выпиленная из доски для выявления напряжений. Рассмотрим рисунок 1.

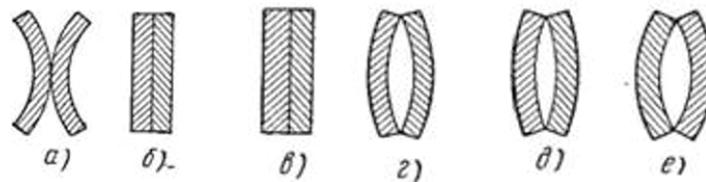


Рис. 1. Развитие напряжений в древесине [1]

- а)** — если извлечь из сушильной камеры доски и вырезать из нее силовую секцию, которую сразу же расколоть на две полоски, то произойдет изгиб наружу, **б)** — после сушки на солнце происходит выпрямление секций, **в), г)** — выгиб в противоположную сторону, обычно наблюдается на средних стадиях сушки, внутренние напряжения уравниваются временными, которые сохраняются в наружных слоях, **д), е)** — изгиб полосок сразу же после раскалывания, далее становится только больше.

Для устранения временных напряжений, которые возникают в начале сушки необходимо оперативно повысить относительную влажность сушильного агента в камере, чтобы прекратить усадку наружных слоев доски, пока древесина не прогреется по всей толщине. Для устранения постоянных напряжений, которые возникают во второй половине процесса сушки, необходимо повысить температуру и относительную

влажность сушильного агента, чтобы за счет интенсивного влажного прогрева древесины повысить ее пластичность и дать возможность усадки наружным слоям, которые в первом периоде сушки оказались растянутыми [1]. Необходимо помнить, что относительная влажность воздуха не должна превышать 100%, иначе это усугубит положение, пиломатериалы разбухнут, и напряжения увеличатся.

Литература:

1. Мастерская своего дела — <https://msd.com.ua/sushka-drevesiny/napryazheniya-voznikayushhie-v-drevesine-v-processe-sushki-i-ix-preduprezhdenie/>.
2. Напряжения, возникающие в древесине в процессе сушки, и их предупреждение — <https://ru-ecology.info/>

ГЕОЛОГИЯ

Технология обработки призабойной зоны пласта с отклонителями

Аль-хамати Амин Хамид Мохаммед Абдулла, студент магистратуры;
Аль Малави Абдул Азиз Мохаммед Мохаммед Ахмед, студент магистратуры
Удмуртский государственный университет (г. Ижевск)

В последние годы проблема увеличения нефтеотдачи пластов стала одной из самых важных в нефтегазовой промышленности. Вот уже два-три десятилетия в России и за рубежом при разработке нефтяных месторождений широко применяют поддержание пластового давления путём закачки воды в продуктивные горизонты. Однако данный метод в большинстве случаев малоэффективен. В России методом заводнения добывается около 95% нефти, но в связи с тем, что большинство месторождений уже находятся на поздней стадии разработки, доля воды в добываемой жидкости превышает 80%. Около 60–70% нефти остается в пласте при вытеснении водой. Из них 40–50% — нефть, зацементированная в порах, 20–30% — нефть в зонах с пониженной проницаемостью и в ловушках. Запасы вновь вводимых месторождений относятся к трудноизвлекаемым. Доля трудноизвлекаемых запасов нефти в России составляет более 60%.

Ключевые слова: ОПЗ, технология, отклонитель, кислота.

Technology of processing bottomhole zone formation with deflectors

In recent years, the problem of enhanced oil recovery has become one of the most important in the oil and gas industry. For two or three decades in Russia and abroad, in the development of oil fields, the maintenance of reservoir pressure by pumping water into productive horizons has been widely used. However, this method is ineffective in most cases. In Russia, about 95% of oil is produced by flooding, but due to the fact that most of the fields are already at a late stage of development, the proportion of water in the produced fluid exceeds 80%. About 60–70% of oil remains in the reservoir when displaced by water. Of these, 40–50% is oil trapped in pores, 20–30% is oil in zones with reduced permeability and in traps. The reserves of newly commissioned deposits are hard-to-recover. The share of hard-to-recover oil reserves in Russia is more than 60%.

Keywords: SCR, technology, diverter, acid.

Увеличение объёмов закачиваемой кислоты в терригенном коллекторе не приводит к пропорциональному росту эффективности, что обуславливает необходимость применять кислотные составы с применением отклонителя для блокировки поступления кислоты в высокопроницаемый интервал и обработки низкопроницаемого пропластка.

В скважину спускается струйный насос с пакером и кислотной вставкой. Далее закачивается последовательно отклонитель на основе ПАВ вязкостью 400 сП и кислотный состав. Вязкий отклонитель блокирует поступление кислоты в более проницаемые каналы призабойной зоны и увеличивает поступление в менее проницаемые. После закачки всего объёма реагирование 4 часа с последующим освоением струйным насосом с целью извлечения продуктов реакции. Затем производится щадящее глушение (рисунок 1).

Критерия применения:

— Неоднородный пласт, сложенный пропластками с различной проницаемостью (скважины, вскрывающие перфорацией несколько пропластков, а также скважины после ЗБС);

— Система ППД в районах проведения работ должна быть сформирована согласно проекту разработки месторождения (система ППД должна компенсировать отборы жидкостей от планируемых мероприятий);

— Наличие заколонного цемента (необходимо наличие заколонного цемента и хорошее сцепление с э/к для исключения риска образования ЗЦ).

В случае необходимости кислотной обработки менее проницаемых пропластков (путем временного блокирования более проницаемых), производится кислотная обработка с отклонителем, в следующей последовательности:

1. закачка отклонителя (концентрация — 11кг/м³, объем определяется в зависимости от геолого-технических характе-

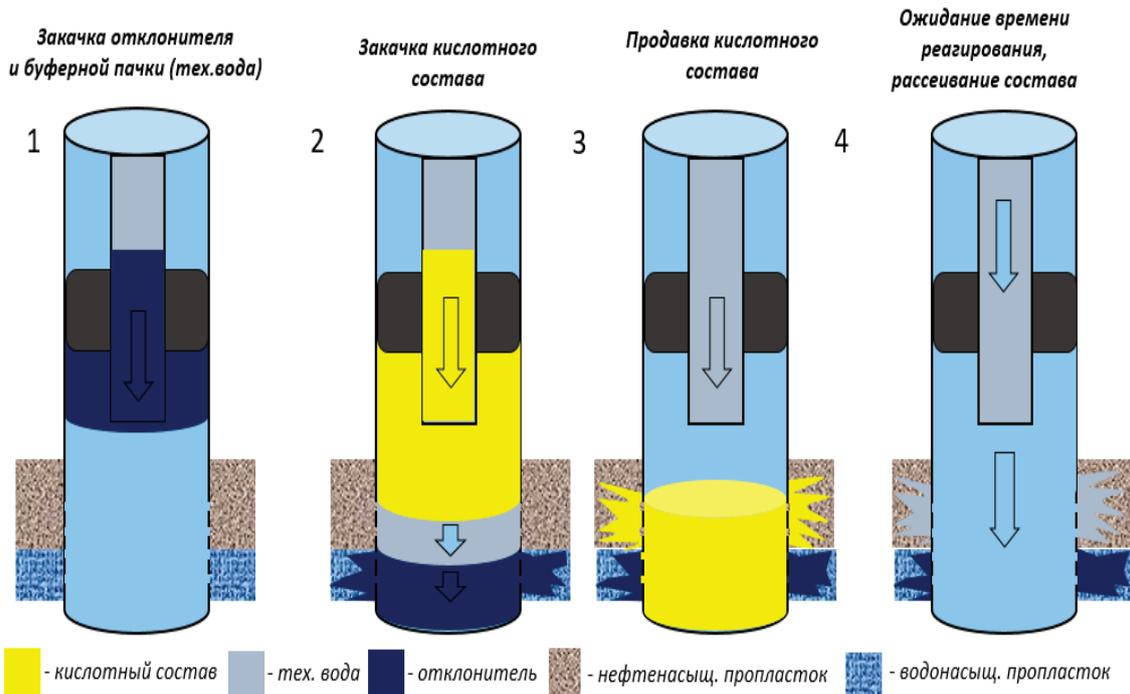


Рис. 1. ОПЗ с отклонителями

ристик скважины, от мощности потенциального поглощающего интервала)

2. полимеризация отклонителя (0,5 час);
3. закачка буферной пачки на основе тех. воды (для 146 Э/К — 3 м³);
4. производится закачка кислотного состава и продавка тех водой;
5. ожидание времени реагирования (1,5–2ч);
6. рассеивание кислотного состава по пласту.

R-120 применяется в качестве высоковязкого потокоотклонителя при кислотной обработке неоднородных по характеристикам интервалов пласта с целью воздействия на менее проницаемые зоны при пластовой температурой от 20° до 120°. В основе технологии ОПЗ с потокоотклонителем R-120 лежит способность реагента многократно увеличивать вязкость после закачки его в пласт. Образующийся в результате гель создает отклонение потока последующих кислотных пачек к ранее не-

обработанным участкам продуктивного пласта (трещины ГРП). В результате достигается равномерная кислотная стимуляция продуктивных интервалов пласта (восстановление эффективной длины трещины ГРП).

Приготовление R-120 осуществляется на скважине при помощи СИН-32, ЦА-320 и смесителя эжекторного типа, путем смешения необходимой концентрации сухой смеси «PS-120» с технической (пресной) водой (рисунок 2).

При закачке отклонителя производится подача тех. воды с СИН-32 в мерную ёмкость ЦА-320. Между СИН-32 и ЦА-320 устанавливается эжекторное устройство, через которое производится подача отклонителя. В мерной ёмкости происходит перемешивание состава и мгновенная подача в скважину. Набор вязкости происходит во время движения отклонителя в НКТ (со средним расходом жидкости 2,3–4л/с, время движения по НКТ (гл. 2300м) — 30–50мин, вязкость при входе в ИП — 600–900 сПз) (рисунок 3).

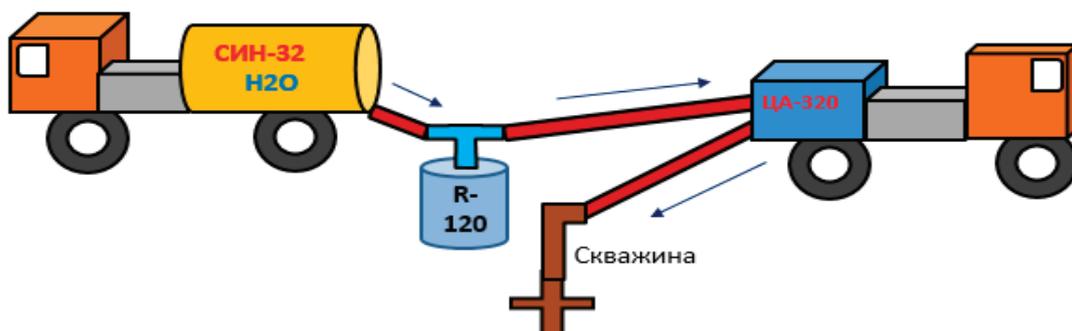


Рис. 2. Схема закачки потокоотклоняющего состава



Рис. 3. Схема проведения ОПЗ с применением отклонителя R-120

В 2021 г фактически выполнено 4 операции. Скв. 10811 пл. АВ1(1–2) запускной прирост нефти составил 7,4 т/сут; скв. 6598Б пл. БВ10(0) запускной прирост нефти составил 1,5 т/сут; скв. 16065 пл. АВ1(1–2) запускной прирост нефти составил 3,9 т/сут;

скв. 20384 пл. АВ2–3 запускной прирост нефти составил 2,9 т/сут. Дополнительная добыча нефти составила 0,8 тыс.т. Технология признана успешной. Дальнейшее тиражирование проекта планируется по результату мониторинга выполненных операций.

Литература:

1. Земцов Ю.В. Эффективность физико-химических МУН в Западной Сибири/ Ю.В. Земцов //доклад Всеросс. науч.-прак. конференции «Трудноизвлекаемые запасы углеводородов: настоящее и будущее», 21–22 сен. 2017 г. /Тюмень.
2. Шелепов В.В. Методы интенсификации добычи нефти и газа: учебное пос. Москва: ООО «Буки-Веди», 2020. С. 328

ЭКОЛОГИЯ

Преувеличение последствий повышения радиационного фона. Часть 2

Яргин Сергей Вадимович, кандидат технических наук, доцент
Российский университет дружбы народов (г. Москва)

Эта статья подводит итог ранее опубликованному [1–3]. После аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) появилось множество публикаций, в которых заболевания жителей загрязненных территорий без достаточных оснований расценивались как радиогенные; ряд работ обсуждался ранее [1–3]. Некоторые данные могут быть объяснены артефактами, например, сообщения о бимодальной зависимости эффекта от дозы в экспериментах и эпидемиологических исследованиях: эффект нарастал при низких дозах, достигая максимума, затем снижался [4]. Во многих эпидемиологических исследованиях не исключены уклоны (bias): интерпретация спорадических заболеваний как радиогенных, выводы о росте заболеваемости без статистически корректного контроля [1; 3] и др. Некоторые исследования с отрицательными результатами не были включены в базы данных и не цитировались в обзорах [5]. Обсуждались также другие систематические ошибки и искажающие факторы [6–9]. В некоторых исследованиях не учитывался естественный радиационный фон (ЕРФ). Как правило, индивидуальные эффективные дозы от ЕРФ находятся в диапазоне от 1,0 до 10 мЗв/год; средние значения по некоторым странам превышают 10 мЗв/год [10; 11]. В среднем по Российской Федерации годовая индивидуальная доза составляет 3,35 мЗв; самый высокий фон среди субъектов Федерации на Алтае — 8,83 мЗв/год [12]. Средняя индивидуальная доза у 6 млн жителей территорий, признанных загрязненными после аварии на ЧАЭС, полученная с 1986 по 2005 г., составила ~9 мЗв [13]. Согласно данным о солидных раковых заболеваниях и лейкемии у выживших после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки (Life Span Study — LSS), наблюдалась положительная корреляция доза-эффект среди всех выживших, получивших <500 мЗв, но статистическая значимость исчезла, когда учитывались только дозы <200 мЗв [14,15]. Дозы <100 мГр при низкой мощности могут вызывать адаптивный ответ, в частности, предохраняющий от опухолевой трансформации [16]. Некоторые корреляции «доза-эффект» могут быть обусловлены дозозависимым отбором и самоотбором, которые наблюдались в разных облученных популяциях [17–19]. Можно предположить, что лица со сравнительно высокими дозами будут более мотивированы на прохождение медицинских осмотров,

причем им будет уделено больше внимания. Поэтому диагностика среди них будет более эффективной. Например, увеличение заболеваемости сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными заболеваниями (ЦВЗ) в зависимости от дозы внешнего облучения среди работников производственного объединения (ПО) «Маяк» (ПОМ) не сопровождалось соответствующим ростом смертности [20–23], что можно объяснить более частой регистрацией легких случаев среди лиц со сравнительно высокими дозами. Избыточный относительный риск на единицу дозы (ИОР/Гр) для лейкозов (кроме хронического лимфолейкоза — ХЛЛ), в когорте ПОМ по данным заболеваемости был выше, чем для смертности [24]. Вероятным объяснением этому может служить более эффективное выявление латентных лейкозов у лиц с относительно высокими дозами. Что касается ХЛЛ, то он часто сопровождается увеличением лимфатических узлов, поэтому реже остается недиагностированным; следовательно, скрининг на ХЛЛ должен быть менее результативным, чем на другие лейкозы. Интересно, что различие по ИОР/Гр между данными по смертности и заболеваемости среди работников ПОМ было больше, чем в когорте реки Теча [25], что, по-видимому, связано с лучшей обследованностью работников по сравнению с жителями прибрежных сел.

Как обсуждалось ранее [3], корреляции доза-эффект между малыми дозами и неопухолевыми заболеваниями ставят под сомнение причинно-следственный характер подобных взаимосвязей для рака, выявленных теми же исследователями. Некоторые данные о повышенном риске рака после облучения в малых дозах вызывают сомнения. Например, сообщалось о значительно повышенном риске рака кожи среди работников ПОМ [26]. В исследовании не исключена систематическая ошибка. Работники и, вероятно, некоторые медики знали трудовой анамнез, на основании которого можно было судить о накопленных дозах, которые, в свою очередь, влияли на качество диагностики. В LSS данные по заболеваемости раком кожи соответствовали порогу ~1 Зв [27]. Кожные дозы в исследовании [26] неизвестны. Работники ПОМ подвергались воздействию преимущественно гамма-излучения, обладающего высокой проникающей способностью. Соответственно,

доля поглощаемой в коже энергии относительно невелика. Неудивительно, что предраковые изменения кожи (актинический кератоз и др.) встречались «очень редко» [26]. С учетом изложенного, причинно-следственная связь между облучением и опухолями кожи в исследовании [26] представляется маловероятной. Результаты других исследований обсуждались ранее [1–3].

В недавнем обзоре по работникам атомной отрасли было высказано предположение, что важные для радиационной защиты данные об эффектах малых доз будут получены в эпидемиологических исследованиях [24]. Ни ЕРФ, ни эксперименты в этой связи не упомянуты не были. Следует подчеркнуть, что надежные данные о биологическом действии малых доз можно получить в крупномасштабных экспериментах на животных. При сравнении когорт из разных регионов необходимо учитывать ЕРФ, иначе дозы в контрольной группе могут оказаться близкими к таковым среди «облученных», например, в сравнительном исследовании пациентов с Украины с контролем из Испании и Колумбии [28; 29] (см. ниже). В Международном исследовании работников атомной отрасли (International Nuclear Workers Study — INWORKS) многие работники получали 2–4 мЗв/год [24], что примерно соответствует дозам от ЕРФ. Средние кумулятивные дозы (красный костный мозг — 17,6 мГр, толстая кишка — 19,2 мГр), накопленные за многие годы (наблюдение 1950–2005 гг.) [30], также сопоставимы с ЕРФ. Ранее отмечалось, что ЕРФ не всегда уделялось должное внимание в эпидемиологических исследованиях [31; 32]. Результаты INWORKS, которые авторы назвали «загадочными» (puzzling) [24], требуют комментария. Избыточный относительный риск солидных раков на единицу дозы (ИОР/Гр) фотонного облучения, стандартизованный (adjusted) по результатам мониторинга нейтронного облучения, оказался примерно на 60% выше, чем без такой стандартизации. Представляется вероятной следующая «разгадка». Стандартизацию по данным нейтронного мониторинга проводили в подгруппе работников, где выполнялся данный мониторинг. Можно предположить, что эти работники были в среднем лучше обследованы, а значит, у них было меньше недиагностированных заболеваний. Следовательно, дозозависимое повышение эффективности диагностики в данном контингенте должно быть менее выраженным. Еще одна «загадка» (perplexing result) [24]: когда анализ ограничивался 83% контингента работников, не подвергавшихся мониторингу по внутреннему облучению радионуклидами, ИОР/Гр для солидных раков оказался на 50% выше, чем среди всех работников. «Разгадка» аналогична: подвергавшиеся мониторингу работники были лучше обследованы, вследствие чего дозозависимое повышение эффективности диагностики среди них было менее выраженным [33]. В диапазоне низких доз ИОР/Гр для рака в INWORKS был даже выше, чем в LSS [24; 30]. Данные LSS были получены раньше. Вероятно, нерадиационные дозозависимые механизмы были менее эффективны в далеком прошлом, когда диагностические возможности были ограничены. Можно предположить, что современные методы и диверсификация с большими различиями между высоким

и низким уровнем диагностики в более позднее время давали больше возможностей для дозозависимого отбора и самоотбора. При линейной аппроксимации смертность от солидных раков оказалась выше в INWORKS, чем в LSS, среди лиц со средними дозами в толстой кишке 1–78,3 мГр, тогда как у лиц с дозами $\geq 143,1$ мГр названный показатель был выше в LSS [30]. Априори корреляция доза-эффект должна быть сильнее при >200 мГр, чем при <200 мГр. В INWORKS соотношение была обратным [30]. С учетом изложенного, зависимость доза-эффект при малых дозах и ее ослабление при более высоких дозах, вероятно, были обусловлены нерадиационными факторами. Можно сделать вывод, что результаты INWORKS не подтверждают линейную беспороговую теорию (ЛНТ) и экстраполяцию зависимости доза-эффект в область малых доз.

Против ЛНТ имеются теоретические возражения. По аналогии с другими факторами окружающей среды (различные вещества и химические элементы, ультрафиолетовое излучение) можно предположить эволюционную адаптацию к ЕРФ. Уровень ЕРФ снижался за время существования жизни на Земле. Клетки и организмы, возможно, сохранили способность восстанавливать повреждения от более высоких уровней радиации, чем сегодняшний ЕРФ [34]. Экспериментальные данные в пользу гормезиса и адаптивных реакций на ионизирующее излучение многочисленны; доказательства были получены также в эпидемиологических исследованиях. В экспериментах на животных дозы, ассоциированные с канцерогенезом, были выше, чем в среднем у работников атомной промышленности и в других когортах, подвергшихся облучению в мирное время (обзор см. [3; 31; 33]). Некоторые оценки данных LSS не подтверждают гипотезу LNT и указывают на гормезис [35]. Для солидных раков и лейкемии статистически достоверные корреляции доза-эффект были обнаружены в LSS после воздействия ≤ 500 мЗв, но не ≤ 200 мЗв [14,15,36]. Значение 200 мЗв упоминается в некоторых обзорах как уровень, ниже которого повышение риска рака не доказано [36; 37]. По данным НКДАР ООН, увеличение риска злокачественных опухолей наблюдается при дозах ≥ 100 –200 мГр [38]. Эта оценка может быть заниженной из-за уклонов в эпидемиологических исследованиях.

В более ранних работах не сообщалось об увеличении заболеваемости раком при дозах ≤ 520 мЗв или среди всех работников ПОМ. Существование порога считалось возможным [39–42]. Было обнаружено снижение смертности от рака в когорте Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) по сравнению с контрольной популяцией [40]. Частота случаев нетрудоспособности не зависела от накопленной дозы [43]. Сообщалось, что риск лейкоза на 1 Гр был в 3,5 раза ниже в когорте реки Теча, чем в LSS, т.е. эффективность острого облучения была ожидаемо выше, чем хронического или фракционированного [44; 45]. Отмечено, что относительный риск солидных раков в когорте реки Теча увеличивался с возрастом на момент облучения и с достигнутым возрастом, тогда как в LSS риск имел тенденцию к снижению с возрастом [45; 46]. Увеличение риска с возрастом характерно для спонтанного рака. Достоверного повышения онкологической заболеваемости и смерт-

ности у жителей территорий, загрязненных после Кыштымской аварии 1957 г. выявлено не было [45]. Ранее исследование [40] показало снижение смертности от рака в когорте ВУРС по сравнению с контрольной популяцией. Однако позже появились сообщения о повышенной заболеваемости и смертности от рака в названной когорте [47]. Более поздняя публикация [47] не сравнивала смертность с контрольной популяцией, а использовала математическую модель LNT. Отмечалось, что канцерогенная эффективность (carcinogenic efficiency) хронического облучения в когорте реки Теча и ВУРС была не ниже, чем эффективность острого облучения в LSS как для солидного рака, так и для лейкозов [25; 48–50]. По мнению автора, в некоторых публикациях после 2005–2010 гг., посвященных разным облученным популяциям на Урале, отмечается тенденция к преувеличению медико-биологических последствий облучения в малых дозах [3; 33].

Повышенный риск неопухольных заболеваний — сердечно-сосудистых, респираторных, желудочно-кишечных — был выявлен в когорте Чернобыля, ПОМ и реки Теча [20; 22; 51–64]. Например, средняя доза внешнего гамма-облучения составила ~0,54 Гр у мужчин и 0,44 Гр у женщин в исследовании работников ПОМ, где риск атеросклероза артерий нижних конечностей был ассоциирован с накопленной дозой внешнего облучения [64]. Частота атеросклероза была достоверно выше у работников ПОМ с дозами $\geq 0,5$ Гр, чем среди лиц с более низкими дозами; то же для доз внутреннего альфа-облучения печени $\geq 0,025$ Гр [59]. Среди работников с суммарными поглощенными дозами внешнего гамма-излучения $> 0,1$ Гр заболеваемость ЦВЗ была достоверно выше по сравнению с лицами, получившими более низкие дозы; то же для альфа-облучения печени 0,01 Гр от инкорпорированного плутония [58]. Сообщалось, что показатель ИОР/Гр для ЦВЗ у работников ПОМ был выше, чем в LSS [20; 58; 62], где уклоны также могли иметь место. Риск сердечно-сосудистых заболеваний, в частности, ишемической болезни сердца, в когорте реки Теча оказался выше, чем в LSS [61]. Как уже отмечалось, связанный с дозой внешнего облучения рост заболеваемости ЦВЗ и ИБС у работников ПОМ не сопровождался повышением смертности [21–23]; аналогичное соотношение отмечено для лейкозов [24]. Это можно объяснить дозозависимой диагностической эффективностью с регистрацией латентных и легких случаев у лиц со сравнительно высокими дозами.

По данным той же группы исследователей, заболеваемость ЦВЗ была значительно повышена у работников ПОМ с кумулятивными дозами внешнего облучения $\geq 0,1$ Гр [58; 65]. Согласно НКДАР ООН, отсутствуют достаточные основания для выводов о причинно-следственной связи между дозами ≤ 1 –2 Гр, сердечно-сосудистыми и другими неопухольными заболеваниями [66]. Согласно МКРЗ, имеется повышенный риск сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов после лучевой терапии со средними дозами на сердце 1–2 Гр [67]. Значение 1–2 Гр может быть заниженным из-за уклонов в эпидемиологических исследованиях. Известно, что у больных могут развиваться сердечно-сосудистые заболевания после лучевой терапии с дозами на сердце ~40 Гр. Обсуждались также более низкие дозы, намного превышающие, однако, средние значения для когорты

ПОМ, реки Теча и Чернобыля. Дозы, связанные с изменениями в сердечной мышце у экспериментальных животных, также выше, чем в вышеназванных когорте (ссылки см. [3; 33]). В некоторых экспериментах и эпидемиологических исследованиях, облучение в низких дозах снижало риск атеросклероза [67]. Более раннее исследование не обнаружило связи между индивидуальными кумулятивными дозами и частотой ишемической болезни сердца [68]. В прошлом многолетние наблюдения не выявили особенностей сердечно-сосудистых заболеваний у работников ПОМ по сравнению с населением в целом [69]. Это подтверждает вышеупомянутое предположение об изменении подхода к данной теме.

Преувеличение эффектов малых доз наблюдается также в отношении связанных с радиацией катаракт. В когорте ПОМ отмечено статистически достоверное увеличение риска катаракты во всех категориях доз, начиная с 0,25–0,50 Зв, по сравнению с контрольной группой 0–0,25 Зв. Средние дозы составили $0,54 \pm 0,061$ Гр у мужчин и $0,46 \pm 0,01$ Гр у женщин [70]. Отмечена статистически значимая зависимость заболеваемости катарактой от суммарной дозы внешнего облучения [71; 72]. Однако выводы статей [71; 72] подвергались сомнению [23; 73], которые можно отнести также к работе [70]. Для катаракты была обнаружена зависимость доза-эффект; но известная корреляция с сахарным диабетом не подтвердилась [23; 70; 71], что ставит под сомнение биологическую значимость результатов. Достоверных ассоциаций дозы облучения с риском операции удаления катаракты не выявлено [74]. По-видимому, у лиц с более высокими дозами катаракты диагностировали раньше в связи с повышенным вниманием к собственному здоровью и вниманием со стороны медиков (дозозависимый отбор и самоотбор). В более ранних публикациях утверждалось, что радиационно-индуцированные катаракты развивались у работников ПОМ только после облучения ≥ 4 Зв [69]. Обзор российских данных показал, что хроническое облучение ≤ 2 Гр не было ассоциировано с катарактой [67; 75]. Порог для хронического облучения остается неизвестным ввиду отсутствия надежных доказательств [76]. Согласно НКДАР ООН (1982), требуется облучение в дозе минимум 3–5 Гр, чтобы вызвать значительное помутнение хрусталика у животных с аналогичной человеку низкой предрасположенностью к развитию катаракты. Минимальные стойкие помутнения наблюдались после однократного облучения в дозе 1–2 Гр. При фракционировании требуются более высокие дозы. Отмечалось, что порог для катаракты при хроническом профессиональном облучении находится в диапазоне 6–14 Гр [77]. Позже обсуждались более низкие пороги и беспороговая модель развития катаракты (ссылки см. [33]). Основываясь преимущественно на эпидемиологических исследованиях, Международная комиссия по радиологической защите (ICRP) пересмотрела рекомендации и предложила пороговое значение для катаракты 0,5 Гр. Однако не все эпидемиологические исследования подтверждают такой низкий порог [67]. Повышенный риск катаракты среди рентгенолаборантов (radiologic technologists) может быть обусловлен вниманием к собственному здоровью и профессиональной осведомленностью, которая коррели-

рвала со стажем работы и, следовательно, с накопленной дозой [78; 79]. У рентгенлаборантов отмечено несоответствие между частотой катаракты и операций по поводу нее, причем повышение риска операции было статистически недостоверным [79]. Повышение риска катаракты, но не хирургического вмешательства, было отмечено у работников ПОМ [74; 79; 80]. Это согласуется с концепцией дозозависимой эффективности диагностики с регистрацией легких случаев, не требующих оперативного вмешательства. Значительное повышение риска операций по удалению катаракты зарегистрировано только в когорте LSS [79; 81], где эффект острого облучения мог быть значительным. В экспериментах на животных дозы были выше, чем в среднем в популяциях Чернобыля, ПОМ и когорты реки Теча. Катаракта может быть вызвана радиацией; но дозы и мощности доз, связанные с рисками (пороги) требуют дальнейших исследований. Доказательная база при дозах < 2 Гр остается недостаточной [78; 82].

Сомнительные корреляции между облучением в малых дозах и неопухолевыми заболеваниями ставят под сомнение причинно-следственный характер таких корреляций для злокачественных новообразований [48] (обзор см. [3; 33]). Корреляции могут быть вызваны уклонами, в особенности, дозозависимым отбором и самоотбором, которые отмечались в облученных популяциях [17–19]. Даже в слепых исследованиях работников атомной промышленности, испытуемые и, возможно, некоторые медицинские работники знали трудовой анамнез, по которому можно было судить о кумулятивных дозах, потенциально влияющих на обращаемость и тщательность диагностики. С учетом изложенного, диагностика априори должна быть более эффективной у лиц с относительно высокими оценочными значениями доз.

Далее обсуждаются исследования связанного с аварией на ЧАЭС почечно-клеточного рака (ПКР) с контролем из других стран в сравнении с раком щитовидной железы (РЩЖ). В серии исследований [28; 29; 83–87], в частности, в последней работе [28], образцы тканей ПКР с Украины (в том числе из зоны чернобыльского загрязнения) сравнивали с аналогичными препаратами из Испании и Колумбии. Опухоли с Украины, как правило, были менее дифференцированными, чем контроли. В последнем исследовании плотность микрососудов в ткани ПКР у пациентов, проживающих в областях Украины с высоким и с низким уровнем загрязнения, была достоверно выше, чем в ПКР из Испании и Колумбии ($P < 0,01$). Разница между обеими украинскими подгруппами была статистически незначимой. Повышенный уровень ангиогенеза был ассоциирован с экспрессией иммуногистохимического маркера VEGF (сосудистый эндотелиальный фактор роста) [28]. Авторы предположили, что радиационное воздействие способствует васкуляризации, которая, в свою очередь, ассоциирована с относительно низким уровнем дифференцировки и менее благоприятным прогнозом ПКР [28; 87; 88]. В предыдущем комментарии отмечалось, что разницу в степени дифференцировки можно объяснить более ранней диагностикой в Испании [89]. Нередко обсуждаемое повышение «агрессивности» ПКР и РЩЖ на загрязненных территориях после аварии на ЧАЭС [33; 83; 90], по-видимому, произошло в ре-

зультате выявления при скрининге старых запущенных случаев, интерпретированных как радиогенные раки с коротким латентным периодом и быстрым развитием. При скрининге выявлялись не только мелкие узелки, но и распространенные РЩЖ, не диагностированные из-за неполного охвата населения медицинскими осмотрами до аварии. Подтверждением этому может служить тот факт, что РЩЖ «первой волны» (выявленные в первые 10 лет) после аварии были в среднем более крупными и менее дифференцированными, чем диагностированные в более поздние сроки, так как запущенные раки постепенно отсеивались скринингом. Ввиду приведенного выше сравнения доз, облучение едва ли могло быть причиной различий между «облученными» и контрольными группами из других стран. Дозы от ЕРФ следует указывать в статьях, где сравниваются пациенты из разных регионов; иначе дозы в контрольной группе могут оказаться статистически неотличимыми от доз в «облученной» группе, например, у пациентов из Испании и из Киева [29; 86]. Средняя годовая индивидуальная доза от ЕРФ в Испании составляет около 5 мЗв [91; 92]. В Киеве индивидуальная доза из всех источников в 1986 г. оценивалась как ≤ 10 мЗв с тенденцией к уменьшению [93]. В статьях [28, 29, 83–87] дозы не указаны; отмечено только следующее (с самоцитированием): «Эти наблюдения подтверждают распространенное подозрение [87], что на Украине уровни радиационного загрязнения были одинаковыми в пределах и за пределами официально установленной зоны радиационного загрязнения вокруг Чернобыля [94]» [28]. Источник [94], отчет Минздрава Украины, оказался недоступным.

Авария на ЧАЭС служит примером значительной разницы по качеству диагностики до и после события. Убедительных доказательств причинно-следственной связи между облучением в результате аварии и ростом онкозаболеваемости (кроме РЩЖ у облученных в молодом возрасте) не получено. Механизмы увеличения регистрируемой заболеваемости РЩЖ включали скрининг и улучшение качества диагностики после аварии [13]. По данным НКДАР ООН (2018), фоновая частота РЩЖ среди детей до 10 лет составляла 2–4 случаев/млн/год [95]. В Докладе НКДАР (2008) повышенные показатели заболеваемости РЩЖ через 4 года после аварии и позже сравниваются не с доаварийным уровнем, а с 1986–1990 гг. (Приложение D, стр. 60–61), когда заболеваемость уже возросла до 4,1 случаев/млн/год у лиц, облученных в возрасте до 10 лет и до 5,4 — у облученных в возрасте до 18 лет [13]. Для сравнения был выбран период 1986–1990 гг., поскольку «с 1986 г. и не ранее, данные о заболеваемости РЩЖ были представлены местными онкологами» (Секретариат НКДАР ООН, переписка по электронной почте от 22 октября 2013 г.). Сообщалось, что заболеваемость РЩЖ среди лиц моложе 15 лет на севере Украины перед аварией (1981–1985 гг.) составляла 0,1 случая/млн/год, а в Белоруссии — 0,3 случая/млн/год [96], что значительно ниже уровня других развитых стран. За период 1978–1985 гг. в Белоруссии были диагностированы только 5 случаев детского РЩЖ [97]. Очевидно, что в популяции были недиагностированные случаи. Тенденция к недооценке заболеваемости известна также для опухолей почек [98]. Некоторые запущенные формы рака, обнаруженные после аварии в результате скрининга и повышенного

внимания жителей к собственному здоровью, а также привезенные из других областей и зарегистрированные как жертвы Чернобыля, были ошибочно истолкованы как агрессивные радиогенные раки [1–3]. Многие люди стремились к тому, чтобы их признали жертвами Чернобыля [99]. Случаи, привезенные из незагрязненных районов, должны были находиться в среднем на более поздних стадиях ввиду отсутствия массового скрининга за пределами загрязненной зоны.

По аналогии с РЩЖ, зарегистрированный рост заболеваемости ПКР на Украине после аварии [28; 83; 85; 87] был обусловлен улучшением диагностики [89]. Как упоминалось выше, опухоли с Украины, как правило, были менее дифференцированными, чем контрольные случаи из Испании. Среди препаратов с Украины был выше процент саркомоподобного, т.е. низкодифференцированного ПКР: 62 из 236 (26,3%) украинских против 11 из 112 (9,8%) испанских случаев ($P < 0,001$) [83]; значительное различие было подтверждено в исследовании [85]. В связи с этим требуют комментария следующие цитаты: «Резкое повышение агрессивности и пролиферативной активности» выявлено в ПКР с Украины, причем «большинство опухолей высокой степени злокачественности встречалось в украинских (а не в испанских) группах» [83]. Эти различия можно объяснить обнаружением запущенных случаев при скрининге на Украине. Неправильное истолкование таких случаев как агрессивного радиогенного рака могло привести к гипертерапии. Если хирурги примут во внимание публикации о повышенной агрессивности ПКР из загрязненных областей, причем в окружающих тканях якобы наблюдается «атипичная пролиферативная нефропатия с атипизмом ядер эпителия канальцев и карциномой *in situ*» [84], нефрэктомия будет выполняться чаще вместо органосохраняющих операций. По аналогии, неправильное истолкование запущенных РЩЖ как быстрорастущих радиогенных раков повлияло на терапию. В 1990-х годах хирургия щитовидной железы в некоторых клиниках Белоруссии и Украины стала более радикальной [100,101] (обзор см. [3; 33]). О гипердиагностике и гипертерапии послечернобыльских изменений в мочевом пузыре на Украине сообщалось ранее [102; 103].

Некоторые молекулярно-генетические характеристики ПКР с Украины по сравнению с таковыми из Испании и Колумбии требуют новой интерпретации. Например, отсутствие достоверных различий в экспрессии убиквитина [86] указывает, что этот маркер напрямую не связан с прогрессированием ПКР. Напротив, VEGF чаще обнаруживали в светлоклеточном ПКР с Украины, чем в препаратах из Испании и Колумбии [28]. Утверждение, что «при ПКР уровень сывороточного VEGF тесно связан со стадией и степенью дифференцировки ПКР, а экспрессия VEGF в опухолевой ткани в значительной степени связана со стадией опухоли» [28], было подкреплено ссылкой [88]. В других исследованиях также сообщалось об ассоциации между экспрессией VEGF и клеточным атипизмом, размерами, стадией и прогнозом ПКР (ссылки см. [33]). Обсуждаемое исследование также «продемонстрировало тесную связь между экспрессией VEGF и стадией светлоклеточного ПКР» [28]. Те же соображения, вероятно, относятся и к другим маркерам, по которым найдены существенные различия между

ПКР из Испании и Украины, в частности, к транскрипционному ядерному фактору каппа (NF-каппа-B), его субъединицам p50 и p65 [85]. Положительная реакция на p50 в >10% клеток была выявлена у 25 из 59 (42,4%) образцов с Украины по сравнению с 4 из 19 (21,1%) испанских препаратов; >50% клеток с положительной реакцией на p65 были обнаружены, соответственно, в 18 из 59 (30,1%) и 1 из 19 (5,3%) препаратов ($P < 0,05$) [85]. В соответствии с обсуждаемой здесь концепцией, активированный фактор NF-каппа-B известен как маркер и промотор опухолевой прогрессии (ссылки см. [33]). По аналогии с хромосомными перестройками RET/PTC3 при папиллярном РЩЖ [104], может существовать связь между опухолевой прогрессией и теми маркерами ПКР, по которым обнаружены различия между испанской и украинской когортами. Высокую плотность микросудов и экспрессию VEGF в образцах с Украины по сравнению с образцами из Испании и Колумбии [28] можно объяснить более ранней диагностикой рака в последних двух странах. Ассоциации различных маркеров с опухолевой прогрессией (длительностью заболевания, размерами опухоли, стадией и степенью дифференцировки) могут послужить темой дальнейших исследований и переосмысления уже полученных результатов сравнения опухолей из разных регионов.

Другим недавним примером является исследование, в котором сравнивались препараты папиллярного РЩЖ от 359 пациентов, проживавших на загрязненных территориях после аварии на ЧАЭС, и контрольная группа — 81 РЩЖ от пациентов, родившихся >9 месяцев после аварии [105]. «Исследуемая популяция включала значительное количество папиллярных РЩЖ, возникших после облучения в дозе <100 мГр». В исследовании сообщалось об «...ассоциированном с дозой облучения увеличении количества двунитевых разрывов ДНК в РЩЖ, развившихся после аварии... Негомологичное соединение концов (NHEJ) — наиболее важный механизм репарации» [105]. Эти результаты закономерны: изменения ДНК имеют тенденцию к накоплению по мере опухолевой прогрессии. Двунитевые разрывы ДНК, их репарация с ошибками способствуют накоплению мутаций в раковых клетках. Механизм репарации NHEJ — потенциально мутагенный, менее точный, чем гомологичная рекомбинация (ссылки см. [33]). В то же время, не выявлено связи между облучением и эпигенетическими изменениями [105]. Возможно, эти изменения в меньшей степени связаны с опухолевой прогрессией, чем повреждения ДНК. Что касается лиц, рожденных после аварии (контрольная группа в [105]), то данные по ним относятся к более позднему периоду, когда качество диагностики улучшилось, а запущенные случаи были частично отсортированы скринингом. Следовательно, опухоли в облученной группе должны были в среднем находиться на более поздних стадиях и содержать больше мутаций, чем в контроле. Чем выше доза, тем больше вероятность пройти медицинское обследование. В обследованной популяции повышена вероятность выявления запущенных случаев. С учетом изложенного, «дозозависимый канцерогенный эффект радиации, возникающий в первую очередь из-за двунитевых разрывов ДНК» не доказан в исследовании [105]. Авторам нужно задуматься об интерпретации полученных результатов.

Наконец, несколько слов о Семипалатинском полигоне, где было проведено 456 ядерных испытаний с 1949 по 1989 год [106]. После подписания в 1963 г. Международного договора о запрещении ядерных испытаний в трёх средах (в воздухе, космосе и под водой), на полигоне стали проводиться только подземные взрывы. Наибольшее повышение радиационного фона отмечено к северо-востоку от полигона, в особенности, в населенном пункте Долонь. По-видимому, некоторые авторы без достаточных оснований связывали рост заболеваемости и смертности с радиацией [107]. Тенденция к преувеличению медицинских последствий повышенного радиационного фона в районе Семипалатинска обсуждалась ранее [108–110]. Например, Ю. Е. Дуброва утверждал, что «по результатам многочисленных исследований дозы для семей (doses for the families), проживающих в Семипалатинской области Казахстана, оцениваются в 0,5 Зв и выше» [111] со ссылкой на [112]. Однако в резюме статьи [112] читаем: «The village of Dolon, in particular, has been identified for many years as the most highly exposed location in the vicinity of the test site. Previous publications cited external doses of more than 2 Gy to residents of Dolon while an expert group assembled by the WHO in 1997 estimated that external doses were likely to have been less than 0.5 Gy» [112]. Другие исследователи сообщили о более низких дозах у жителей Долони [113]. В статье [114] отмечается, что материал собирали в сельской местности вокруг Семипалатинского полигона, где средние дозы были значительно меньше, чем «0,5 Зв и выше» [111]. Средние индивидуальные дозы вблизи полигона, полученные в период 1949–1953 гг., оценивались следующим образом: Долонь — 1600 мГр, Абай (Карааул) — 370, Кайнар — 240, Саржал — 200, Семипалатинск \leq 5,6 мГр [115]. Более низкие оценки представлены в монографии [116]: Долонь — 1500 мГр, Саржал — 420 мГр, Абай — 130 (с учетом отселения жителей), Кайнар — 70 мГр. В период 1971–1990 гг. годовые индивидуальные дозы в этом районе были ниже 5 мГр [115]. По результатам измерений внешнего гамма-излучения в 1981–1989 гг. в прилегающих к полигону населенных пунктах не было зафиксировано ни одного случая превышения допустимых уровней облучения. Основным источником облучения населения были «старые» следы атмосферных испытаний, которые уже не представляли опасности. Межведомственная комиссия в 1989 г. установила, что мощности дозы вблизи полигона соответствовали обычным фоновым значениям. Результаты измерений и расчетов, проведенных в 1990–1992 гг. в рамках программы «Регион-1», показали, что радиоактивное загрязнение воздуха в населенных пунктах вблизи локальных следов ядерных взрывов было на грани чувствительности метода и не превышало ПДК. Содержание остеотропного стронция-90 в костной ткани не превы-

шало фоновых значений в «чистом» контрольном населенном пункте, что свидетельствует о незначительности доз внутреннего облучения [116]. В 2008 г. годовая индивидуальная доза в границах полигона составила 0,073–0,749 мЗв, а за его пределами — 0,036–0,37 мЗв [117], что представляет собой незначительную добавку к ЕРФ.

Заключение

Мониторинг населения, подвергнувшегося воздействию низких доз ионизирующего излучения, имеет большое значение; однако следует уделять внимание уклонам, в особенности, дозозависимому отбору и самоотбору. Среди прочего, «очень высокие показатели сердечно-сосудистых заболеваний» [118] в некоторых когортах могут быть вызваны тенденцией гипердиагностики сердечно-сосудистых заболеваний в неясных посмертных и прижизненных случаях [119]. По мнению автора, дальнейшие исследования населения, облученного после аварии на ЧАЭС, не дадут достоверной новой информации, в частности, из-за неточных реконструкций доз и учета необлученных лиц как облученных. Кроме того, корреляции «доза-эффект» можно объяснить ошибками памяти (recall bias): онкологические больные склонны лучше помнить обстоятельства, связанные с облучением, чем здоровые лица [120]. Можно предположить, что больные на поздних стадиях лучше помнят такие обстоятельства, чем практически здоровые люди с небольшими узлами. Чем выше доза, тем больше вероятность пройти медицинское обследование. Особенности чернобыльского РЩЖ априори будут более распространены среди населения со сравнительно высокими дозами или проживающего на загрязненных территориях. Одной из таких особенностей является более высокий процент запущенных случаев, выявленных при скрининге после аварии, интерпретированных как агрессивные радиогенные раки [1–3]. Эффект скрининга и повышенное внимание облученных лиц к собственному здоровью, вероятно, приведут к появлению новых сообщений об онкологических и прочих рисках для здоровья в районах с повышенным естественным или антропогенным радиационным фоном. Такие сообщения не докажут причинно-следственной связи. Перспективным подходом к исследованию зависимостей доза-эффект могут служить пожизненные эксперименты на животных. Средняя продолжительность жизни отражает вред или возможную пользу (в пределах определенного диапазона доз в соответствии с концепцией гормезиса [121]) от облучения в малых дозах. В заключение подчеркнем, что предположения о повышенной агрессивности злокачественных новообразований с радиоактивно загрязненных территорий не должны вести к гипертерапии [33; 103].

Литература:

1. Яргин с. В. К вопросу о завышенной оценке медицинских последствий аварии на ЧАЭС: причины и механизмы. Мед. радиол. и радиац. безопасность 2011;56(5):79.
2. Яргин с. В. О преувеличении последствий повышения радиационного фона. Молодой ученый 2017;7(141):170–80.
3. Jargin SV. The overestimation of medical consequences of low-dose exposure to ionizing radiation. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2019.

4. Бурлакова Е. Б., Голощапов А. Н., Горбунова Н. В. и др. Особенности биологического действия малых доз облучения. *Радиац. биология. Радиоэкология* 1996;36(4):610–31.
5. Dupont P, Jiang H, Shilnikova NS, et al. Database of radiogenic cancer in experimental animals exposed to low doses of ionizing radiation. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2012;15:186–209.
6. Sacks B, Meyerson G, Siegel JA. Epidemiology without biology: False paradigms, unfounded assumptions, and specious statistics in radiation science. *Biol Theory* 2016;11:69–101.
7. Watanabe T, Miyao M, Honda R, Yamada Y. Hiroshima survivors exposed to very low doses of A-bomb primary radiation showed a high risk for cancers. *Environ Health Prev Med*. 2008;13:264–70.
8. Shibamoto Y, Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis. *Int J Mol Sci*. 2018;19:2387.
9. Little MP, Tawn EJ, Tzoulaki I, et al. Review and meta-analysis of epidemiological associations between low/moderate doses of ionising radiation and circulatory disease risks, and their possible mechanisms. *Radiat Environ Biophys*. 2010;49:139–53.
10. IAEA. Radiation, people and the environment. Vienna: IAEA, 2004.
11. UNSCEAR2000 Report. Annex B: Exposures from natural radiation sources. Annex G: Biological effects at low radiation doses. New York: United Nations, 2000.
12. Барковский А. Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Информационный сборник: «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 году». СПб.: НИИ радиационной гигиены им. П. В. Рамзаева, 2019.
13. UNSCEAR2008 Report to the General Assembly. Annex D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. New York: United Nations, 2008.
14. Little MP, Muirhead CR. Evidence for curvilinearity in the cancer incidence dose-response in the Japanese atomic bomb survivors. *Int J Radiat Biol*. 1996;70:83–94.
15. Little MP, Muirhead CR. Curvature in the cancer mortality dose response in Japanese atomic bomb survivors: absence of evidence of threshold. *Int J Radiat Biol*. 1998;74:471–80.
16. Pezzella F, Tavassoli M, Kerr DJ. Oxford textbook of cancer biology. Oxford: Oxford University Press, 2019.
17. McGeoghegan D, Binks K, Gillies M. et al. The non-cancer mortality experience of male workers at British Nuclear Fuels plc, 1946–2005. *Int J Epidemiol*. 2008;37:506–18.
18. Zablotska LB, Bazyka D, Lubin JH, et al. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukaemias among Chernobyl cleanup workers. *Environ Health Perspect*. 2013;121:59–65.
19. Zablotska LB, Ron E, Rozhko AV, et al. Thyroid cancer risk in Belarus among children and adolescents exposed to radioiodine after the Chernobyl accident. *Br J Cancer* 2011;104:181–7.
20. Azizova TV, Muirhead CR, Druzhinina MB, et al. Cerebrovascular diseases in the cohort of workers first employed at Mayak PA in 1948–1958. *Radiat Res*. 2010;174:851–64.
21. Азизова Т. В., Мосеева М. Б., Григорьева Е. С. и др. Риск смертности от сердечно-сосудистых заболеваний у работников, подвергшихся профессиональному облучению. *Радиац. биология. Радиоэкология* 2012; 252(2):158–66.
22. Азизова Т. В., Хэйлок Р., Мосеева М. Б. и др. Риск заболеваемости и смертности от цереброваскулярных заболеваний в когорте работников по «Маяк»: 1948–1982. *Мед. радиол. и радиац. безопасность* 2015;60(4):43–61.
23. Соловьев В. Ю., Краснюк В. И. О возможных ошибках в оценке радиационного риска неонкологических последствий у работников предприятия ПО «Маяк». *Мед. радиол. и радиац. безопасность* 2018;63(6):83–84.
24. Wakeford R. Overview of epidemiological studies of nuclear workers: opportunities, expectations, and limitations. *J Radiol Prot*. 2021;41(4):1–17.
25. Аклеев А. В., Крестинина Л. Ю. Канцерогенный риск у жителей прибрежных сел реки Теча. *Вестник РАМН* 2010;(6):34–39.
26. Azizova TV, Bannikova MV, Grigoryeva ES, Rybkina VL. Risk of malignant skin neoplasms in a cohort of workers occupationally exposed to ionizing radiation at low dose rates. *PLoS One* 2018;13: e0205060.
27. Little MP, Charles MW. The risk of non-melanoma skin cancer incidence in the Japanese atomic bomb survivors. *Int J Radiat Biol*. 1997;71:589–602.
28. Ruiz-Sauri A, Valencia-Villa G, Romanenko A, et al. Influence of exposure to chronic persistent low-dose ionizing radiation on the tumor biology of clear-cell renal-cell carcinoma. An immunohistochemical and morphometric study of angiogenesis and vascular related factors. *Pathol Oncol Res*. 2016;22:807–15.
29. Romanenko A, Morell-Quadreny L, Ramos D, et al. Extracellular matrix alterations in conventional renal cell carcinomas by tissue microarray profiling influenced by the persistent, long-term, low-dose ionizing radiation exposure in humans. *Virchows Arch*. 2006;448:584–90.
30. Leuraud K, Richardson DB, Cardis E, et al. Risk of cancer associated with low-dose radiation exposure: comparison of results between the INWORKS nuclear workers study and the A-bomb survivors study. *Radiat Environ Biophys*. 2021;60:23–39.
31. Jargin SV. Hormesis and radiation safety norms. *Hum Exp Toxicol*. 2012;31:671–5.
32. Cardarelli JJ, Ulsh BA. It is time to move beyond the linear no-threshold theory for low-dose radiation protection. *Dose Response* 2018;16:1559325818779651.

33. Jargin SV. Low-dose ionizing radiation: overestimation of effects and overtreatment. *International Journal of Environmental Science* 2022;7:37–55.
34. Karam PA, Leslie SA. Calculations of background beta-gamma radiation dose through geologic time. *Health Phys.* 1999;77:662–7.
35. Doss M. Future of radiation protection regulations. *Health Phys.* 2016;110:274–5.
36. Heidenreich WF, Paretzke HG, Jacob P. No evidence for increased tumour rates below 200 mSv in the atomic bomb survivors data. *Radiat Environ Biophys.* 1997;36:205–7.
37. González AJ. Radiation safety standards and their application: international policies and current issues. *Health Phys.* 2004;87:258–72.
38. UNSCEAR2010 Report. Summary of low-dose radiation effects on health. New York: United Nations, 2010.
39. Булдаков Л. А., Демин С. Н., Косенко М. М. и др. Медицинские последствия радиационной аварии на Южном Урале. *Мед. радиол.* 1990;35(12):11–15.
40. Kostyuchenko VA, Krestinina LYu. Long-term irradiation effects in the population evacuated from the east-Urals radioactive trace area. *Sci Total Environ.* 1994;142:119–25.
41. Окладникова Н. Д., Пестерникова В. С., Азизова Т. В. и др. Состояние здоровья персонала завода по переработке отработавшего ядерного топлива. *Мед. труда пром. экол.* 2000;(6):10–14.
42. Tokarskaya ZB, Scott BR, Zhuntova GV, et al. Interaction of radiation and smoking in lung cancer induction among workers at the Mayak nuclear enterprise. *Health Phys.* 2002;83:833–46.
43. Кабашева Н. Я., Окладникова Н. Д. Основные динамические показатели и структура заболеваемости с временной потерей трудоспособности у работников реакторной промышленности. *Гигиена труда проф. заболевания* 1992;(8):22–24.
44. Аклеев А. В., Косенко М. М., Крестинина Л. Ю. Здоровье населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях уральского региона. М.: РАДЭКОН, 2001.
45. Аклеев А. В., Престон Д., Крестинина Л. Ю. Медико-биологические последствия хронического облучения человека. *Мед. труда пром. экол.* 2004;(3):30–36.
46. UNSCEAR1994 Report. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Annex A: Epidemiological studies of radiation carcinogenesis. New York: United Nations, 1994.
47. Akleyev AV, Krestinina LY, Degteva MO, Tolstykh EI. Consequences of the radiation accident at the Mayak production association in 1957 (the «Kyshtym Accident»). *J Radiol Prot.* 2017;37: R19–42.
48. Krestinina LY, Davis FG, Schonfeld S, et al. Leukaemia incidence in the Techa River Cohort: 1953–2007. *Br J Cancer* 2013;109:2886–93.
49. Ostroumova E, Gagnière B, Laurier D, et al. Risk analysis of leukaemia incidence among people living along the Techa River: a nested case-control study. *J Radiol Prot.* 2006;26:17–32.
50. Ostroumova E, Preston DL, Ron E, et al. Breast cancer incidence following low-dose rate environmental exposure: Techa River Cohort, 1956–2004. *Br J Cancer* 2008;99:1940–5.
51. Azizova TV, Grigoryeva ES, Haylock RG, et al. Ischaemic heart disease incidence and mortality in an extended cohort of Mayak workers first employed in 1948–1982. *Br J Radiol.* 2015;88:20150169.
52. Ivanov VK, Maksoutov MA, Chekin SY, et al. The risk of radiation-induced cerebrovascular disease in Chernobyl emergency workers. *Health Phys.* 2006;90:199–207.
53. Kashcheev VV, Chekin SY, Maksoutov MA, et al. Radiation-epidemiological study of cerebrovascular diseases in the cohort of Russian recovery operation workers of the Chernobyl accident. *Health Phys.* 2016;111:192–7.
54. Moseeva MB, Azizova TV, Grigoryeva ES, Haylock R. Risks of circulatory diseases among Mayak PA workers with radiation doses estimated using the improved Mayak Worker Dosimetry System 2008. *Radiat Environ Biophys.* 2014;53:469–77.
55. Azizova TV, Muirhead CR, Moseeva MB, et al. Cerebrovascular diseases in nuclear workers first employed at the Mayak PA in 1948–1972. *Radiat Environ Biophys.* 2011;50:539–52.
56. Jargin SV. Radiation safety and hormesis. *Front. Public Health* 2020;8:278.
57. Azizova TV, Zhuntova GV, Haylock RG, et al. Chronic bronchitis in the cohort of Mayak workers first employed 1948–1958. *Radiat Res.* 2013;180:610–21.
58. Azizova TV, Haylock RG, Moseeva MB, et al. Cerebrovascular diseases incidence and mortality in an extended Mayak Worker Cohort 1948–1982. *Radiat Res.* 2014;182:529–44.
59. Азизова Т. В., Кузнецова К. В., Банникова М. В. и др. Заболеваемость атеросклерозом аорты среди работников, подвергшихся профессиональному облучению. *Мед. труда пром. экол.* 2014;(11):1–6.
60. Азизова Т. В., Банникова М. В., Мосеева М. В. и др. Заболеваемость цереброваскулярными болезнями в когорте работников, подвергшихся профессиональному пролонгированному облучению. *Журн. неврол. психиатр. С. С. Корсакова* 2014;114(12):128–32.
61. Krestinina LY, Epifanova S, Silkin S, et al. Chronic low-dose exposure in the Techa River Cohort: risk of mortality from circulatory diseases. *Radiat Environ Biophys.* 2013;52:47–57.
62. Мосеева М. Б., Азизова Т. В., Мюирхед К. Р. и др. Риск заболеваемости цереброваскулярными заболеваниями в когорте работников по «Маяк», впервые нанятых на работу в период 1948–1958 гг. *Радиац. биология. Радиоэкология* 2012;52(2):149–57.
63. Yablokov AV. Non-malignant diseases after the Chernobyl catastrophe. *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1181:58–160.

64. Azizova TV, Bannikova MV, Grigorieva ES, et al. Risk of lower extremity arterial disease in a cohort of workers occupationally exposed to ionizing radiation over a prolonged period. *Radiat Environ Biophys.* 2016;55:147–59.
65. Simonetto C, Schöllnberger H, Azizova TV, et al. Cerebrovascular diseases in workers at Mayak PA: The difference in radiation risk between incidence and mortality. *PLoS One* 2015;10: e0125904.
66. UNSCEAR2006 Report. Annex B: Epidemiological evaluation of cardiovascular disease and other non-cancer diseases following radiation exposure. New York: United Nations, 2006.
67. Authors on behalf of ICRP, Stewart FA, Akleyev AV, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs — threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP* 2012;41:1–322.
68. Дудченко Н. Н., Окладникова Н. Д. Ишемическая болезнь сердца у работников радиохимического производства, подвергающихся хроническому радиационному воздействию в дозах менее ПДД. *Мед. труда пром. экол.* 1995;(6):7–10.
69. Окладникова Н. Д., Сумина М. В., Пестерникова В. С. и др. Отдаленные последствия внешнего гамма-облучения по результатам наблюдения за персоналом первого в стране предприятия атомной промышленности. *Клинич. медицина* 2007;(10):21–26.
70. Azizova TV, Bragin EV, Hamada N, Bannikova MV. Risk of cataract incidence in a cohort of Mayak PA workers following chronic occupational radiation exposure. *PLoS One* 2016;11: e0164357.
71. Брагин Е. В., Азизова Т. В., Банникова М. В. Риск заболеваемости старческой катарактой у работников предприятия атомной промышленности. *Вестн. офтальмол.* 2017;133(2):57–63.
72. Азизова Т. В., Брагин Е. В., Хамада Н., Банникова М. В. Оценка риска заболеваемости старческой катарактой в когорте работников предприятия атомной промышленности ПО «Маяк». *Мед. радиол. и радиац. безопасность* 2018;63(4):15–21.
73. Туков А. Р., Каширина О. Г. К статье Азизовой Т. В., Брагина Е. В., Хамада Н., Банникова М. В. «Заболеваемость старческой катарактой в когорте работников предприятия атомной промышленности ПО «Маяк». *Мед. радиол. и радиац. безопасность* 2018;63(6):82.
74. Azizova TV, Hamada N, Bragin EV, et al. Risk of cataract removal surgery in Mayak PA workers occupationally exposed to ionizing radiation over prolonged periods. *Radiat Environ Biophys.* 2019;58:139–49.
75. Гуськова А. К. 50 лет атомной промышленности России — глазами врача. *Атомная энергия* 1999;87(6):479–85.
76. Hamada N, Azizova TV, Little MP. An update on effects of ionizing radiation exposure on the eye. *Br J Radiol.* 2020;93:20190829.
77. UNSCEAR1982 Report. Annex J: Non-Stochastic Effects of Irradiation. New York: United Nations, 1982.
78. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, et al. Radiation-induced lens opacities: Epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. *Environ Int.* 2021;146:106213.
79. Little MP, Cahoon EK, Kitahara CM, et al. Occupational radiation exposure and excess additive risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *Occup Environ Med.* 2020;77:1–8.
80. Azizova TV, Hamada N, Grigoryeva ES, Bragin EV. Risk of various types of cataracts in a cohort of Mayak workers following chronic occupational exposure to ionizing radiation. *Eur J Epidemiol.* 2018;33:1193–204.
81. Little MP. A review of non-cancer effects, especially circulatory and ocular diseases. *Radiat Environ Biophys.* 2013;52:435–49.
82. Ainsbury EA, Barnard S, Bright S, et al. Ionizing radiation induced cataracts: Recent biological and mechanistic developments and perspectives for future research. *Mutat Res Rev Mutat Res.* 2016;770:238–61.
83. Romanenko A, Morell-Quadreny L, Nepomnyaschy V, et al. Pathology and proliferative activity of renal-cell carcinomas (RCCS) and renal oncocytomas in patients with different radiation exposure after the Chernobyl accident in Ukraine. *Int J Cancer* 2000;87:880–3.
84. Romanenko A, Morell-Quadreny L, Nepomnyaschy V, et al. Radiation sclerosing proliferative atypical nephropathy of peritumoral tissue of renal-cell carcinomas after the Chernobyl accident in Ukraine. *Virchows Arch.* 2001;438:146–53.
85. Romanenko A, Morell-Quadreny L, Ramos D, et al. Alteration of apoptotic regulatory molecules in conventional renal cell carcinoma influenced by chronic long-term low-dose ionizing radiation exposure in humans revealed by tissue microarray. *Cancer Genomics Proteomics* 2006;3:107–12.
86. Morell-Quadreny L, Romanenko A, Lopez-Guerrero JA, et al. Alterations of ubiquitylation and sumoylation in conventional renal cell carcinomas after the Chernobyl accident: a comparison with Spanish cases. *Virchows Arch.* 2011;459:307–13.
87. Romanenko AM, Ruiz-Saurí A, Morell-Quadreny L, et al. Microvessel density is high in clear-cell renal cell carcinomas of Ukrainian patients exposed to chronic persistent low-dose ionizing radiation after the Chernobyl accident. *Virchows Arch.* 2012;460:611–19.
88. Yoshino S, Kato M, Okada K. Prognostic significance of microvessel count in low stage renal cell carcinoma *Int J Urol.* 1995;2:156–60.
89. Jargin SV. Renal cell carcinoma after Chernobyl: on the role of radiation vs. late detection. *Pathol Oncol Res.* 2015;21:845–946.
90. Yablokov AV, Nesterenko VB, Nesterenko AV. Consequences of the Chernobyl catastrophe for public health and the environment 23 years later. *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1181:318–26.
91. Ojovan MI, Lee WE. *An Introduction to Nuclear Waste Immobilization.* 2nd edn. Amsterdam: Elsevier, 2014.
92. Mould RF. *The Chernobyl Record. The Definite History of Chernobyl Catastrophe.* Bristol and Philadelphia: Institute of Physics, 2000.
93. Лихтарев И. А., Шандала Н. К., Гулько Г. М. и др. Динамика радиационной обстановки и оценка доз облучения жителей Киева после аварии на ЧАЭС. *Вестник АМН СССР* 1992;(2):49–54.

94. Сайдакова Н. А., Старцева Л. М., Кравчук Н. С. Стан урологічної допомоги населенню України. Річний звіт. Київ: МОЗ, 2007, стр. 146–153.
95. UNSCEAR2018 White Paper. Evaluation of Data on Thyroid Cancer in Regions Affected by the Chernobyl Accident. New York: United Nations, 2018.
96. Stsjazhko VA, Tsyb AF, Tronko ND, et al. Childhood thyroid cancer since accident at Chernobyl. *BMJ* 1995;310:801.
97. Demidchik YE, Saenko VA, Yamashita S. Childhood thyroid cancer in Belarus, Russia, and Ukraine after Chernobyl and at present. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2007;51:748–62.
98. Medina-Rico M, Ramos HL, Lobo M, et al. Epidemiology of renal cancer in developing countries: Review of the literature. *Can Urol Assoc J.* 2018;12: E154–62.
99. Bay IA, Oughton DH. Social and economic effects. In: Smith J, Beresford NA (eds) *Chernobyl — catastrophe and consequences.* Chichester: Springer, 2005, pp. 239–266.
100. Демидчик Ю. Е., Контратович В. Л. Повторные хирургические вмешательства у детей, больных раком щитовидной железы. *Вопр. онкол.* 2003;(3):366–9.
101. Фридман М. В., Маньковская С. В., Красько О. В., Демидчик Ю. Е. Клинико-морфологические особенности папиллярного рака щитовидной железы у детей и подростков в республике Беларусь. *Вопр. онкол.* 2014;(2):43–46.
102. Яргин С. В. О преувеличении последствий аварии на ЧАЭС: опухоли мочевого пузыря. *Мед. радиол. и радиац. безопасность* 2007;52(4):83–84.
103. Jargin SV. Urological concern after nuclear accidents. *Urol Ann.* 2018;10:240–2.
104. Jargin SV. Chromosomal rearrangements of RET/PTC in post-Chernobyl thyroid cancer. *Multidiscip Cancer Invest.* 2020;4(2):28–35.
105. Morton LM, Karyadi DM, Stewart C, et al. Radiation-related genomic profile of papillary thyroid carcinoma after the Chernobyl accident. *Science* 2021;372: eabg2538.
106. Grosche B, Zhunussova T, Apsalikov K, Kesminiene A. Studies of health effects from nuclear testing near the Semipalatinsk Nuclear Test Site, Kazakhstan. *Cent Asian J Glob Health* 2015;4:127.
107. Apsalikov K, Muldagaliev T, Apsalikov R, et al. Radiation risk factors in incidence and mortality among exposed individuals of East Kazakhstan. *Cent Asian J Glob Health* 2014;2(Suppl.):105.
108. Jargin SV. Some aspects of mutation research after a low-dose radiation exposure. *Mutat Res.* 2012;749:101–2.
109. Jargin SV. On the genetic effects of low-dose radiation. *J Environ Occup Health.* 2014;3:199–203.
110. Яргин С. В. Недостовверные публикации о радиационном канцерогенезе в районе Семипалатинска. *Мед. радиол. и радиац. безопасность* 2007;52(5):73–74.
111. Dubrova YE. Reply to the letter by S. V. Jargin. *Mutat Res.* 2012;749:103–4.
112. Simon SL, Baverstock KF, Lindholm C, et al. A summary of evidence on radiation exposures received near to the Semipalatinsk nuclear weapons test site in Kazakhstan. *Health Phys.* 2003;84:718–25.
113. Zhumadilov K, Ivannikov A, Stepanenko V, et al. ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *J Radiat Res.* 2013;54:775–9.
114. Dubrova YE, Bersimbaev RI, Djansugurova LB, et al. Nuclear weapons tests and human germline mutation rate. *Science* 2002;295(5557):1037.
115. Цыб А. Ф., Степаненко В. Ф., Питкевич В. А. и др. Вокруг Семипалатинского полигона: радиоэкологическая обстановка, дозы облучения населения в Семипалатинской области (по материалам отчета межведомственной комиссии). *Мед. радиол.* 1990;35(12):3–11.
116. Волошин Н. П. Семипалатинский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. М.: Медбиоэкстрем, 1997.
117. Спиридонов С. И., Мукушева М. К., Шубина О. А. и др. Оценка доз облучения населения в результате радиоактивного загрязнения территории семипалатинского испытательного полигона. *Радиац. биология. Радиоэкология* 2008;48(2):218–24.
118. Little MP, Azizova TV, Hamada N. Low- and moderate-dose non-cancer effects of ionizing radiation in directly exposed individuals, especially circulatory and ocular diseases: a review of the epidemiology. *Int J Radiat Biol.* 2021;97:782–803.
119. Jargin SV. Cardiovascular mortality trends in Russia: possible mechanisms. *Nat Rev Cardiol.* 2015;12(12):740.
120. Jorgensen TJ. Dental x-rays and risk of meningioma. *Cancer* 2013;119:463.
121. Jargin SV. Hormesis and radiation safety norms: Comments for an update. *Hum Exp Toxicol.* 2018;37:1233–43.

Молодой ученый

Международный научный журнал
№ 27 (422) / 2022

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

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

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

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

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Номер подписан в печать 20.07.2022. Дата выхода в свет: 27.07.2022.

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

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

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

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

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