

ISSN 2072-0297

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



16+

24 2024
ЧАСТЬ I

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 24 (523) / 2024

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

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

Международный редакционный совет:

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

На обложке изображен *Георгий Петрович Щедровицкий* (1929–1994), советский и российский философ и методолог, общественный и культурный деятель, создатель системо-мыследеятельностной методологии, основатель и лидер Московского методологического кружка, идейный вдохновитель «методологического движения».

Родился Георгий в семье инженера одного из основателей советской авиационной промышленности Петра Георгиевича Щедровицкого и врача-микробиолога Капитолины Николаевны Щедровицкой.

В 1937 году мальчик поступил во второй класс московской средней школы № 2, в которой учился до эвакуации семьи в г. Куйбышев. Там одновременно с учёбой в местной школе работал санитаром в госпитале и шлифовальщиком на военном заводе. В 1943 году семья вернулась в Москву, и Георгий Щедровицкий продолжил учёбу в средней школе № 150, которую окончил в 1946 году с серебряной медалью.

После школы Георгий Петрович поступил в Московский государственный университет, где сначала учился на физическом, а с 1949 года — на философском факультете, который окончил с отличием в 1953 году; его дипломная работа, подготовленная под руководством Е. К. Войшвилло, была посвящена механизмам развития научных понятий на материале истории физики.

В 1951–1958 годах Щедровицкий работал школьным учителем, преподавал логику, психологию и физику.

Сразу же после окончания университета Г. П. Щедровицкий начал работу над кандидатской диссертацией на тему «Языковое мышление и методы его анализа», пытаясь особым образом соединить представления, средства и методы логики, лингвистики, психологии и социологии. После защиты диссертации в 1964 году ему была присуждена ученая степень кандидата философских наук.

В 1952 году Щедровицкий стал одним из основателей Московского логического кружка, который сложился как объединение единомышленников. Инициативное ядро кружка включало также А. А. Зиновьева, с которым Георгий Петрович познакомился на четвертом курсе университета, Б. А. Грушина и М. К. Мамардашвили.

С 1957 года Г. П. Щедровицкий вместе с Н. Г. Алексеевым, В. А. Костеловским и Б. В. Сазоновым приступил к реализации ранее сформированной программы исследования мышления как деятельности и созданию содержательно-генетической логики, активно привлекая новых единомышленников, образовавших к 1958 году объединение, впоследствии ставшее известным как Московский методологический кружок. На этом этапе Щедровицкий стал лидером методологического движения, ведущим идеологом и теоретиком, организатором работы кружка и его семинаров, а также авторитетным учителем для новых членов.

С апреля 1958 года Г. П. Щедровицкий перешел в издательство Академии педагогических наук РСФСР, где в редакции педаго-

гического словаря вел разделы психологии, физиологии и производственного обучения, затем редактировал книги по теории и истории педагогики. Работу в издательстве он совмещал с работой в отделе теории журнала «Вопросы психологии».

С октября 1960 по август 1965 года Г. П. Щедровицкий занимал должность младшего научного сотрудника лаборатории психологии и психофизиологии Научно-исследовательского института дошкольного воспитания АПН РСФСР. Тогда же Щедровицкий (совместно с Б. В. Сазоновым, В. М. Розиным, Н. И. Непомнящей, Н. Г. Алексеевым, А. С. Москаевой и другими) подготовил к изданию фундаментальный труд «Педагогика и логика», в котором были отражены основные направления исследований в рамках содержательно-генетической логики и теории деятельности.

В 1965 году Г. П. Щедровицкий перевелся во Всесоюзный научно-исследовательский институт технической эстетики при Государственном комитете по науке и технике, где с августа 1965 по март 1969 года в должности старшего научного сотрудника руководил группой методологии дизайна.

В феврале 1968 года в Москве проходил судебный процесс по делу диссидентов А. И. Гинзбурга и Ю. Т. Галанскова. Г. П. Щедровицкий поставил свою подпись под коллективным письмом деятелей культуры и науки руководителям КПСС и правительства в защиту обвиняемых. Поэтому в августе того же года Щедровицкий был исключён из рядов КПСС, а в следующем году стал объектом критики в «Реплике» заместителя главного редактора «Правды» В. Г. Афанасьева за перепечатанный «Литературной газетой» отрывок из его выступления о том, что до формирования социологией своего научного предмета проводимые конкретные социологические исследования нельзя рассматривать как научно обоснованные, после чего в марте 1969 года был уволен из ВНИИТЭ «по сокращению штатов». В последующие 20 лет он был вынужден сменить семь мест работы.

В 1988 году был организован комитет по системо-мыследеятельностной методологии и ОДИ при правлении Союза научных и инженерных обществ СССР, который возглавил Георгий Петрович Щедровицкий. С 1989 года по его инициативе проводились всесоюзные совещания (съезды) методологов и игротехников, а в 1991 году начал выходить журнал «Вопросы методологии», главным редактором которого стал Щедровицкий.

Последним местом работы Щедровицкого была Международная академия бизнеса и банковского дела в Тольятти (в настоящее время — Тольяттинская академия управления).

Георгий Петрович Щедровицкий ушёл из жизни 3 февраля 1994 года на своей даче в Болшево в возрасте 64 лет.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Оразгулыев А., Гараджаева С. А.**
Метод парных интегральных уравнений 1

ФИЗИКА

- Бегенджова Г. М., Рустамов М. Р.,
Гылыджова А. А., Мурадов Ю. М.**
Методы наблюдения интерференционных
изображений..... 4

ХИМИЯ

- Ильясов Т. И.**
Вакуумная перегонка кубового остатка:
эффективный способ получения ценных
продуктов 8

- Крутских М. Е.**
Гетерогенный катализ в синтезе
ацетилацетона: перспективы
и технологические аспекты10

- Лучинский В. Э.**
Выщелачивание оксида алюминия
из хромового шлама: обзор методики и её
модификаций11

- Сивак С. А., Макарова Н. О., Торопов Н. В.,
Гольничев К. А., Рябокрас В. Д., Туленин С. С.**
Поиск оптимальных условий образования
твёрдых растворов замещения в системе
SnSe-PbSe с учетом степени превращения
солей металлов в растворе13

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Грибков В. А.**
Анализ эффективности применения
паровых завес трубчатых технологических
печей на нефтеперерабатывающих заводах.....20

- Грибков В. А.**
Анализ основных причин возникновения
и развития аварийных ситуаций на объектах,
эксплуатирующих трубчатые печи..... 22

- Грунин К. Е.**
Закалка бит в домашних условиях24

- Любимов П. В.**
Повышение температурного уровня
солнечной панели в городе Грозном
в зависимости от уровня солнечной
инсоляции26

- Мусаева У. А.**
Анализ интеллектуальной системы
управления летательным аппаратом30

- Нгуен М. Т.**
Задача линейного планирования
в технической диагностике
автотранспортных средств32

- Нгуен М. Т.**
Диагностика механической системы
на основе технологии искусственного
интеллекта35

- Посконный Е. А.**
Оценка ресурса элементов прокатных
станов при формировании мероприятий
технического обслуживания и ремонта39

- Рыбальченко Д. С., Новоселов Н. В.,
Шишкин С. А., Гаффатуллин Р. Б.**
Разработка проекта экскаватора на базе
малогабаритной многофункциональной
гусеничной платформы «Танкоград Т-1500»44

- Саркисян В. А., Воробьева В. М.,
Воробьева И. С., Билялова А. С.,
Соболев Р. В., Ляшенко Е. В.**
Органолептический профиль браззеина
в различных пищевых средах.....50

Солдатова Н. С.

Эффективные стратегии внедрения интегрированной системы менеджмента: последовательное и одновременное внедрение.....52

Тарасов Д. Ю.

Система рекомендаций по оптимизации потерь активной мощности в сложных электрических сетях с использованием оперативных методов55

Тарасов Д. Ю.

Оценка эффективности ограничения токов короткого замыкания в электрических сетях мегаполисов с использованием асинхронизированных электромеханических преобразователей частоты.....58

Тарасов Д. Ю.

Исследование работы электростанций Единой энергетической системы России в общем первичном регулировании частоты62

Тарасов Д. Ю.

Перспективы применения линий и вставок постоянного тока65

**АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН
И СТРОИТЕЛЬСТВО****Кутлуев М. М., Тарасова Е. Е.**

Гидроизолирующие и ремонтные составы на основе модифицированной эпоксиановой смолы68

Суслонина И. В.

Сравнительный анализ расчета шарнирного узла крепления балки к колонне методом конечных элементов с расчетом по серии.....71

Фиалкова А. К.

Объекты культурного наследия: повышение качества городских территорий78

МАТЕМАТИКА

Метод парных интегральных уравнений

Оразгулыев Амангулы, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель;
 Гараджаева Сульгун Атаевна, старший преподаватель
 Туркменский государственный университет имени Махтумкули (г. Ашхабад, Туркменистан)

Рассмотрим плоскую динамическую задачу теории упругости в области, представляющей собой плоскость с разрезом $-a \leq x \leq a$, $y=0$ (рис. 1).

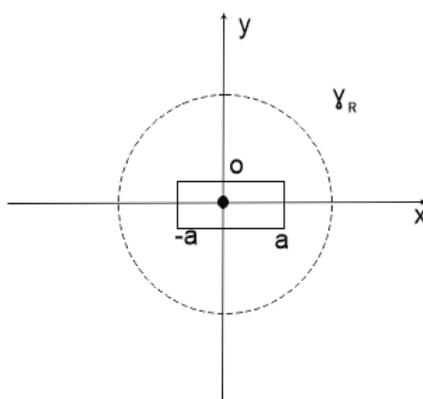


Рис. 1

Этот разрез является математической идеализацией трещины, которая, как предполагается, имеет бесконечные размеры в направлении, перпендикулярном плоскости xOy . Тело будем предполагать однородным и изотропным, Вектор смещения $\vec{u} = \vec{u}(x, y, t)$ удовлетворяет системе уравнений Ляме

$$(\lambda + \mu) \text{grad div} \vec{u} + \mu \Delta \vec{u} = \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \tag{1}$$

а также соответствующим начальным и граничным условиям. Граничные условия состоят в равенстве нулю напряжений τ_{22} и τ_{12} на краях трещины и условий на бесконечности. Вместо неизвестных функций $u_1(x, y, t)$, $u_2(x, y, t)$ удобно ввести потенциалы $\varphi(x, y, t)$ и $\psi(x, y, t)$, полагая

$$\vec{u} = \text{grad} \varphi + \text{rot} \psi \vec{k} \tag{2}$$

где \vec{k} -орт оси, перпендикулярной к плоскости. xOy .

В силу (1) они будут удовлетворять волновым уравнениям

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - c_1^2 \Delta \varphi = 0, \quad c_1^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - c_2^2 \Delta \psi = 0, \quad c_2^2 = \frac{\mu}{\rho}$$

Здесь c_1 и c_2 — скорости распространения, воли расширения-сжатия и сдвига.

В дальнейшем мы будем рассматривать только установившиеся колебания тела с частотой ω , совпадающей с несущей частотой падающей монохроматической волны, которая вызывает эти движения.

Тогда искомые потенциалы φ и ψ могут быть предоставлены в виде

$$\varphi = \operatorname{Re}\{\phi(x, y)e^{-i\omega t}\}, \psi = \operatorname{Re}\{\Psi(x, y)e^{-i\omega t}\}, \quad (3)$$

Где $\phi(x, y)$, $\Psi(x, y)$ — комплекснозначные неизвестные функции. Они удовлетворяют уравнениям Гельмгольца

$$\Delta\phi + \alpha_1^2\phi = 0, \Delta\Psi + \alpha_2^2\Psi = 0. \quad (4)$$

Здесь α_1, α_2 представляют собой волновые числа:

$$\alpha_1 = \frac{\omega}{c_1}, \alpha_2 = \frac{\omega}{c_2}. \quad (5)$$

Падающую волну мы будем предполагать плоской распространяющейся под углом θ к оси ОХ. Если эта волна является волной расширения-сжатия, то ее потенциал могут быть представлены в виде (6):

$$\gamma_{22}^{(r)}(x, 0) = \gamma_{22}^{(s)}(x, 0) = (-1)^j 2\mu P_j \exp\{-i\alpha_j \cos\theta\} \quad (6)$$

Здесь

$$\varphi^{(s)} = \operatorname{Re}\{\phi^{(s)}(x, y)e^{-i\omega t}\}, \Psi^{(s)} = 0, \quad (7)$$

где

$$\phi^{(s)} = \phi_0 \exp\{-\alpha_1 [x \cos\theta + y \sin\theta]\}.$$

В случае падающей волны сдвига аналогично имеем

$$\phi^{(s)} = 0, \Psi^{(s)} = \operatorname{Re}\{\Psi^{(s)}(x, y)e^{-i\omega t}\}, \quad (8)$$

где

$$\Psi^{(s)}(x, y) = \Psi_0 \exp\{-\alpha_2 [x \cos\theta + y \sin\theta]\}.$$

Функции $\phi^{(s)}(x, y)$, $\Psi(x, y)$ являются решением уравнениям (4). Представим искомые функции $\phi(x, y)$, $\Psi(x, y)$ в виде суммы:

$$\phi(x, y) = \phi^{(s)}(x, y) + \phi^{(r)}(x, y), \quad (9)$$

$$\Psi(x, y) = \Psi^{(s)}(x, y) + \Psi^{(r)}(x, y),$$

где функции $\phi^{(r)}, \Psi^{(r)}$ — аналогии функций $\phi^{(s)}, \Psi^{(s)}$ для отраженных волн.

Введём некоторые комплексные функции $\gamma_{ij}(x, y)$, которые связаны с напряжениями τ_{ij} соотношением:

$$\tau_{ij} = \operatorname{Re}\{e^{-i\omega t} \gamma_{ij}\}, i, j = 1, 2 \quad (10)$$

В нашем случае γ_{ij} связаны с функциями $\phi(x, y)$ и $\Psi(x, y)$ формулами:

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \lambda \Delta\phi + 2\mu \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y \partial x} \right), \\ \gamma_{22} &= \lambda \Delta\phi + 2\mu \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} \right), \\ \gamma_{12} &= \mu \left(2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Пользуясь этими формулами, можно найти величины γ_{ij} , соответствующие, напряжениям, возникающим при распространении, падающей волны. В случае волны расширения — сжатия:

$$\begin{aligned} \gamma_{11}^{(s)} &= -\mu \cdot \alpha_2^2 \cdot \phi^{(s)} (1 - 2k^2 \cdot \sin^2\theta), \\ \gamma_{22}^{(s)} &= -\mu \cdot \alpha_2^2 \cdot \phi^{(s)} (1 - 2k^2 \cdot \cos^2\theta), \\ \gamma_{12}^{(s)} &= -\mu \cdot \alpha_2^2 \cdot \phi^{(s)} \cdot k^2 \cdot \sin 2\theta. \end{aligned} \quad (12)$$

Для волны сдвига:

$$\begin{aligned} \gamma_{11}^{(s)} &= -\mu \cdot \alpha_2^2 \cdot \Psi^{(s)} \sin\theta, \\ \gamma_{22}^{(s)} &= -\gamma_{11}^{(s)}, \\ \gamma_{12}^{(s)} &= \mu \cdot \alpha_2^2 \cdot \Psi^{(s)} \cos 2\theta. \end{aligned}$$

Равенство нулю нормального напряжения на краях трещины запишем в виде:

$$\begin{aligned} \gamma_{22}^{(s)}(x, 0) + \gamma_{22}^{(r)}(x, 0) &= 0, |x| < a, \\ \gamma_{12}^{(s)}(x, 0) + \gamma_{12}^{(r)}(x, 0) &= 0, |x| < 0. \end{aligned} \quad (13)$$

В итоге для неизвестных функций $\phi^{(r)}(x, y)$ и $\Psi^{(r)}(x, y)$ получим краевую задачу:

$$\begin{aligned} \Delta\phi^{(r)} + \alpha_1^2 \cdot \phi^{(r)} &= 0, \Delta\Psi^{(r)} + \alpha_2^2 \cdot \Psi^{(r)} = 0, (x, y) \in R^2 \setminus \{(x, 0), |x| < a\}, \\ \lambda\phi^{(r)}(x, 0) + 2\mu \left(\frac{\partial^2 \phi^{(r)}}{\partial y^2}(x, 0) - \frac{\partial^2 \Psi^{(r)}}{\partial x \partial y}(x, 0) \right) &= -\gamma_{22}^{(s)}(x, 0), |x| < a, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\mu \left(2 \frac{\partial^2 \phi^{(r)}}{\partial x \partial y}(x, 0) - \frac{\partial^2 \Psi^{(r)}}{\partial x^2}(x, 0) + \frac{\partial^2 \Psi^{(r)}}{\partial y^2}(x, 0) \right) = -\gamma_{12}^{(s)}(x, 0), |x| < a,$$

Кроме того должны выполняться условия излучения для $\phi^{(r)}, \Psi^{(r)}$ при $(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} \rightarrow \infty$, что обеспечивает единственность решения краевой задачи.

Рассмотрим две вспомогательные задачи.

Задача А:

$$\begin{aligned} \Delta \phi_1^{(r)} + \alpha_1^2 \cdot \phi_1^{(r)} &= 0, y > 0, \\ \Delta \Psi_1^{(r)} + \alpha_2^2 \cdot \Psi_1^{(r)} &= 0, y > 0. \end{aligned} \tag{15}$$

$$u_2^{(2)}(x, 0) = 0, \gamma_{12}^{(r)}(x, 0) = 0, |x| > a,$$

$$\gamma_{22}^{(r)}(x, 0) = -\gamma_{22}^{(s)}(x, 0), \gamma_{12}^{(r)}(x, 0) = 0, |x| < a.$$

Задача В:

$$\begin{aligned} \Delta \phi_2^{(r)} + \alpha_1^2 \cdot \phi_2^{(r)} &= 0, y > 0, \\ \Delta \Psi_2^{(r)} + \alpha_2^2 \cdot \Psi_2^{(r)} &= 0, y > 0. \end{aligned} \tag{16}$$

$$u_1^{(2)} = 0, \gamma_{22}^{(r)}(x, 0) = 0, |x| > a,$$

$$\gamma_{22}^{(r)}(x, 0) = 0, \gamma_{12}^{(r)}(x, 0) = -\gamma_{12}^{(s)}(x, 0), |x| < a.$$

Через $(\phi_1^{(r)})_+, (\Psi_2^{(r)})_+$ обозначим чётное по у продолжение функций $\phi_1^{(r)}, \phi_2^{(r)}$ на нижнюю полуплоскость, через $(\phi_2^{(r)})_-, (\Psi_2^{(r)})_-$ — аналогичное нечетное продолжения функций $\phi_2^{(r)}, \Psi_2^{(r)}$.

Тогда функции

$$\begin{aligned} \phi^{(r)} &= (\phi_1^{(r)})_+ + (\phi_2^{(r)})_-, \\ \Psi^{(r)} &= (\Psi_1^{(r)})_- + (\Psi_2^{(r)})_+, \end{aligned} \tag{17}$$

удовлетворяют краевой задаче (14). Таким образом, решение краевой задачи (14) на всей плоскости свелось к решению задач А и В на верхней полуплоскости.

Литература:

1. Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике.— М.: Наука, 1966 г.
2. Ляв А. Математическая теория упругости.— М.: Л: ОНТИ, 1935 г.
3. Купрадзе В. Д. Методы потенциала в теории упругости.— М.: Физматгиз, 1963 г.

ФИЗИКА

Методы наблюдения интерференционных изображений

Бегенджова Гульшат Мередовна, преподаватель;
Рустамов Мердан Рамазанович, преподаватель;
Гылыджова Айджемал Ашыровна, преподаватель;
Мурадов Юсуп Мурадович, преподаватель
Туркменский государственный университет имени Махтумкули (г. Ашхабад, Туркменистан)

В данной статье описывается метод экспериментального наблюдения интерференции. При разделении волнового фронта пучка света зеркалами Френеля и бипризмой Френеля возникает явление интерференции. Определяется длина волны по картине интерференционных полос.

Ключевые слова: длина волны, фаза, бипризма Френеля, зеркало Френеля, мнимый источник света.

Methods for observing interference images

Begenjova Gulshat Meredovna, teacher;
Rustamov Merdan Ramazanovich, teacher;
Gylyjova Ayjemal Ashyrovna, teacher;
Muradov Yusup Muradovich, teacher
Magtymguly Turkmen State University (Ashgabat, Turkmenistan)

This article describes a method for experimental observation of interference. When the wavefront of a light beam is separated by Fresnel mirrors and a Fresnel biprism, the phenomenon of interference occurs. The wavelength is determined by the pattern of interference fringes.

Keywords: wavelength, phase, Fresnel biprism, Fresnel mirror, imaginary light source.

В данной статье мы будем решать следующие задачи:
Определить длину волны света при помощи интерференции

1. При помощи зеркала Френеля
2. При помощи бипризмы Френеля

Таблица 1. Оборудование

Бипризма Френеля	08556.00	1
Подставка для призмы с креплением	08254.00	1
Зеркало Френеля	08560.00	1
Линзы, вставляемые, $f = +20$ мм	08018.01	1
Линзы, вставляемые, $f = +300$ мм, бесцветный	08025.01	1
Держатель для линз	08012.00	2
Поворотный кронштейн	08256.00	1
Ползунок с креплением для опт. скам. $h = 30$ мм	08286.01	2
Ползунок с креплением для опт. скам. $h = 80$ мм	08286.02	2
Оптическая скамья $l = 1000$ мм	08282.00	1
Подставка для опт. скам., регулируемая	08284.00	2
Лазер, He-Ne 1.0 мВт. 220 В перем. ток	08181.93	1
Рулетка, $h = 2$ м	09936.00	1

Подготовка и измерения

Экспериментальная установка для получения интерференции при помощи зеркал Френеля показана на Рис. 1. На оптической скамье закрепляются лазер (2 см), держатель для линз и линзы с фокусным расстоянием $f = 20$ мм (23,3 см) и установка с зеркалом Френеля (43,2 см). Освещенная поверхность на расстоянии примерно от 2 до 5 м используется в качестве экрана.

Перед началом эксперимента подвижная часть зеркал Френеля устанавливается таким образом, чтобы 2 половинки зеркала были практически параллельны.

Поверхность зеркала располагается параллельно оптической скамье. Лазер устанавливается таким образом, чтобы расширенный пучок луча равномерно попадал на обе половинки зеркала.

В результате на экране отображаются два световых пятна разделенных затемненной областью. Поворачивая регулировочные винты зеркал Френеля, подвижная часть зеркала поворачивается до тех пор, пока эти зоны не перекроются. Наблюдаемая интерференционная картина и ее зависимость от угла наклона зеркал наблюдается на экране. Интерференционная картина должна иметь вид, аналогично показанной на Рис. 4.

Экспериментальная установка с бипризмой аналогична установке, показанной на Рис. 1 (справа). На оптической скамье помимо лазера и первой линзы установлены ползунок с креплением для призмы и бипризма (45 см), а так же держатель для линзы и линза с фокусным расстоянием 300 мм (примерно 60 см).

(Нельзя смотреть непосредственно на неослабленный лазерный луч.

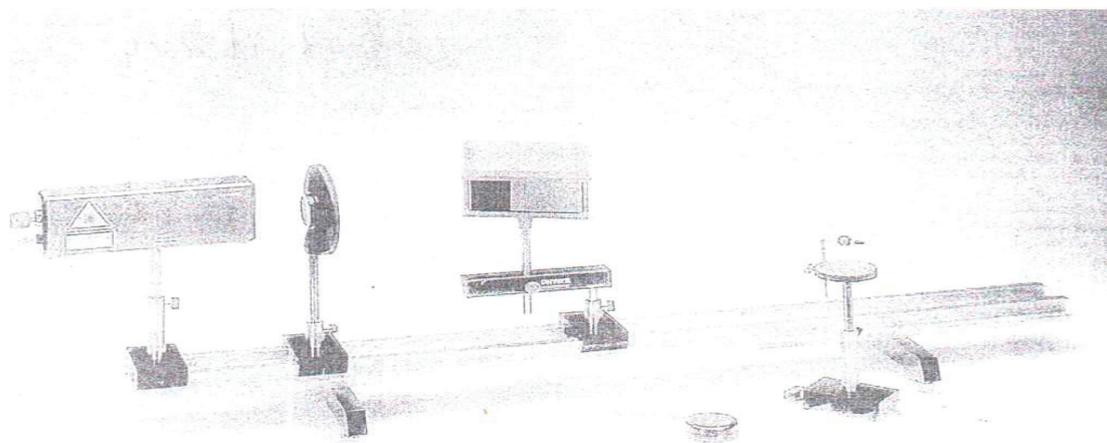


Рис. 1. Экспериментальная установка для получения интерференции при помощи зеркал Френеля

Расширенный луч попадает на центральное ребро бипризмы. При помощи линзы, расположенной на расстоянии 60 см, два мнимых источника света проецируются на освещенную поверхность, находящуюся на расстоянии примерно 3 м. Измеряется расстояние между двумя точечными источниками, изображающей линзой и изображением и расстоянием до объекта — расстояние между линзой 1 и линзой 2 минус фокусное расстояние линзы 1. Если устраняется линза 2, то наблюдается интерференционная картина. Измеряется расстояние m последующих интерференционных полос.

Теория и вычисления

Если свет длиной волны λ из двух точечных источников, чья разность фаз постоянна (когерентность), падает в точку P, то два луча света интерферируются. Если две амплитуды вектора распространения в направлении по оси x имеют вид:

$$S_i = a_i e^{i(Z/\lambda - \delta_i)}$$

где, δ_i это фаза, а интенсивность каждой задается по формуле:

$$I_i = S_i \cdot S_i^*$$

то в результате совмещения получаем

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (1)$$

где

$$\delta = \delta_1 - \delta_2$$

В соответствии с уравнением (1) I имеет максимум и минимум, как функция от разности фаз δ . В случае зеркал Френеля волна от источника света Q падает на два зеркала, наклоненных: под углом α . Интерференционная картина наблюдается на экране S. Зеркало с источником света можно заменить двумя источниками когерентного света Q1 и Q2 расположенными на расстоянии d друг от друга.

Если r это расстояние между Q и точкой соприкосновения зеркал A, то из Рис.2 получаем:

$$AQ_1 = AQ_2 = r$$

и

$$d = 2r \sin \alpha.$$

Если расстояние α между экраном и зеркалами велико по сравнению с расстоянием между двумя соседними интерференционными максимумами, то при определенном приближении имеет место, следующее равенство:

$$r_2 = r_1 = a$$

$$r_2 - r_1 = \frac{pd}{a}$$

т. к.

$$(r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = 2pd$$

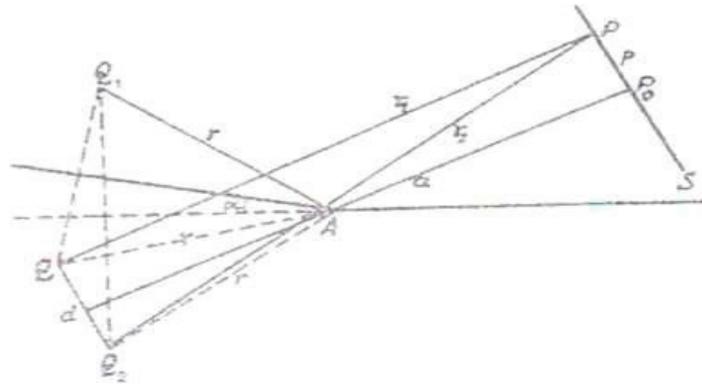


Рис. 2. Геометрическое расположение при использовании зеркал Френеля

Разность фаз δ таким образом

$$\delta = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \frac{2\pi p d}{\lambda a}$$

В соответствие с уравнением (1) максимум, возникающий на экране для расстояний p , равен:

$$p = n \frac{\lambda a}{d}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

и минимум

$$p = \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda a}{d}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Расстояние d между двумя мнимыми источниками света определяются путем проекции их четкого изображения на экран, используя линзу с фокусным расстоянием f и измеряя размер изображения B

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{g}{b} = \frac{d}{B}$$

где g и b — расстояние от объекта до линзы и от изображения до линзы соответственно.

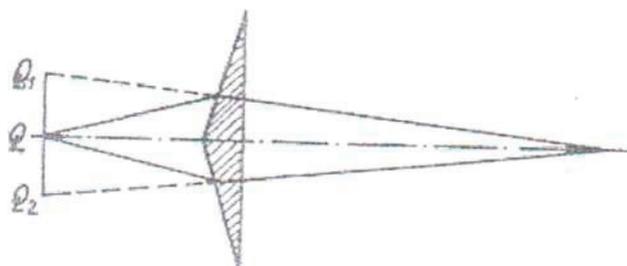


Рис. 3. Геометрическое расположение при использовании бипризмы Френеля

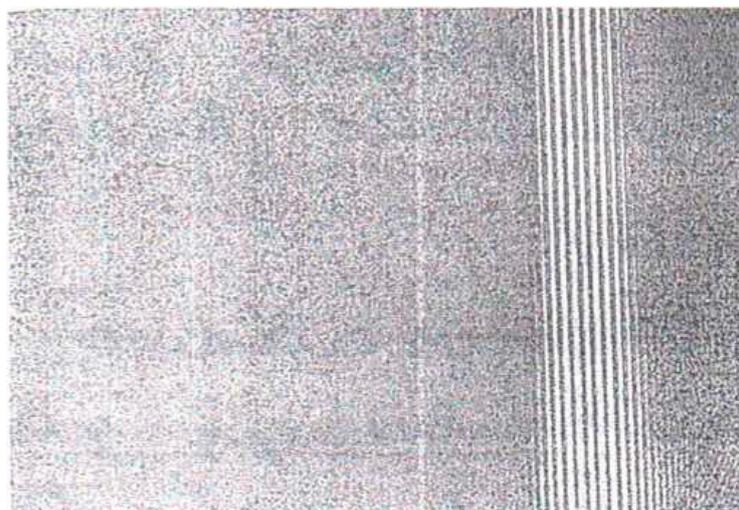


Рис. 4. Интерферограмма зеркал Френеля

$$d = \frac{B \cdot f}{b - f} \quad (4)$$

Из этого, а также из уравнения (2) и (3), λ определяется, как среднее нескольких измерений используя различные углы наклона зеркал.

$n = 1$ и формула (2)

$$p = \frac{\lambda a}{d}$$

или

$$\lambda = \frac{dp}{a}$$

при

Литература:

1. Чарыев А. Основные законы физики. Учебное пособие для учителей средних и старших классов.— Ашхабад. Туркменская государственная издательская служба, 2004.
2. www.phywe.com.
3. info@phywe.com.

$$d = \frac{B \cdot f}{b - f}$$

α — расстояние между двумя соседними максимумами
 $\lambda = 626,5$ нМ.

В случае бипризмы Френеля расстояние d определяется точно также как и в случае зеркал Френеля, используя уравнение (4).

Уравнение (3) аналогичным образом используется для расстояния p между интерференционными полосами, если влияние показателя преломления и толщина призмы не принимается во внимание. Используя уравнения (4), (3) и (2) значения λ определяется как $\lambda = 624,0$ нМ.

Справочное значение: 632,8 нМ.

ХИМИЯ

Вакуумная перегонка кубового остатка: эффективный способ получения ценных продуктов

Ильясов Тихон Ильдарович, студент

Научный руководитель: Строганова Елена Алексеевна, кандидат химических наук, доцент
Оренбургский государственный университет

В статье автор исследует вакуумную перегонку кубового остатка, ее эффективность при получении целевых продуктов.

Ключевые слова: вакуумная перегонка, кубовый остаток, способ получения.

Вакуумная перегонка — это ключевой процесс в нефтепереработке, направленный на извлечение ценных продуктов из кубового остатка — густого и высококипящего остатка, получаемого после атмосферной перегонки нефти. Данный процесс является сложным и многоступенчатым, но необходимым для получения максимальной выгоды из перерабатываемого сырья [1].

Процесс вакуумной перегонки [2]:

1. предварительная подготовка: Кубовый остаток поступает в вакуумную колонну, предварительно подогреваясь для снижения вязкости.
2. вакуумная среда: В колонне создается глубокий вакуум (давление около 10–100 мм рт. ст.), что значительно снижает

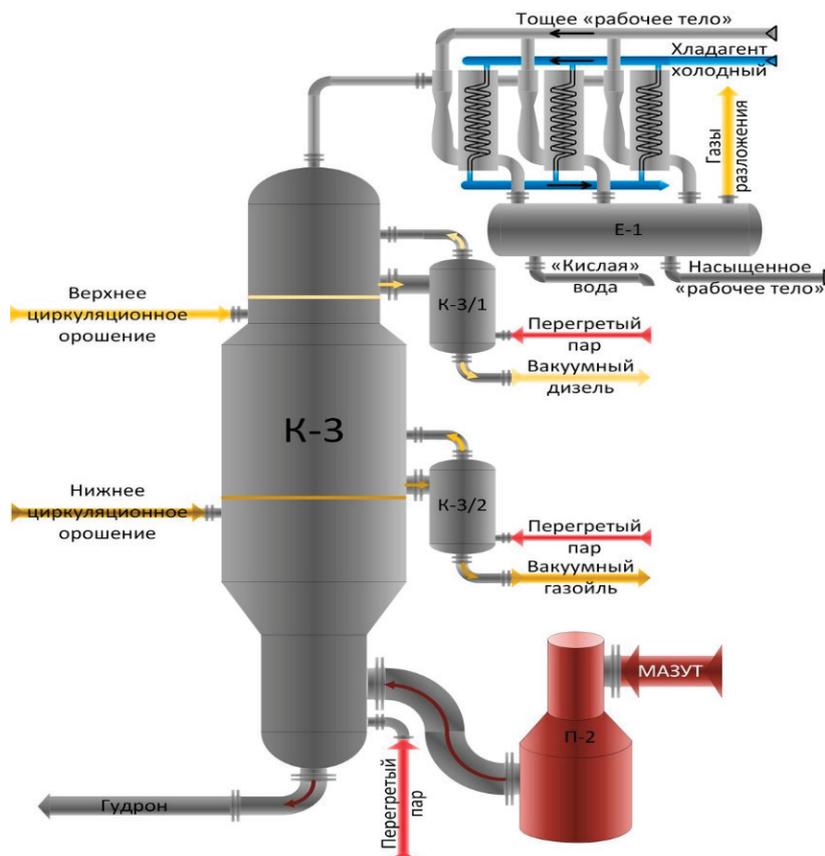


Рис. 1. Схема вакуумной перегонки кубового остатка

температуру кипения компонентов кубового остатка, предотвращая их разложение и коксообразование.

3. Разделение фракций: В вакуумной колонне, благодаря разнице в температурах кипения, происходит разделение на фракции:

— вакуумный газойль: фракция, кипящая при температуре 340–550°C. Используется как сырье для производства дизельного топлива, мазута, и других продуктов, а также в качестве сырья для гидрокрекинга.

— вакуумный остаток: фракция, кипящая при температуре выше 550°C. Является тяжелым и густым продуктом, направляемым на дальнейшую переработку:

— висбрекинг: процесс разложения вакуумных остатков с помощью водорода, позволяющий получить более легкие фракции.

— коксование: термическое разложение вакуумных остатков с получением кокса — ценного продукта, используемого в металлургии.

— переработка в асфальт: производство дорожных материалов.

4. Контроль и оптимизация: Процесс вакуумной перегонки требует постоянного контроля и оптимизации. Операторы следят за давлением, температурой, скоростью подачи сырья и другими параметрами для достижения максимальной эффективности и качества получаемых продуктов.

Современные технологии [3]:

В последние годы были разработаны новые технологии вакуумной перегонки, позволяющие повысить эффективность и экологичность процесса.

— Двухступенчатая вакуумная перегонка: использование двух вакуумных колонн позволяет увеличить выход ценных фракций.

— Применение катализаторов: добавление катализаторов в кубовый остаток перед вакуумной перегонкой позволяет повысить выход светлых фракций.

— Разработка новых материалов: использование жаропрочных и коррозионностойких материалов позволяет повысить

надежность оборудования и снизить эксплуатационные расходы.

Преимущества вакуумной перегонки [4, 5].

— Получение ценных фракций: вакуумная перегонка позволяет извлечь из кубового остатка фракции, недоступные при атмосферной перегонке, увеличивая ценность перерабатываемого сырья.

— Минимизация коксообразования: низкое давление и температура кипения в вакуумной колонне минимизируют образование кокса, увеличивая срок службы оборудования и снижая риски экологических проблем.

— Эффективное использование сырья: вакуумная перегонка позволяет переработать большее количество кубового остатка, получая из него максимальную ценность.

— Улучшение качества нефтепродуктов: получаемые продукты обладают лучшими эксплуатационными свойствами, например, более низкой вязкостью и улучшенным качеством горения.

Вакуумная перегонка кубового остатка является важным и эффективным процессом в нефтепереработке. Она позволяет получать ценные продукты, повышать эффективность использования сырья и снижать экологические нагрузки. Совершенствование технологий вакуумной перегонки и развитие новых методов переработки кубового остатка продолжают, что позволяет получать еще больше ценных продуктов, увеличивать эффективность всей цепочки нефтепереработки и создавать более устойчивую и экологически чистую нефтехимическую отрасль.

Вакуумная перегонка представляет собой эффективный и перспективный подход к переработке кубового остатка [4]. Использование разных диапазонов давлений и температур позволяет упростить процесс выделения целевого продукта, повысить экономическую эффективность и обеспечить возможность большого выхода веществ. Дальнейшее развитие этого направления связано с оптимизацией существующих технологий, определением более эффективных технологических режимов и увеличением разнообразия сырья для вакуумной перегонки.

Литература:

1. Артеменко А. И. Органическая химия. — М.: Высшая школа, 2002. — 559 с.
2. Ершов Б. А., Михайлова О. В. Органическая химия. — М.: Юрайт, 2020. — 696 с.
3. Терней А. Современная органическая химия в 2-х томах. — М.: Мир, 1981. — 664 с.
4. Реутов О. А., Курц А. Л., Бутин К. П. Органическая химия в 4-х частях. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004.
5. Нейланд О. Я. Органическая химия. — М.: Высшая школа, 1990. — 751 с.

Гетерогенный катализ в синтезе ацетилацетона: перспективы и технологические аспекты

Крутских Мария Евгеньевна, студент

Научный руководитель: Строганова Елена Алексеевна, кандидат химических наук, доцент
Оренбургский государственный университет

В статье автор исследует гетерогенный катализ на примере синтеза ацетилацетона.

Ключевые слова: катализ, ацетилацетон, катализаторы.

Гетерогенный катализ является одним из наиболее важных и широко используемых методов в современной химической промышленности. Это процесс, в котором катализатор находится в отдельной фазе (твёрдой, жидкой или газообразной) от реагентов, что позволяет ему взаимодействовать с ними, не смешиваясь [4].

Основное преимущество гетерогенного катализа заключается в его эффективности и универсальности. Катализаторы, как правило, представляют собой твёрдые материалы, такие как металлы, оксиды, сульфиды или углеродные материалы, которые могут быть разработаны для решения широкого спектра химических задач [3]. Они обеспечивают высокую производительность, поскольку их можно легко отделить от реакционной смеси и использовать повторно.

Механизм гетерогенного катализа основан на адсорбции реагентов на поверхности катализатора, где они вступают в химические реакции. Катализатор снижает энергию активации процесса, что ускоряет реакцию и повышает ее селективность. Кроме того, гетерогенные катализаторы обладают высокой устойчивостью к загрязнениям и могут работать в жестких условиях, таких как высокие температуры и давления [1].

Гетерогенный катализ широко применяется в таких важных отраслях, как нефтепереработка, производство химических веществ, энергетика и охрана окружающей среды [2]. Например, катализаторы используются в процессах крекинга нефти, гидрирования, окисления и восстановления. Они также играют ключевую роль в технологиях производства топлив, полимеров, лекарств и других ценных продуктов.

Исследования в области гетерогенного катализа продолжаются, с целью разработки более эффективных, селективных и устойчивых катализаторов. Это позволяет постоянно совершенствовать химические процессы, повышая их экономическую эффективность и экологическую безопасность [1].

Ацетилацетон является важным промышленным химическим соединением, используемым в качестве растворителя, прекурсора органического синтеза, а также в производстве лекарственных средств, красителей, пластмасс и других материалов (рис. 1). Одним из наиболее эффективных и экономически выгодных методов получения ацетилацетона является

реакция конденсации ацетона и уксусного ангидрида с применением гетерогенных катализаторов.

Использование гетерогенных катализаторов в синтезе ацетилацетона имеет ряд важных преимуществ по сравнению с традиционными гомогенными системами [5]. Во-первых, гетерогенные катализаторы легко отделяются от реакционной смеси, что значительно упрощает процесс очистки целевого продукта. Кроме того, многие твёрдые катализаторы отличаются высокой химической и термической стабильностью, что позволяет использовать их повторно, повышая общую экономическую эффективность процесса.

Важно отметить, что выбор конкретного гетерогенного катализатора может оказывать существенное влияние на эффективность синтеза ацетилацетона. Так, было обнаружено, что использование оксида алюминия в качестве катализатора приводит к более высокому выходу целевого продукта по сравнению с такими системами, как сульфатированный оксид циркония или ионообменные смолы. Это связано с уникальными кислотно-основными свойствами оксида алюминия, которые способствуют оптимальной активации уксусного ангидрида и протеканию последующих стадий реакции [5].

Механизм действия гетерогенных катализаторов в реакции конденсации ацетона и уксусного ангидрида включает несколько основных стадий (рис. 2). Первоначально происходит адсорбция реагентов на поверхности катализатора, где они активируются. Далее следует стадия нуклеофильной атаки ацетона на активированный уксусный ангидрид, образование β -кетозфира и его последующая внутримолекулярная циклизация с образованием ацетилацетона.

Важную роль в этом процессе играют кислотно-основные свойства катализатора, а также его текстурные характеристики, такие как удельная поверхность и пористость [2]. Кислотные центры на поверхности катализатора ответственны за активацию уксусного ангидрида, в то время как текстурные свойства влияют на адсорбцию реагентов и доступность активных участков.

Использование гетерогенных катализаторов в синтезе ацетилацетона является перспективным подходом, обеспечивающим высокую эффективность процесса, простоту выделения

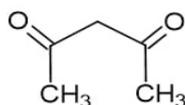


Рис. 1. Структурная формула ацетилацетона

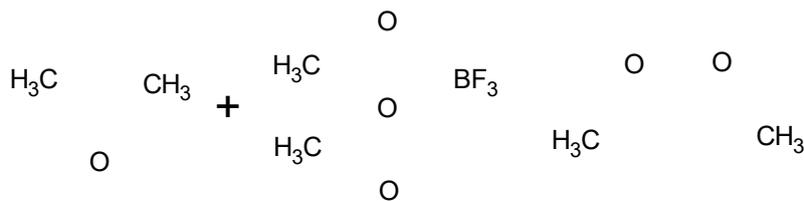


Рис. 2. Реакция конденсации ацетона и уксусного ангидрида

продукта и возможность многократного использования катализатора. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку новых, более эффективных гетерогенных систем, а также на оптимизацию существующих технологий.

Например, перспективным направлением является изучение возможности применения наноструктурированных катализаторов, которые могут обладать улучшенными каталитическими свойствами благодаря высокой удельной поверхности и развитой системе пор [2]. Кроме того, интересны исследования по модифицированию поверхности гетерогенных ката-

лизаторов для направленного регулирования их кислотно-основных свойств и, как следствие, повышения селективности и выхода целевого продукта.

Гетерогенный катализ представляет собой эффективный и перспективный подход к синтезу ацетилацетона [4]. Использование твердых катализаторов позволяет упростить процесс выделения продукта, повысить экономическую эффективность и обеспечить возможность многократного использования катализатора. Дальнейшее развитие этого направления связано с разработкой новых высокоактивных гетерогенных систем и оптимизацией существующих технологий.

Литература:

1. Дерягин А. В. Гетерогенный катализ. — М.: Высшая школа, 2005. — 304 с.
2. Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Зотеев А. В. Основы физической химии. — М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. — 607 с.
3. Тарасов А. Б. Гетерогенный катализ в химической технологии: Учебное пособие. — СПб.: Лань, 2014. — 368 с.
4. Крылов О. В. Гетерогенный катализ. — М.: Академкнига, 2004. — 679 с.
5. Бухтияров В. И. Гетерогенный катализ: от молекул к промышленным процессам // Успехи химии. — 2012. — Т. 81. — № 4. — С. 339–379.

Выщелачивание оксида алюминия из хромового шлама: обзор методики и её модификаций

Лучинский Владимир Эдуардович, студент

Научный руководитель: Строганова Елена Алексеевна, кандидат химических наук, доцент
Оренбургский государственный университет

В статье автор исследует методику выщелачивания оксида алюминия из шлама хромового производства.

Ключевые слова: оксид алюминия, хромовый шлам, выщелачивание.

Хромовый шлам, являющийся побочным продуктом производства хромовых соединений, содержит значительные количества оксида алюминия (Al₂O₃), ценного сырья для различных отраслей промышленности. Выщелачивание — один из ключевых методов выделения Al₂O₃ из хромового шлама [1]. Методика заключается в растворении оксида алюминия, содержащегося в хромовом шламе, водным раствором щелочи (NaOH или Na₂CO₃) при повышенной температуре и последующим осаждением его в виде гидроксида алюминия.

Процесс выщелачивания [3]:

1. Подготовка шлама: Шлам измельчают до необходимого размера частиц для увеличения поверхности контакта с рас-

твором. Перед выщелачиванием можно предварительно высушить шлам.

2. Выщелачивание: Измельченный шлам обрабатывают раствором NaOH или Na₂CO₃ при температуре 100–200°C при постоянном перемешивании. Выщелачивание проводят 2 часа. Оксид алюминия переходит в раствор в виде алюминатов (NaAlO₂). Также необходимо использовать обратный холодильник для избежание улетучивания продукта. Установка для выщелачивания представлена на рисунке 1.

3. Отделение твердой фазы: Полученный раствор фильтруют, отделяя нерастворимые компоненты хромового шлама. Анализируют полученный остаток на содержание алюминия.

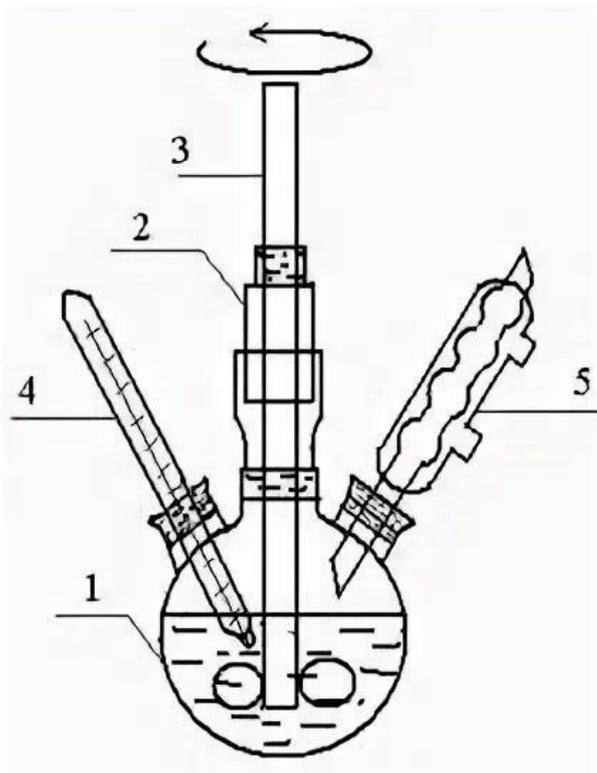


Рис. 1. Установка для выщелачивания оксида алюминия:

1 — трехгорлая колба; 2,3 — механическая мешалка; 4 — термометр; 5 — обратный холодильник

При большом остаточном содержании можно провести повторное выщелачивание.

4. Осаждение гидроксида алюминия: В фильтрат добавляют воду, что приводит к гидролизу алюминатов и осаждению гидроксида алюминия ($\text{Al}(\text{OH})_3$). В качестве осаждающего вещества можно использовать раствор соляной кислоты или кристаллический хлорид аммония NH_4Cl . Последний является наиболее приоритетным, так как значительно увеличивает эффективность осаждения при небольших затратах реагента [4].

5. Промывка и кальцинирование: Осажденный $\text{Al}(\text{OH})_3$ промывают раствором сульфата натрия для удаления примесей и подвергают термической обработке (кальцинированию) при температуре $700\text{--}800^\circ\text{C}$, получая оксид алюминия (Al_2O_3).

Преимущества метода выщелачивания [5]:

- Высокая степень извлечения Al_2O_3 : Метод позволяет извлечь до 90% оксида алюминия из хромового шлама.
- Относительно простая технология: Метод не требует сложного оборудования и может быть реализован на существующих предприятиях.
- Возможность комплексной переработки шлама: Метод позволяет одновременно извлекать другие ценные компоненты, например, хром.

Недостатки метода выщелачивания:

- Высокое потребление энергии: Процесс выщелачивания требует высоких температур, что приводит к значительным затратам на энергию.
- Загрязнение сточных вод: Метод приводит к образованию щелочных сточных вод, требующих очистки.

- Образование твердых отходов: Остаточный твердый остаток после выщелачивания также требует утилизации.

Модификации метода выщелачивания:

- Применение биовыщелачивания: Использование микроорганизмов для увеличения эффективности процесса выщелачивания и уменьшения потребления энергии.
- Применение альтернативных реагентов: Замена NaOH или Na_2CO_3 более эффективными и экологичными реагентами, например, солями органических кислот.
- Для повышения степени извлечения алюминия в процессе выщелачивания эффективнее применять раствор аммиака или сухой гидроксид алюминия.
- Сочетание с другими методами: Комбинирование выщелачивания с другими методами, например, флотацией или магнитной сепарацией, для улучшения качества конечного продукта.

Перспективы развития [6]:

- Разработка более эффективных и экологически чистых реагентов для выщелачивания.
- Разработка новых методов очистки сточных вод, образующихся при выщелачивании.
- Создание замкнутых технологических циклов, минимизирующих образование отходов.

В целом, выщелачивание является эффективным методом выделения оксида алюминия из хромового шлама. Однако для его совершенствования необходимо дальнейшее развитие методики с целью повышения ее эффективности, экологичности и экономичности.

Литература:

1. Сарсенов А. М., Кабиева А, Амерханова Ш. Проблемы увеличения комплексности использования сырья при переработке хромитовых руд // Промышленность Казахстана, 2012.— № 4 (73).— С. 79–82.
2. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2: Даффа-Меди /Редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.) и др.— М.: Сов. энцикл., 1990.— 671 с.
3. Пльшевский Ю. С., Гаркунова Н. В., Ткачев К. В. О переработке некоторых техногенных отходов // Тр. УНИХИМ-Вып.72, Екатеринбург,— 2005.— С. 20–25
4. Авербух Т. Д., Павлов П. Г. Технология соединений хрома. Л.: Химия, 1967.— 376 С.
5. Рябин В. А., Попильский М. Я., Солошенко А. А. и др. Современные технологии переработки хромовых руд, нейтрализации и утилизации токсичных отходов // Сб. науч.-техн. конф. по переработке техногенных образований Техноген-97, Екатеринбург.— С. 59–61.
6. Бабаян, Е. А. Переработка хромсодержащих отходов гальванических производств: Дисс... канд. тех. наук.— М.— 1988.— 191 с.

Поиск оптимальных условий образования твердых растворов замещения в системе SnSe-PbSe с учетом степени превращения солей металлов в растворе

Сивак Софья Александровна, студент;

Макарова Наталья Олеговна, студент;

Торопов Никита Владимирович, студент;

Голыничев Константин Алексеевич, студент;

Рябокрус Владислав Дмитриевич, студент;

Туленин Станислав Сергеевич, кандидат химических наук, доцент

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

В данной статье описан поиск оптимальных условий образования твердых растворов замещения в системе SnSe-PbSe. Результаты исследования показали возможность совместного образования селенидов олова и свинца из аскорбатно-тарtratной реакционной смеси для получения пленок высокого качества. Оптимальными условиями для осаждения можно считать $pH = 5,3 \pm 0,05$.

Ключевые слова: гидрoхимическое осаждение, граничные условия образования, полупроводниковые материалы, твердый раствор замещения.

Введение

В последние годы большое внимание уделяется изучению бинарных соединений типа A_2B_6 , A_4B_6 (халькогениды цинка, кадмия, ртути, олова, свинца) и твердых растворов на их основе, так как они относятся к важнейшим материалам полупроводниковой оптоэлектроники.

Среди материалов, используемых в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах (3–14 мкм) являются перспективными твердые растворы замещения в системе селенид свинца-селенид олова(II). Селенид свинца, в частности, применяют при изготовлении малоинерционных фотоприемников и фотоизлучателей, обладающих при комнатной температуре высокой фоточувствительностью в ближнем и среднем ИК-диапазоне. Такие приборы используют при создании газоанализаторов на основе оптопар для регистрации таких газов как оксиды углерода и углеводороды (углекислый и угарный газ, метан, пропан, пары нефтепродуктов и другие углеводороды) [1].

Основное назначение пленок селенида олова(II) — материалы переключающих и термоэлектрических устройств, солнечных фотоэлектрических элементов, систем голографической записи. К наиболее распространенным методам получения селенида олова(II) можно отнести термическое испарение, химическое осаждение из газовой фазы, совместное спекание слоев олова и селена, метод абляции, электрохимическое осаждение [2].

Особенность твердых растворов замещения на основе селенидов свинца и олова заключается в присущей им инверсии зон проводимости при формировании общей структуры $PbSe-SnSe$, в результате чего наблюдается уменьшение ширины запрещенной зоны твердого раствора с увеличением содержания в нем селенида олова и сдвиг диапазона спектральной чувствительности в диапазон длинных волн [3].

Гидрохимическое осаждение халькогенидов металлов с использованием тио-, селеноамидов и их производных известно с 1884 года. Данный метод позволяет получать тонкие пленки халькогенидов металлов и твердых растворов замещения на их ос-

нове, открывая большие возможности для синтеза новых многокомпонентных соединений. Метод отличается высокой конкурентоспособностью при достижении требуемых электрофизических свойств получаемых пленок в сравнении с известными способами синтеза [4].

Актуальной является возможность прогнозирования состава и структуры пленок при гидрохимическом получении из различных реакционных смесей. Определение условий осаждения халькогенидов металлов и образующихся при этом примесных фаз (выбор значений pH, начальной концентрации соли металла, халькогенизатора, вида и концентрации лиганда) необходимо для уменьшения объема экспериментальных исследований. Для точности расчета большое значение имеет учет поведения халькогенизаторов и механизма их разложения.

Твердые растворы замещения $Pb_{1-x}Sn_xSe$, полученные методом гидрохимического осаждения, могут найти широкое применение для использования в фотодетекторах, так как производство таких пленок не требует больших затрат и обладает высокой воспроизводимостью.

Целью настоящей работы является определение оптимальных условий образования твердого раствора замещения $Pb_{1-x}Sn_xSe$ с учетом степени превращения солей металлов в растворе.

Материалы и методы

Расчет, выполненный в данной работе, предназначен для определения области совместного осаждения селенидов свинца и олова гидрохимическим осаждением, оно проводится в реакционной ванне, включающей соль металла, щелочной и комплексообразующий агенты и халькогенизатор. Процесс образования селенида реализуется через коллоидно-химическую стадию и представляет совокупность топохимических и автокаталитических реакций, механизм которых до конца не изучен [5].

Долевою концентрацию незакомплексованных ионов олова определяли следующим образом:

$$\alpha_{Sn^{2+}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{[Y^{4-}]}{k_{H_1}} + \frac{[OH^-]}{k_{H_3}} + \frac{[OH^-]^2}{k_{H_4}} + \frac{[OH^-]^3}{k_{H_5}}\right)} \quad (1)$$

Долевая концентрация закомплексованных ионов олова:

$$\alpha_{[SnY]^{2-}} = \frac{[Y^{4-}]}{k_{H_1} \cdot \beta} \quad (2)$$

$$\alpha_{[SnOH]^+} = \frac{[OH^-]}{k_{H_3} \cdot \beta} \quad (3)$$

$$\alpha_{[Sn(OH)_2]} = \frac{[OH^-]^2}{k_{H_4} \cdot \beta} \quad (4)$$

$$\alpha_{[Sn(OH)_3]^-} = \frac{[OH^-]^3}{k_{H_5} \cdot \beta}, \quad (5)$$

$$\text{где } \beta = 1 + \frac{[Y^{4-}]}{k_{H_1}} + \frac{[OH^-]}{k_{H_3}} + \frac{[OH^-]^2}{k_{H_4}} + \frac{[OH^-]^3}{k_{H_5}}$$

Долевая концентрация незакомплексованных ионов свинца:

$$\alpha_{Pb^{2+}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{[Y^{4-}]}{k_{H_1}} + \frac{[OH^-]}{k_{H_6}} + \frac{[OH^-]^2}{k_{H_7}} + \frac{[OH^-]^3}{k_{H_8}} + \frac{[OH^-]^4}{k_{H_9}}\right)} \quad (6)$$

Долевая концентрация закомплексованных ионов свинца:

$$\alpha_{[PbY]^{2-}} = \frac{[Y^{4-}]}{k_{H_1} \cdot \beta} \quad (7)$$

$$\alpha_{[PbOH]^+} = \frac{[OH^-]}{k_{H_6} \cdot \beta} \quad (8)$$

$$\alpha_{[Pb(OH)_2]} = \frac{[OH^-]^2}{k_{H_7} \cdot \beta} \quad (9)$$

$$\alpha_{[Pb(OH)_3]^-} = \frac{[OH^-]^3}{k_{H_8} \cdot \beta} \quad (10)$$

$$\alpha_{[Pb(OH)_4]^{2-}} = \frac{[OH^-]^4}{k_{H_9} \cdot \beta}, \tag{11}$$

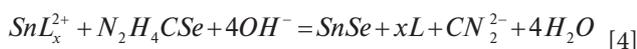
$$\text{где } \beta = 1 + \frac{[Y^{4-}]}{k_{H_1}} + \frac{[OH^-]}{k_{H_6}} + \frac{[OH^-]^2}{k_{H_7}} + \frac{[OH^-]^3}{k_{H_8}} + \frac{[OH^-]^4}{k_{H_9}}$$

По полученным данным были построены графики зависимости долевых концентраций незакомплексованных ионов свинца и олова от рН (рис. 1 и 2).

Из графика видно, что при значениях рН от 4 до 7 в растворе преимущественно присутствует соединение свинца $Pb(OH)_2$, в диапазоне от 7 до 10 — $Pb(OH)_3$, от 10 до 11 — $Pb(OH)_4$, а в более щелочной среде снова $Pb(OH)_4$.

Из графика видно, что при значениях рН от 1 до 5 в растворе преимущественно присутствует соединение олова $Sn(OH)_2$, в диапазоне от 5 до 9,5 — $Sn(OH)_2$, а в более щелочной среде — $Sn(OH)_3$.

Общее уравнение взаимодействия комплексной соли олова с халькогенизатором:



$$pPP = p[Sn^{2+}]_p + p[Se^{2-}]_p = pK_c + pk_{H_2Se} + p[CSeN_2H_4]_p + p\beta_u - 4pH - p\frac{(C_u - C_p)}{C_p} + p\alpha_{Sn^{2+}} \tag{12}$$

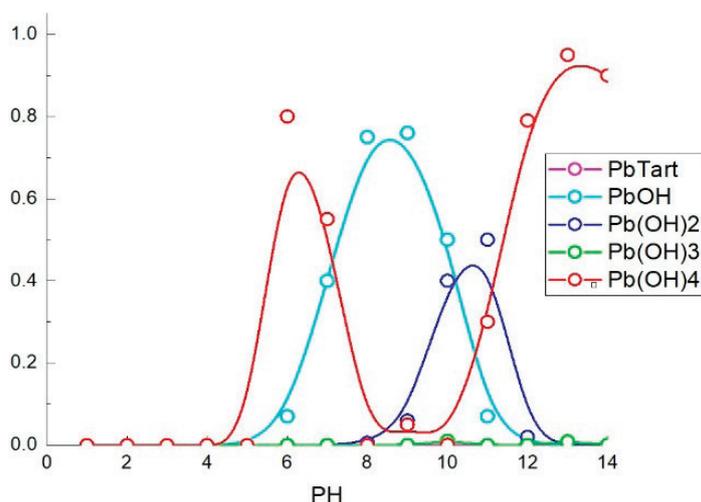


Рис. 1. График зависимости $\alpha_{Pb} = f(pH)$

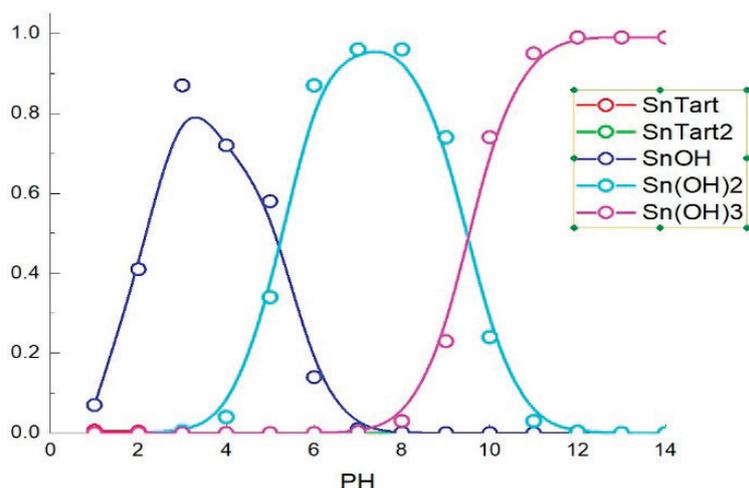


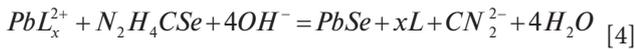
Рис. 2. График зависимости $\alpha_{Sn} = f(pH)$

С учетом проведенных расчетов $\alpha_{Sn^{2+}}$ после подстановки численных значений констант ($pK_{H_2Se} = 14,89$, $pK_c = 30,89$, $pPP = 38,4[6]$), используя $\delta = C_p / C_n$, получим уравнение:

$$4pH - p\beta_{ii} - p\alpha_{Sn^{2+}} = 7,38 + p[CSeN_2H_4]_p - p\frac{(1-\delta)}{\delta}$$

$$4pH - p\beta_{ii} - p\alpha_{Sn^{2+}} = 7,38 - p\frac{(1-\delta)}{\delta} \quad (13)$$

Общее уравнение взаимодействия комплексной соли свинца с халькогенизатором:



$$pPP = p[Pb^{2+}]_p + p[Se^{2-}]_p = pK_c + pK_{H_2Se} + p[CSeN_2H_4]_p + p\beta_{ii} - 4pH - p\frac{(C_n - C_p)}{C_p} + p\alpha_{Pb^{2+}} \quad (14)$$

С учетом проведенных расчетов $\alpha_{Pb^{2+}}$ после подстановки численных значений констант ($pK_{H_2Se} = 14,89$, $pK_c = 30,89$, $pPP = 38[6]$), используя $\delta = C_p / C_n$, получим уравнение:

$$4pH - p\beta_{ii} - p\alpha_{Pb^{2+}} = 7,78 + p[CSeN_2H_4]_p - p\frac{(1-\delta)}{\delta}$$

$$4pH - p\beta_{ii} - p\alpha_{Pb^{2+}} = 7,78 - p\frac{(1-\delta)}{\delta} \quad (15)$$

Полученные зависимости $4pH - p\beta_{ii} - p\alpha_{Me^{2+}}$ от степеней превращения соли металла в сульфид δ при начальных концентрациях, моль/л: $[Na_2Tart] = 0,01-0,02$, $[C_6H_8O_6] = 0,01-0,5$, представлены на рис. 3–6 ниже.

Область образования твердой фазы определяем по рис. 4 и 6: по значениям ($4pH - p\beta_{ii} - p\alpha_{Me^{2+}}$) находим pH образования твердой фазы. (рис. 7 и рис. 8)

Исходя из результатов расчетов (рис.7), можно сделать вывод о том, что осаждение пленки PbSe из аскорбатно-тарtratной системы может проходить в области 3,6–5,3 pH. Осаждение SnSe (рис. 8) возможно в области 5,3–6,2 pH. При значениях pH, лежащих ниже ограниченной области, происходит зарождение небольшого числа частиц селенидов металлов, которые растут очень медленно, а при значениях pH, выше выделенной области, образуется большое количество зародышей твердой фазы в объеме раствора, что мешает получению качественной пленки. Совместное осаждение происходит при значении pH $5,3 \pm 0,05$.

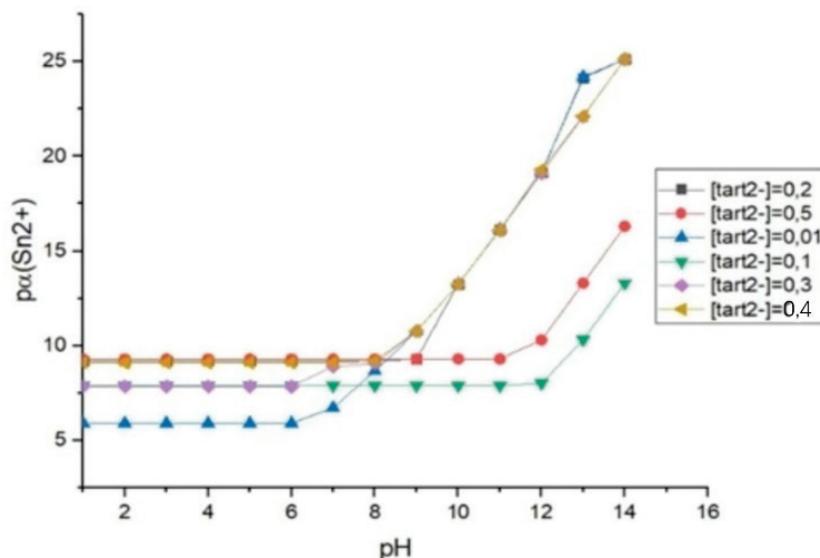


Рис. 3. График зависимости $p\alpha_{Sn^{2+}}$ от pH в растворах при концентрациях тартрата натрия $[Na_2Tart]_{своб}$, моль/л: 0,01, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5

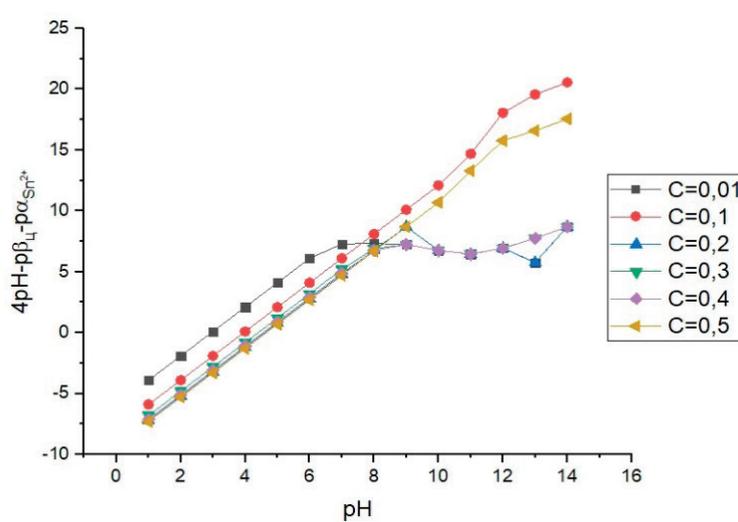


Рис. 4. График зависимости функции $(4pH - p\beta_{ц} - p\alpha_{Sr^{2+}})$ от pH при $[Na_2Tart]_{своб}$ моль/л: 0,01, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5

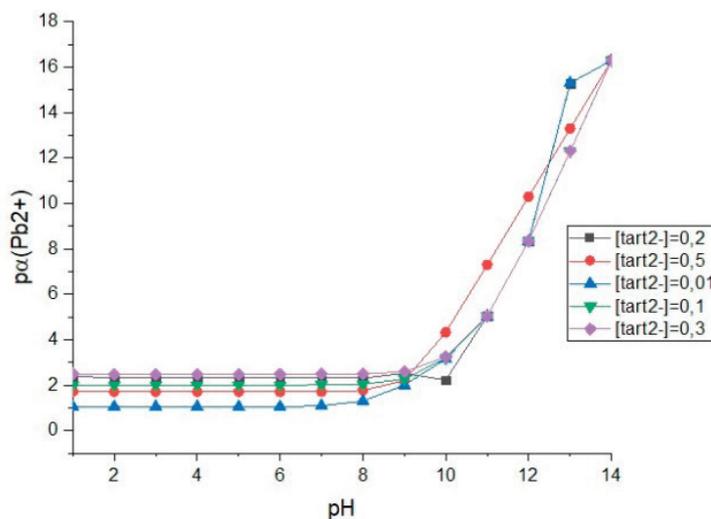


Рис. 5. График зависимости $p\alpha_{Pb^{2+}}$ от pH в растворах при концентрациях тартрата натрия $[Na_2Tart]_{своб}$, моль/л: 0,01, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5

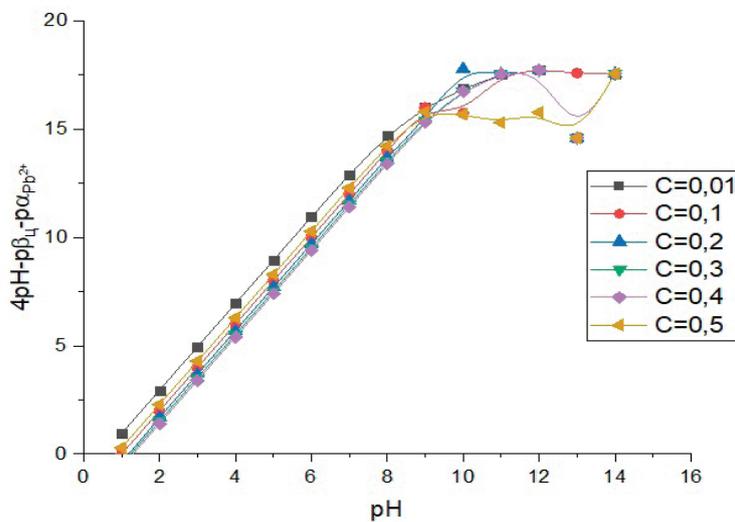


Рис. 6. График зависимости функции $(4pH - p\beta_{ц} - p\alpha_{Pb^{2+}})$ от pH при $[Na_2Tart]_{своб}$, моль / л : 0,01, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5

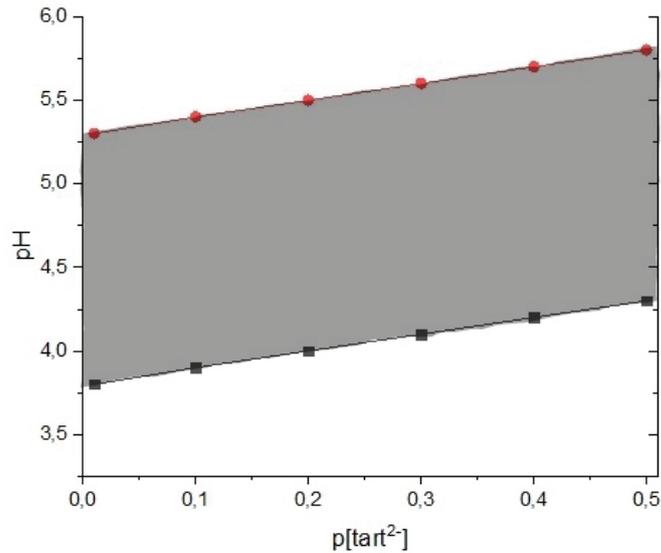


Рис. 7. Область образования твердой фазы PbSe

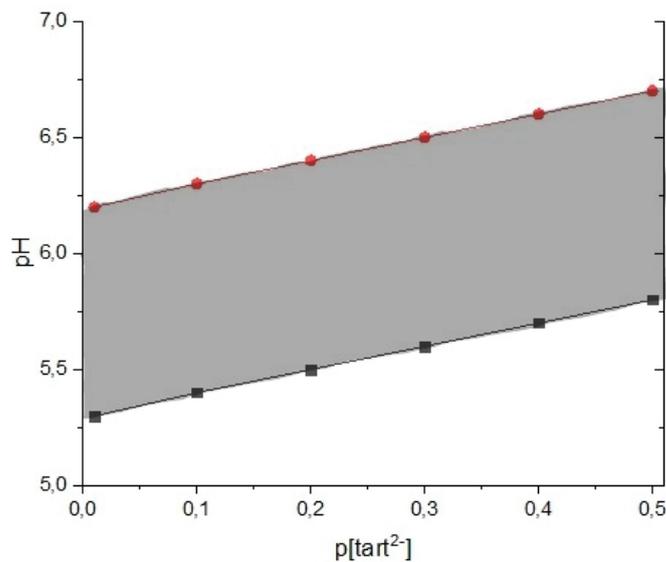


Рис. 8. Область образования твердой фазы SnSe

Выводы

В ходе работы были проведены расчеты областей образования PbSe–SnSe в аскорбатно-аммиачной системе с учетом степени превращения солей металлов 5,9 % для олова и свинца. В качестве халькогенизатора была выбрана тиомочевина. Концентрация лигандов составила Na_2Tart 0,01–0,02 моль/л, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ 0,01–0,5 моль/л. Определен интервал pH, в котором возможно образуется твердые растворы замещения на основе селенидов олова и свинца и индивидуальные халькогениды.

Так согласно расчетам, селенид олова образуется при pH от 5,3 до 6,2, селенид свинца при pH от 3,6 до 5,3. Образование твердых растворов PbSe–SnSe возможно лишь в узком диапазоне $\text{pH}=5,3\pm 0,05$ с учетом погрешности расчетов. В предложенном растворе осаднения ионы олова и свинца образуют комплексы с тартратным анионом и гидроксид-ионами. В основном в растворе присутствуют его гидроксиформы SnOH^+ , $\text{Sn}(\text{OH})_2$, $\text{Sn}(\text{OH})_3^-$, доля тартратных комплексов олова незначительна. При увеличении pH доля ионов $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-}$ становится преобладающей, что связано с их устойчивостью.

Литература:

1. Голубченко Н. В. Влияние примесей на кинетику и механизмы окисления поликристаллических слоев селенида свинца при формировании фоточувствительных структур: автореф. на соиск. ученой степ. кандидата технич. наук: 05.27.06 — техно-

- логия и оборудование для произв. полупроводников, материалов и приборов электр. техники; С.-Петерб. гос. электротехн. ун-т (ЛЭТИ).. СПб., 2005. — 179 с.
2. Кинетико-термодинамические исследования осаждения селенида олова(II) в трилонатной системе селеномочевинной / М. П. Миронов [и др.]. // Бутлеровские сообщения — 2010. — № 1. — С. 25–31.
 3. Низкотемпературные исследования химически осажденных пленок твердых растворов замещения на основе селенидов свинца и олова (II) / В. Ф. Марков [и др.] // Физика и техника полупроводников — 2011. — № 11. — С. 1459–1463.
 4. Гидрохимическое осаждение тонких пленок халькогенидов металлов: практикум / Л. Н. Маскаева [и др.]. — Екатеринбург: Издательство Уральского ун-та, 2017. — 284 с.
 5. Кинетика и механизм образования твердой фазы при осаждении пленок PbSe в присутствии ингибиторов окисления селеномочевинной / В. М. Юрк [и др.]. // Журнал физической химии. — 2020. — № 12. — С. 1790–1796.
 6. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. — 6-е изд. — М.: Химия, 1989. — 447 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Анализ эффективности применения паровых завес трубчатых технологических печей на нефтеперерабатывающих заводах

Грибков Владислав Андреевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Сумарченкова Ирина Александровна, кандидат химических наук, доцент
Самарский государственный технический университет

В статье приведены исследования по эффективности применения современных систем пожаротушения на трубчатых печах нефтеперерабатывающих предприятий. Приведены основные технические характеристики систем паровой защиты, а также рекомендации по их практическому применению и эксплуатации.

Ключевые слова: паровые завесы, трубчатые печи, пожаротушение.

В качестве наиболее эффективных средств ограничения распространения облаков опасных веществ можно отнести завесы, так как они довольно эффективны, универсальны к различным типам веществ, высвобождающихся в результате аварии, также они просты в использовании.

Разделить и классифицировать завесы можно следующим образом:

— по типу и агрегатному состоянию вещества, формирующего завесу (твёрдая стенка, водяная, паровая или газоздушные завесы);

— по направлению формирования завесы (восходящая или нисходящая водяная, газоздушная завесы), определяемого характером локализуемого облака пара.

Жидкостные и газообразные завесы формируются с помощью форсунок в форме конуса, цилиндрических патрубков, размеры которых варьируются в зависимости от требуемых параметров завесы. По трубопроводу под давлением подаётся вода, пар или воздух, в зависимости от того, какой тип завесы необходимо создать [4].

Противопожарная паровая завеса предназначена для предотвращения контакта горючих газовых смесей, образующихся при авариях на предприятиях нефтехимической и газовой промышленности, с источниками зажигания (например, с нагревательными печами). Завеса должна обладать достаточными плотностью и дальностью, исключающими проскок горючей смеси в защищаемую зону объекта. Выполнение этих требований достигается оптимальной компоновкой конструкции устройства, воспроизводящего завесу, и расчетом параметров завесы [1].

Несмотря на то что в целях проектирования и расчета паровых завес в настоящее время применяется ГОСТ Р 12.3.047–2012, данный нормативный документ не закрывает ряд эксплуатационных вопросов этого типа средств защиты.

Также могут быть предложены общие указания по применению и использованию завес. Основным защитным механизмом у газоздушных и водяных завес — это рассеивание, разбавление опасного вещества в воздухе. Направленная вертикально вверх струйная газоздушная завеса вызывает за счёт сил вязкостного трения подъём прилегающих с обеих сторон к завесе слоёв воздуха от поверхности вверх на высоту, равную высоте завесы. Двигающееся по ветру от источника заражения облако легко-воспламеняемых или горючих веществ при приближении к защитной газоздушной завесе изменяют свою траекторию так, что приземная часть облака поднимается на высоту газоздушной завесы. Более высокие части облака поднимаются на ещё большую высоту. Поскольку подъём воздуха газоздушной завесой осуществляется с её подветренной стороны, то после завесы облако легко-воспламеняемых или горючих веществ не опускается к поверхности, а рассеивается в атмосфере [4].

В трудах авторов [2] проверяется достоверность математической модели, описывающей паровую завесу и распространяющуюся в атмосфере примесь, выполняется сравнение результатов расчета модели с результатами экспериментального исследования.

Веществом используемым в ходе выполнения экспериментальной части, был выбран углекислый газ. Паровая завеса создавалась при помощи трубопровода, содержащего пар под избыточным давлением и направленных вертикально вверх, прикрепленных к верхней части трубопровода форсунок, непосредственно выпускающих наружу пар.

В первом эксперименте подавался углекислый газ и измерялась концентрация без действующей завесы в установившемся состоянии, то есть фиксировалась та концентрация газа, которая не изменялась со временем. Далее, во втором эксперименте, при вышеуказанных условиях включалась паровая за-

веса с давлением пара в форсунках, равном 3 кгс/см². Также фиксировалась установившаяся во времени концентрация газа за завесой. Третий эксперимент в точности повторял второй, с разницей лишь в давлении пара в форсунках, равных в данном случае 5 кгс/см².

Из результатов, полученных в ходе экспериментальной части, можно видеть, что разница между экспериментальными данными и расчетными лежит в пределах 15%. Это приемлемый показатель погрешности, поэтому предложенную автором численную модель можно использовать для дальнейших исследований эффективности паровых завес [2].

В статье авторов [3] приведен обзор структуры современной автоматизированной системы управления технологическим процессом установки комплекса нефтепереработки и эффективности функционирования паровой завесы трубчатых печей.

Численное моделирование изменений давления пара в паропроводе на участке технологической установки гидроочистки дизельного топлива в зависимости от массового расхода пара.

Выводом из работы авторов является предложение обеспечить контроль давления пара в линии паровой завесы трубчатой печи путём установки преобразователя (датчика) давления с подключением к контроллеру ПАЗ и индикацией текущих параметров давления пара на станции оператора технологической установки. Поддержку нормативных параметров давления пара в паровой завесе трубчатой печи следует обеспечить за счёт ограничения подачи пара на технологические нужды установки исполнительными устройствами РСУ по управляющим сигналам от контроллера ПАЗ, формируемым произведением коэффициента пропорциональности на текущую ошибку регулирования на момент времени [3].

Также статье [5], написанной в ответ А. В. Буканину на статью «Паровая завеса печей нефте- и газохимических предприятий. Надежность — плюс, эффективность — минус» в журнале «Химическая техника» № 12, 2014 года отмечен один из

наиболее важных факторов, влияющих на работу и применение паровых завес.

Так, в статье, опубликованной в № 12 за 2014 год журнала «Химическая техника», утверждается, что подача водяного пара на завесу должна осуществляться постоянно, и, на примере технологических печей ООО «Тобольск-Нефтехим», показывается, что это влечет за собой значительные затраты энергоносителей и, как следствие, потерю в экономической эффективности. Автор, считает, что данное утверждение не может быть основанием для отказа от использования паровой завесы как средства обеспечения безопасности, а должно инициировать мероприятия по оптимизации системы защиты технологических печей с учетом всех требований нормативных документов. Также отмечается тот факт, что ни в одном нормативном документе нет утверждения о необходимости постоянного поддержания рабочего давления водяного пара в паровых завесах технологических печей.

В целях защиты трубопроводной сети от гидроударов при пуске паровой завесы из-за мгновенного нагрева распределительного коллектора, авторами предлагается:

— учитывать естественные углы поворота трассы трубопровода при выполнении его прочностного расчета

— крепить трубопровод при помощи опор, ограничивающих его перемещение под действием теплового расширения материала, внутреннего давления и других факторов

— определять места установки опор, препятствующих излишнему горизонтальному перемещению трубопровода, руководствуясь при этом результатами расчета трубопровода на прочность

— учитывать, что общая длина перфорированного трубопровода не должна превышать 100 метров [5].

Одним из главных выводов авторов можно считать, что включение паровой завесы осуществляется только в аварийной ситуации.

Литература:

1. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.3.047–2012
2. «Численный анализ взаимодействия паровой завесы и газозвездного облака», Р. Р. Насибуллин, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров
3. «Контроль и поддержание параметров эффективного функционирования паровой завесы трубчатой печи», А. В. Федоров, Д. Н. Рубцов, К. К. Оспанов
4. «Методы и средства ограничения распространения облаков опасных веществ при аварийных выбросах и проливах», Р. Р. Насибуллин, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров
5. «О вреде экономии на паровой завесе печей», А. М. Добротворский, А. В. Балуттов, А. Е. Шувалов

Анализ основных причин возникновения и развития аварийных ситуаций на объектах, эксплуатирующих трубчатые печи

Грибков Владислав Андреевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Сумарченкова Ирина Александровна, кандидат химических наук, доцент
Самарский государственный технический университет

В статье приведены исследования статистических данных об аварийных ситуациях при работе трубчатых печей на объектах нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий.

Ключевые слова: аварии, взрыв, трубчатые печи.

Объекты нефтегазового комплекса России относятся к опасным производственным объектам. Опасность обусловлена наличием большого количества пожаровзрывоопасных веществ и материалов, используемых в технологических процессах. Возникновение аварийных ситуаций на объектах нефтяной промышленности приводит к взрывам, пожарам и выбросам опасных веществ, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды, жизни и здоровья населения.

По ежегодным данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору были систематизированы и проанализированы данные статистики аварии на объектах нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств и объектах нефтепродуктообеспечения на территории Российской Федерации за период 2010–2021 гг. [1].

Анализ результатов технических расследований показал, что основными причинами возникновения аварий явились:

— в 6 случаях (60%) внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств;

— в 4 случаях (40%) ошибки персонала, связанные с нарушением норм технологического режима, требований организации и производства газоопасных, огневых и ремонтных работ [3].

Также частой причиной возгораний являются образование паргазового облака, разлив нефтепродукта в результате нарушения герметичности оборудования.

Трубчатые печи являются важным элементом современного нефтегазового производства, они служат для высокотемпературных преобразований нагрева и химических реакций превращения жидких и газообразных углеводородов, в то же время они являются одним из наиболее опасных производственных объектов, на их долю приходится значительное количество аварийных отказов. По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору с 2007 по 2024 гг. 12,8% от всего количества аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли приходится на долю трубчатых нагревательных печей [2].

Причинами аварий в трубчатых нагревательных печах являются:

— разгерметизация змеевика, которая приводит к пожару в печи;

— погасание горелок, которое приводит к взрыву в печи;

— разгерметизации наружного оборудования печи, которое ведет к взрыву снаружи печи [7].

Трубчатые нагревательные печи являются источниками формирования взрывчатых смесей. Взрывы и пожары в трубчатых нагревательных печах — часто причина разрушения каркаса печи и оборудования, расположенного поблизости [8].

Краткая информация об авариях в процессе эксплуатации трубчатых печей:

— 6 мая 1996 года на НПЗ города Оренбург из-за несоблюдения правил пожарной безопасности при газоопасных работах на топливопроводе трубчатой печи произошел пожар на установке ЭЛОУ-АВТ-2;



Рис. 1. Динамика аварийности и смертельного травматизма на ОПО в 2010–2020 годах

— 15 июня 1996 года на НПЗ города Краснодар воспламенился продукт, попавший на трубчатую печь из-за негерметичности узла задвижки, что в дальнейшем привело к пожару. При анализе причин, приведших к пожару, выяснилось, что технологический процесс протекал с нарушениями, производственное оборудование было неисправно;

— 28 июня 1996 года на ОАО «Уфа-нефтехим» произошел выброс смеси углеводородов с водой при снятии задвижки для гидроиспытания змеевика печи. В результате произошло воспламенение смеси от форсунок печи;

— 7 апреля 2001 года в ОАО «Уфа-нефтехим» произошло самовоспламенение нефтепродукта, который выходил из разрушенного отвода печи П-3 установки висбрекинга;

— 18 апреля 2007 года на предприятии ОАО «Саратовский нефтеперерабатывающий завод» при эксплуатации установки первичной переработки нефти ЭЛОУ — АВТ-6 произошел выброс мазута из печи П-3, который привел к возгоранию; — 14 августа 2007 года на предприятии ОАО «Саянскихимия» расположенном в Иркутской области взорвалась трубчатая печь по производству дихлорэтана; — 27 мая 2010 года в ОАО «Газпромнефть — Омский НПЗ» в результате аварийной остановки установки первичной переработки нефти АТ-9 из-за посадки напряжения произошел взрыв в камере трубчатой печи, который в дальнейшем привел к пожару;

— 8 мая 2018 года в АО «Новокуйбышевский НПЗ» в процессе вывода печи на нормальный режим произошла разгерметизация вальцовочного соединения ретурбенда печи, что привело к возгоранию прямогонного бензина, причиной послужило резкое повышение давления из-за многократных изменений температуры процесса, перегрева продукта в змеевике печи выше нормы [4; 5; 6].

Авария на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ), единственном нефтеперерабатывающем предприятии Красноярского края, произошла в ночь на 16 июня 2014 года. Взрыв ректификационной колонны вызвал сильный пожар, ликвидировать который удалось благодаря привлечению значительных сил противопожарной службы: 25 единиц техники и 200 человек личного состава. Восемь работников предприятия, в том числе сотрудники пожарно-спасательной службы НПЗ, прибывшие для устранения утечки углеводородного газа, погибли. Взрыв разрушил не только ректификационную колонну, но и повредил конструкции соседних зданий.

Литература:

1. «Анализ аварийности на предприятиях нефтегазового комплекса России», Перевозчикова Е. Д., Шарафутдинова Г. М.
2. Информация об авариях, произошедших на предприятиях, подконтрольных территориальным органам Федеральной службы по экологическому, технологическому, атомному надзору // Ростехнадзор. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения — 02.06.2024).
3. Уроки, извлеченные из аварий // Ростехнадзор. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/> (дата обращения — 02.06.2024).
4. Статистика пожаров в России [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.pozharnayabezopasnost.ru/statistika.html> (дата обращения — 03.06.2024).
5. Пожарная опасность трубчатых печей [Электронный ресурс]. <http://mirznanii.com/a/195242-3/pozharnaya-opasnost-trubchatykh-pechey> (дата обращения 01.06.2024).
6. Пожарная статистика [Электронный ресурс].— <http://pzhproekt.ru/pozharnaya-statistika> (дата обращения — 02.06.2024).

Чрезвычайное происшествие нанесло Ачинскому НПЗ ущерб в размере почти 440 млн руб. Кроме того, завод, поставляющий нефтепродукты в большинство регионов Сибири и Дальнего Востока, приостановил работу и возобновил отгрузку продукции только через несколько месяцев.

Смена, обслуживавшая данное оборудование, в том числе контролировавшая давление в колонне, не зафиксировала вовремя выход из строя контрольных приборов. В свою очередь контрольные приборы не зафиксировали перепад давления. Утонченность стенки сыграла роковую роль: возникла трещина, через которую массивно произошел выброс газа. Вторым фактором взрыва и последующего пожара стал доступ газа к огню. Облако газа достигло границ печи, которая в тот момент была в рабочем состоянии. Счетчики, которые контролируют превышение концентрации газа, должны были прекратить работу этой печи путем подачи воздуха на ее периметр и предотвращения поступления газа к открытому огню. Однако шторы сработали не в соответствии с технологией: образовался зазор, через который газ соединился с открытым огнем. В результате взорвалась огромная масса газа, примерно в несколько сот тонн, и произошел пожар [9].

С другой стороны, если бы паровая завеса технологических печей комбинированной установки ЛК-6УС на Ачинском НПЗ находилась в работоспособном состоянии на момент аварийной ситуации в июне 2014 года и была своевременно включена в работу, то, вероятнее всего, развитие аварии по самому негативному сценарию можно было бы предотвратить. Утверждение, что расход водяного пара, направляемого на паровую завесу, на данной установке был недостаточным, по всей видимости, не соответствует действительности. В этом случае подача водяного пара прекратилась бы прежде всего на верхний ярус защиты, но, как показывает анализ развития аварии, на верхнем ярусе подача пара осуществлялась даже интенсивнее, чем на нижнем.

Таким образом, несмотря на положительную динамику уменьшения как общего количества, так чрезвычайных ситуаций связанных с работой трубчатых печей. Инциденты связанные с аварийными случаями в их работе несут риски повышенной опасности, потенциального травматизма и смерти работников, а также крупные экономические потери для предприятий. Что требует более внимательного подхода к обеспечению пожарной безопасности трубчатых печей.

- Хафизов, А. М. Разработка системы «усовершенствованное управление» для оценки ресурса трубчатой печи и повышения эффективности противоаварийной автоматической защиты / А. М. Хафизов, М. Г. Баширов, Д. Г. Чурагулов, Р. Р. Аслаев // *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 12–3 — С. 536–539.
- Информация об авариях на опасных производственных объектах // *Официальный сайт Ростехнадзор [Электронный ресурс]*. — <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (дата обращения — 03.06.2024).
- Взрыв на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе (в ночь на 16 июня 2014 г.) Интернет портал «Propb.ru» [Электронный ресурс] — <https://propb.ru/calendar/vzryv-na-achinskom-neftepererabatyvayushchem-zavode-v-noch-na-16-iyunya-2014-g/> (дата обращения — 03.06.2024)

Закалка бит в домашних условиях

Грунин Константин Евгеньевич, старший преподаватель
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (г. Княгинино)

Статья посвящена способу увеличения срока службы бит путём осуществления их закалки в домашних условиях.

Ключевые слова: бита, закалка, закалка в домашних условиях, изделие, подогретое масло, сталь.

Современные производители различных изделий из металла зачастую экономят на металле и используют сырьё очень низкого качества. С целью продления срока службы изделия можно провести операцию его закалки в домашних условиях. Закалка предназначена для придания изделию высокой прочности и твердости. Однако она может быть выполнена не для всех изделий, потому что с повышением твердости стали повышается ее хрупкость. Процесс закалки заключается в нагреве металла до высокой температуры с последующим его охлаждением в специальной охлаждающей среде. Одна и та же сталь в зависимости от выбранного режима закалки может приобретать различную структуру, что отражается на ее свойствах.

Для получения хорошего результата изделие равномерно нагревают до температуры 750–850°C, а после нагрева изделие быстро охлаждают до 400–460°C. Скорость охлаждения изделия составляет примерно 150°C в секунду, поэтому его охлаждение должно протекать в течение 2–3 секунд. Дальнейшее охлаждение изделия (ниже 300°C) может продолжаться при любой скорости, потому что полученная при закалке структура довольно стойкая и скорость последующего охлаждения не будет оказывать влияния на структуру изделия. Чаще всего в домашних условиях в качестве охлаждающей среды используют проточную воду или подогретое масло. Скорость охлаждения детали в воде протекает быстрее, чем в подогретом масле и достигает примерно 600°C в секунду при температуре воды 18°C, а в подогретом масле 150°C. Для того чтобы придать изделию большую твердость, процесс его закалки происходит в проточной воде во избежание появления прослойки пара, неизбежно появляющейся при обычной закалке. При нагреве детали выше критической точки, строение металла меняется на крупнозернистое что ведет к таким неблагоприятным последствиям как появление трещин, коробление, деформация [1, 2].

Для проведения эксперимента были выбраны 3 биты, использован баллон с пропаном, газовая горелка, вода и подогретое масло. Эксперимент проводился тремя методами.

Метод № 1: закалка с последующим остыванием на воздухе

Этот способ закалки довольно прост, деталь нагревается до определенной температуры и остаётся на открытом воздухе до полного остывания.

Метод № 2: закалка в проточной воде

Раскалённое до определенной температуры изделие погружают в проточную воду до полного остывания. Этот способ закалки применяют для деталей простой формы из легированных и углеродистых сталей. Изделия из углеродистых сталей диаметром более 5 миллиметров охлаждают в воде, а менее охлаждают в масле. Легированные стали охлаждают в масле. Данный способ закалки достаточно распространен из-за своей простоты и дешевизны.

Метод № 3: закалка через подогретое масло в воду

Раскалённое до определенной температуры изделие погружают в первый раз на 3–5 секунд в подогретое масло, затем вынимают на воздух на 1–2 секунды и снова опускают в подогретое масло на 2–3 секунды, потом сразу же переключают из емкости с подогретым маслом в емкость с проточной водой до полного остывания.

В процессе эксперимента необходимо внимательно следить за цветом нагреваемого металла. В частности, нельзя допустить, чтобы на режущих кромках обрабатываемого инструмента появлялись черные пятна. Посинение металла свидетельствует о том, что он сильно размягчился и стал слишком пластичным.

Процесс закалки бит происходил следующим образом. Было подготовлено подогретое масло и проточная вода для охлаждения изделия, затем для выбранных бит была проведена закалка одним из вышеописанных способов.

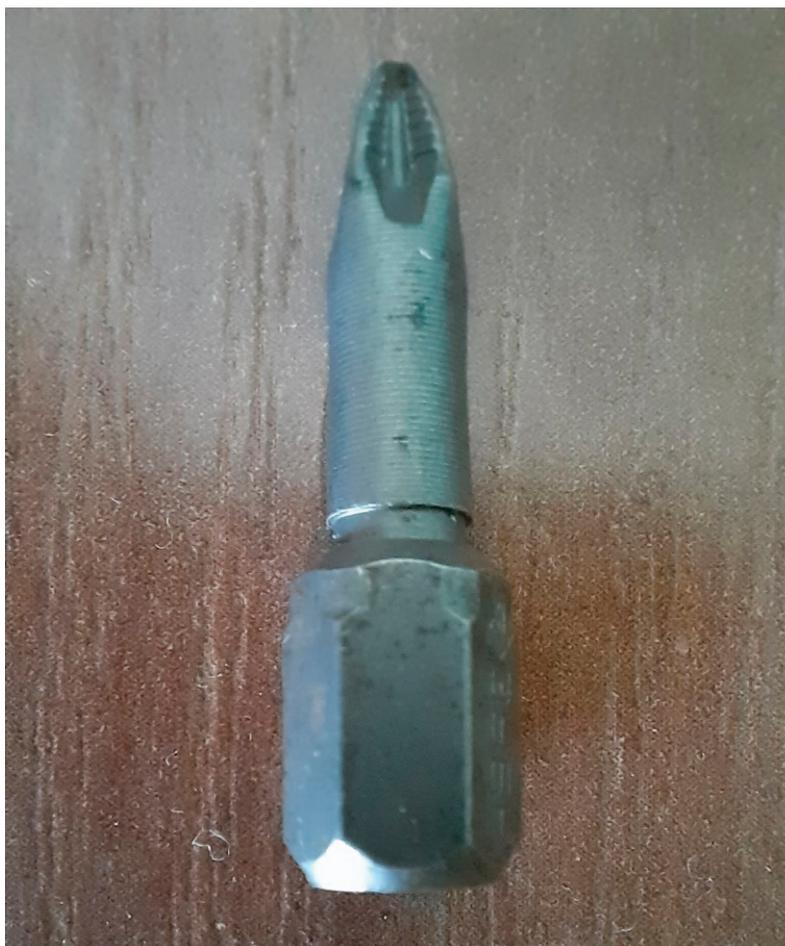


Рис. 1. Биты, использовавшиеся в эксперименте

Цвет	Наименование	t° C
Ослепительно белый	Ослепительно белый	1250 - 1300
Светло-желтый	Светло-желтый	1150 - 1250
Темно-желтый	Темно-желтый	1050 - 1150
Оранжевый	Оранжевый	900 - 1050
Светло-красный	Светло-красный	830 - 900
Светло-вишнево-красный	Светло-вишнево-красный	800 - 830
Вишнево-красный	Вишнево-красный	770 - 800
Темно-вишнево-красный	Темно-вишнево-красный	730 - 800
Темно-красный	Темно-красный	650 - 730
Коричнево-красный	Коричнево-красный	580 - 650
Темно-коричневый	Темно-коричневый	530 - 580

Рис. 2. Зависимость цветов побежалости от температуры стали

Закалка с последующем остыванием на открытом воздухе дала следующий результат. Бита была нагрета до вишнево-красного цвета и оставлена на открытом воздухе до полного остывания. После закалки она подверглась испытанию, а именно данной битой закручивались саморезы в деревянную доску. Бита располагалась относительно шляпки самореза вертикально и смогла закрутить два самореза из десяти. На данной бите была полностью изношена рабочая поверхность.

Закалка в проточной воде показала следующее. Бита была нагрета до вишнево-красного цвета и быстро опущена в проточную воду до полного остывания. После проведенного эксперимента описанного выше она смогла закрутить пять саморезов из десяти. На данной бите были обнаружены сколы на рабочей поверхности.

Закалка через подогретое масло в воду дала следующий результат. Бита была нагрета до вишнево-красного цвета,

после нагрева опущена в подогретое масло на 4 секунды, затем извлечена на две секунды и снова опущена в масло на 3 секунды, затем быстро перенесена в проточенную воду до полного охлаждения. После проведения эксперимента описанного выше на данной бите не было обнаружено никаких дефектов.

В результате эксперимента было выявлено, что самым эффективным способом закалки бит в домашних условиях является закалка через масло в воду. Для успешной закалки детали дома следует придерживаться разработанных, в результате исследования, рекомендаций описанных ниже:

1. Деталь нужно нагревать медленно для того что бы не возникли трещины и напряжения в металле. Время нагрева изделия зависит от химического состава, формы и размера изделия.

2. Охлаждение детали является очень ответственным этапом закалки. Оно должно протекать с такой скоростью что бы обеспечить получение нужной структуры — мартенсита, сорбита или троостита, то есть обеспечить изделие необходимыми механическими свойствами.

3. В процессе закалки, при охлаждении, в стали возникают внутренние напряжения — термические и структурные. Термические напряжения возникают при неравномерном охлаждении изделия, а структурные в результате превращения аустенита в мартенсит, что приводит к негативным последствиям. В результате выше перечисленных напряжений могут проявляться следующие виды брака изделия: коробление, бочкообразность, изменение объема детали, трещины. Так же дефектами закалки являются: пониженная твердость и прочность стали, окисление, пережог, мягкие пятна, перегрев, обезуглероживание и др.

Литература:

1. Арзамасов, Б. Н. Учебник Материаловедение и технология конструкционных материалов / Б. Н. Арзамасов, А. Н. Волчков, В. А. Головин [и др.] — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 448 с.
2. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов. Учебник для бакалавров / Г. П. Фетисов В. М. Матюнин, В. С. Соколов [и др.]. — Издательство Юрайт, 2015. — 767 с

Повышение температурного уровня солнечной панели в городе Грозном в зависимости от уровня солнечной инсоляции

Любимов Павел Викторович, студент магистратуры

Научный руководитель: Ротинян Елена Михайловна, кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Использование солнечных панелей достигает максимальной эффективности в условиях наибольшего уровня солнечной инсоляции, однако низкая эффективность монокристаллических элементов приводит к тому, что часть тепла, не преобразованная в электричество, поступает на повышение температурного уровня панели, снижая ее эффективность, так в этой работе исследуется снижение эффективности солнечной панели в определенных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: солнечные панели, элемент Пельтье, теплотехника.

В качестве расчетного региона принимается зона с субтропическим климатом, где солнечная панель оказывается под воздействием высоких температур, так расчетным регионом становится Кавказ.

Солнечная батарея (солнечная панель) монокристаллическая НС производства OSDA Solar (КНР). Модель ODA 550–36V–МН.

В таблице 1 приводятся основные технические характеристики панели.

Температура панелей в зонах с субэкваториальным климатом в России может достигать температуры в 70°C, рабочая температура с номинальным КПД равна 25°C, расчетный промежуток определен.

1. Уменьшение КПД панели можно рассчитать по формуле:

$$\eta_n = \eta_0 * (1 - 0,0045 * (T_n - 25))$$

где η_0 — КПД фотоэлемента при 25°C [%];

T_n — температура поверхности солнечной панели [°C].

2. Снижение мощности панели можно рассчитать по формуле:

$$P_n = P_0 * (1 + \beta \Delta t)$$

где P_0 — номинальная мощность солнечной панели при 25°C [Вт];

β — температурный коэффициент мощности [°C-1], для монокристаллических элементов из кремния может приниматься в диапазоне от -0,4 %/°C до -0,45 %/°C;

Δt — изменение температуры [°C].

Результат расчета снижения КПД и мощности для установленной солнечной панели приведен в таблицах 2–3.

Поскольку в нашем случае рассчитано падение КПД на градус, мощность с некоторой точностью можно рассчитать по следующей формуле:

Таблица 1

Характеристики		
Параметр	Значение	Ед. изм.
P_m	550	Вт
$U_{ном}$	24	В
Тип	Монокристалл кремния	-
КПД	21.28	%
Число элементов и групп	144 (12x12)	-
Габариты	2279x1134x35	мм
Материал рамы	Анодированный алюминий	-
Фронтальное стекло материал	каленное просветленное стекло	-
Толщина стекла	3.2	мм
Диапазон рабочей температуры	От -45 до +85	°С
Срок эксплуатации	10	лет

$$P_n = P_0 * \left(\frac{\eta_n}{\eta_0} \right)$$

Инфографики полученных расчетов приводятся на рис. 1.

Можно произвести расчет генерируемой энергии солнечной батареи, полученный результат определяет среднее количество вырабатываемой энергии, воспользуемся следующей формулой:

$$E = \frac{I * K_0 * P_0 * K_{пот}}{U_{испыт}}$$

Уравнение теплового баланса для солнечной панели:

$$Q_{солнц.} - Q_n = Q_{хол}$$

где $Q_{солнц.}$ — количество тепловой энергии, воспринятое панелью, [Вт]

Q_n — количество тепловой энергии, за исключением части преобразованной в электрическую энергию в фотоэлементе, [Вт]

$Q_{хол}$ — максимальной возможная/необходимая холодильная мощность элементов Пельтье для забора лишней части солнечного тепла, [Вт].

Формула повышения температуры солнечной панели:

$$\Delta T_n = T_{air} + \Delta T$$

где T_{air} — температура окружающего воздуха, [°С];

Таблица 2

Температура поверхности, °С	КПД, %
30	24,44
35	23,88
40	23,31
45	22,75
50	22,19
55	21,63
60	21,06
65	20,50
70	19,94

Таблица 3

Температура поверхности, °С	Мощность Панели, Вт
30	537,63
35	525,25
40	512,88
45	500,50
50	488,13
55	475,75
60	463,38
65	451,00
70	438,63

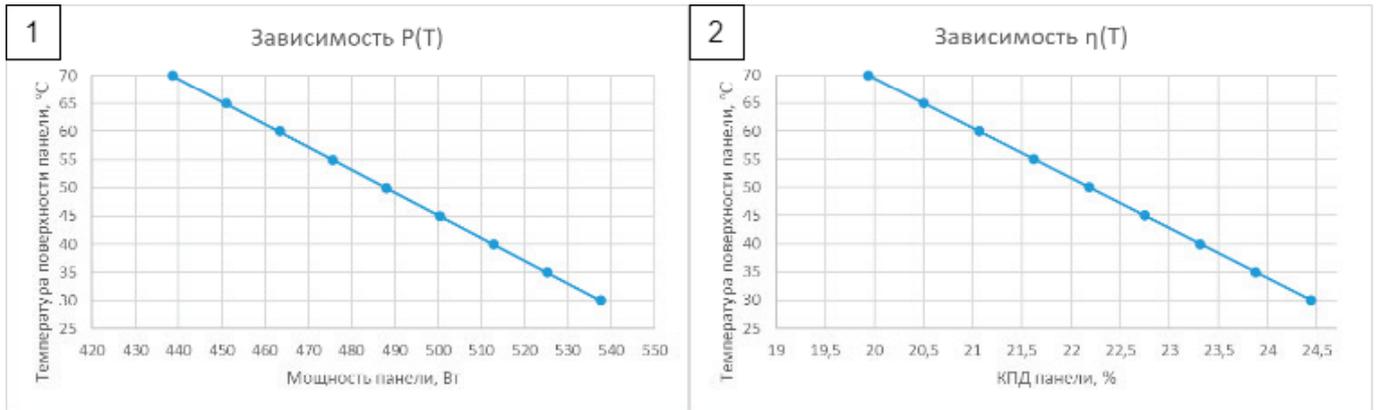


Рис. 1. Полученные зависимости

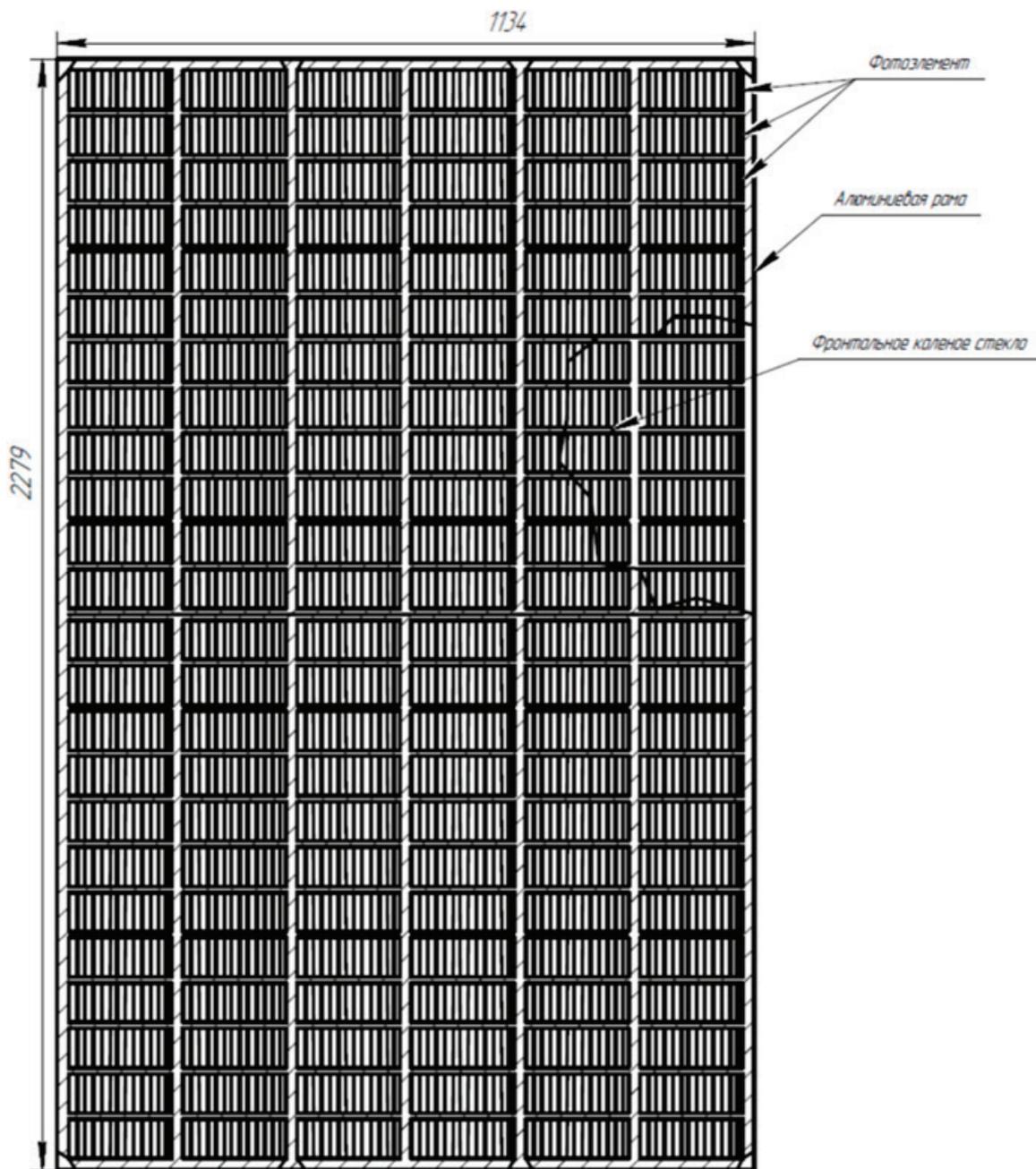


Рис. 2. Чертеж солнечной панели

Таблица 4

Рассчитанные значения								
Июнь			Июль			Август		
Параметр	Значение	Ед.изм.	Параметр	Значение	Ед.изм.	Параметр	Значение	Ед.изм.
$Q_{\text{солнц}}$	15763	Вт	$Q_{\text{солнц}}$	15402	Вт	$Q_{\text{солнц}}$	13596	Вт
ΔT	33,8	°C	ΔT	33	°C	ΔT	29,1	°C
A	2,58	м ²	A	2,58	м ²	A	2,58	м ²
α	0,24	-	α	0,24	-	α	0,24	-
$Q_{\text{п}}$	9760	Вт	$Q_{\text{п}}$	9537	Вт	$Q_{\text{п}}$	8419	Вт
$Q_{\text{т}}$	6002	Вт	$Q_{\text{т}}$	5865	Вт	$Q_{\text{т}}$	5177	Вт
$T_{\text{ср.июнь}}$	28,5	°C	$T_{\text{ср.июль}}$	32,8	°C	$T_{\text{ср.август}}$	33	°C
$\Delta T_{\text{п}}$	62,3	°C	$\Delta T_{\text{п}}$	65,8	°C	$\Delta T_{\text{п}}$	62	°C

ΔT — разница температур, которая зависит от интенсивности солнечного излучения, рассчитывается далее, [°C].

Расчет разницы температур от солнечной инсоляции:

$$\Delta T = \left(\frac{Q}{A \cdot c_p} \right) \cdot \left(\frac{1}{\alpha} \right) \cdot (1 - \rho)$$

где A — площадь поверхности, [м²];

Q — показания солнечной инсоляции, [°C];

c_p - удельная изобарная теплоемкость материала, [Дж/кг];

α — коэффициент поглощения материала, [-];

ρ — отражательная способность поверхности, [-] — принимается равной 0,04, как для каленого стекла, имеющего низкую отражательную способность.

Чертеж солнечной панели с обозначениями основных элементов приводится на рисунке 2.

Расчет количества тепла, подведенного солнечной энергией, можно рассчитать по следующей формуле [1]:

$$Q_{\text{солнц}} = I \cdot A$$

Количество тепла, преобразуемое в электрическую энергию:

$$Q_{\text{п}} = I \cdot A \cdot \eta$$

Количество тепла, отводимое на повышение температурного уровня:

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{солнц}} - Q_{\text{п}}$$

Проведенные расчеты показывают, что снижение КПД панели в условиях эксплуатации с субэкваториальным климатом может существенно снизить эффективность монокристаллических элементов, понижая результирующую выработку панели, для поддержания стабильного режима работы панели в диапазоне номинальных значений температуры можно использовать внешний холодный источник, повышая теплоотдачу поверхности, также возможно использовать термоэлектрические преобразователи в качестве элемента охлаждения или в качестве вторичного преобразователя тепловой энергии панели в электрическую энергию. Дальнейшее исследование может проводиться в области уточнения граничных условий, так в работе не учитывались значения угла падения солнечных лучей, что напрямую «отражается» в количестве тепла, воспринимаемого панелью и преобразуемого в электрическую энергию [2]. В заключение можно сказать, что солнечные панели являются важным элементом современной энергетической инфраструктуры. Они обладают рядом преимуществ, среди которых экологичность, долговечность и возможность использования в различных климатических условиях. Однако существуют и некоторые недостатки, такие как высокая стоимость и зависимость от погодных условий, а также приведенное в этой работе повышенное значение температурного уровня панели.

Литература:

1. Аметистов Е. В., Белосельский Б. С., Емцев Б. Т., Клименко А. С., Комендантов А. С., Круг Г. К., Лабунцов Д. А., Махров В. В., Морозкин В. П., Охотин В. С., Павлов Ю. М., Протопопов В. С., Реутов Б. Ф., Созиев Р. И., Сычев В. В., Тимрот Д. Л., Тоцкий В. Е., Чистяков В. С., Чичков В. В., Шпильрайн Э. Э., Шурыгин А. П., Ягов В. В.: теоретические основы теплотехники теплотехнический эксперимент. — Москва: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. — 543 с.
2. Liu W., Wen J., Chao J., Yin W., Shen C., Lai D., Lin C. H., Liu J., Sun H., Chen Q. Accurate and high resolution boundary conditions and flow fields in the first class cabin of an MD82 commercial airliner // Atmospheric Environment. — 2012. — Vol. 56. — P. 33–44.

Анализ интеллектуальной системы управления летательным аппаратом

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук, доцент
 Дагестанский государственный университет (г. Махачкала)

Под интеллектуальной системой понимается объединенная информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающая во взаимосвязи с человеком (коллективом людей) или автономно, способная на основе сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, принимать решение к действию и находить рациональные способы достижения цели [1, с. 12].

Структурная схема интеллектуальной системы приведена на рис. 1 [1, с. 12].

Динамические свойства интеллектуальной системы могут быть описаны в пространстве состояний. Интеллектуальные операторы, реализующие восприятие, представление, формирование понятия, суждения, умозаключения и цели в процессе познания, являются формальным средством обработки сведений и знаний, а также принятия решения. Все эти аспекты должны быть положены в основу построения интеллектуальной системы, функционирующей в реальном времени и в реальном мире.

Динамическая экспертная система есть некоторое комплексное образование, способное оценивать состояние системы и среды, сопоставлять параметры желаемого и реального результатов действия, принимать решение и вырабатывать управление, способствующее достижению цели. Для этого, динамическая экспертная система должна обладать запасом знаний и располагать методами решения задач.

Главной отличительной особенностью технологии экспертных систем является возможность работы с формами яв-

ного представления знаний, включая продукционные правила, предикаты, семантические сети и фреймообразные структуры. Выраженная структурированность этих форм обуславливает применимость формализованных логических методов для анализа и уточнения знаний, а также вывода заключений по совокупности исходных данных. При этом собственно процесс вывода на основе знаний сводится к последовательному сопоставлению заданного описания начальной посылки с категориями той многоуровневой классификации, которая заложена в имеющейся иерархии системы продукционных правил, семантических сетей или других представлений [8, с. 16].

Проблемой моделирования интеллектуальной системы является не только сложность построения собственно ее модели, но необходимость верификации значительного объема программного обеспечения, таких компонентов как синтез цели, принятие решения, базы знаний, динамическая экспертная система.

По существу, эта технология объединяет несколько близких направлений, поскольку принятые методы логической обработки для каждой из форм явного представления знаний существенно различаются между собой.

Смежное направление в развитии интеллектуальных систем основано на применении технологии нечеткой логики, ориентированной на обработку логико-лингвистических моделей представления знаний. Модели такого типа предназначены для формализации неточных, размытых в смысловом отношении суждений и строятся с использованием обобщенных категорий, задающих классификацию исходных понятий на

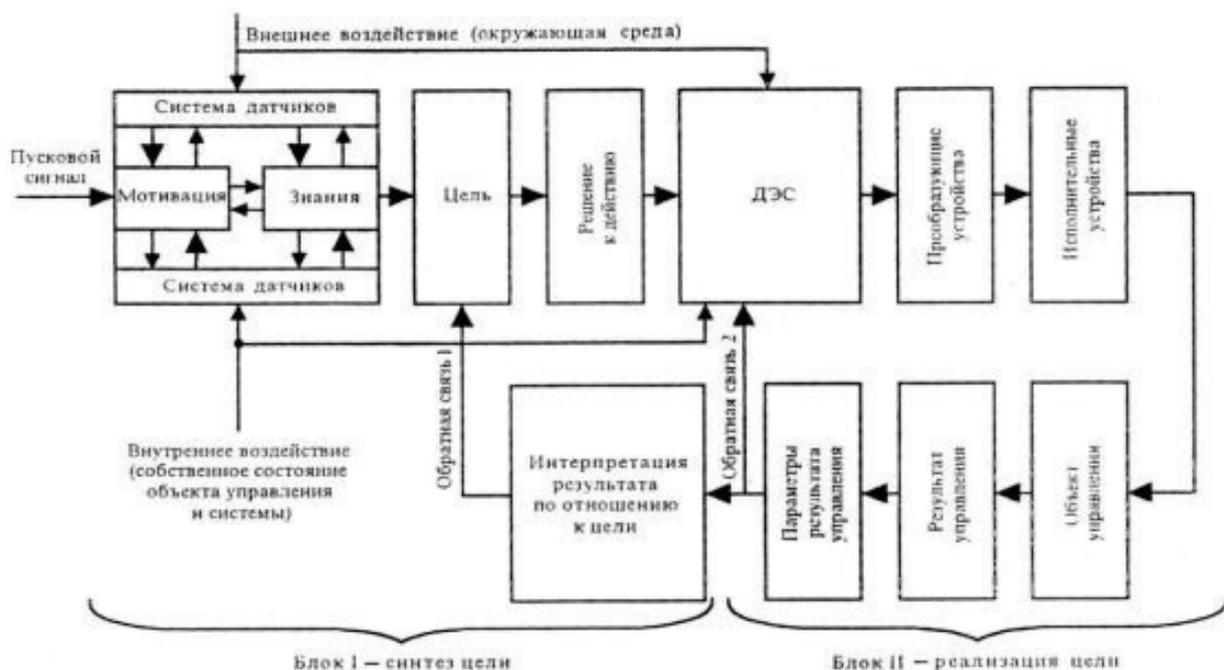


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы

уровне нечетких множеств. Следует отметить, что соответствующие методы нечеткого логического вывода позволяют обеспечить параллельную интерпретацию имеющихся знаний с помощью специализированных средств аппаратной поддержки, обладающих высоким быстродействием.

Один из перспективных подходов к организации обработки неявных форм представления знаний связан с применением технологии нейросетевых структур, аккумулирующей и воспроизводящей основные функциональные особенности биологических прототипов. Эта технология построения интеллектуальных систем предполагает формирование однородных структур, состоящих из множества взаимосвязанных элементов с заданной характеристикой преобразования сигналов. Совокупность знаний, закладываемых в процессе обучения такой структуры, определяется настройкой коэффициентов межэлементных связей и позволяет обеспечить надежную классификацию предъявляемых примеров. При этом важнейшей особенностью нейросетевых структур является их высокое быстродействие, достигаемое за счет параллельности обработки информации при их аппаратной реализации.

Поиски альтернативных путей построения быстродействующих систем обработки знаний привели к развитию технологии ассоциативной памяти. Эта технология предполагает использование механизмов восстановления целостных образов по их отдельным элементам и сводится к работе с многомерными массивами данных. Хранящиеся в памяти знания имеют неявную форму представления и задают классификацию понятий некоторой предметной области в виде сочетания признаков, присущих каждой качественной категории. Главные преимущества такого подхода связаны с простотой как программного, так и аппаратного воплощения ассоциативной памяти, которая обеспечивает высокое быстродействие, определяемое временем обращения к отдельной ячейке.

Сравнительный анализ различных интеллектуальных технологий позволяет выделить ряд общих для них черт (табл. 1, [8, с. 18]), главная из которых связана с использованием классификации тех или иных понятий в качестве средства для установления связей между отдельными явлениями рассматриваемой предметной области [8, с. 17].

Сложность, а в ряде случаев и невозможность формализации задач управления обуславливают целесообразность и не-

обходимость их решения с привлечением методов и технологий искусственного интеллекта [8, с. 19].

Процесс разработки системы управления начинается с определения цели и задач, которые должна решить система автоматического управления (САУ). Следующим шагом является формирование концептуальной модели системы. При этом важную роль играет опыт предшествующих разработок и результаты поисковых научно-исследовательских работ (НИР). Затем разрабатывается техническое задание, в котором приводятся исходные данные для проектирования и технические предложения. Проектирование включает в себя эскизный проект, включающий технико-экономическое обоснование, техническое и рабочее проектирование. На этапе технического проекта разрабатывается проект специализированной технологической оснастки, если это необходимо, или специального технологического оборудования. На этих этапах разработки осуществляется математическое и физическое моделирование. Далее осуществляется создание опытного образца, как правило, выпускается несколько образцов, чтобы распараллелить их отработку. [1, 3]

Затем осуществляется отработка опытного образца. Это делается с помощью стендовых испытаний (механических, гидравлических, тепловых и т.д.), испытаний на летающих лабораториях и натурно-математического моделирования. Поскольку такие испытания и моделирование, как правило, проводятся на «разнесенных» компонентах системы управления, вводится этап комплексной наземной отработки, позволяющий выявить такие эффекты, как электромагнитная совместимость аппаратуры и т.п. На этих этапах используется математическое и натурно-математическое моделирование, с учетом части реальных элементов системы управления. Следующий этап отработки системы управления сопряжен с проведением натурных испытаний, то есть лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ), ЛКИ составляют наиболее ответственный и сложный этап. Если на ЛКИ показаны характеристики системы, удовлетворяющие требованиям технического задания, то решается вопрос о проведении государственных испытаний (ГИ), по результатам которых система может быть принята в серийное производство. На этапах испытаний осуществляется сопровождающее моделирование, которое включает все виды моделирования [1, с. 10].

Рассмотрим трехконтурную систему стабилизации летательного аппарата (ЛА), приведенную в [1, с. 10] (см. рис. 2).

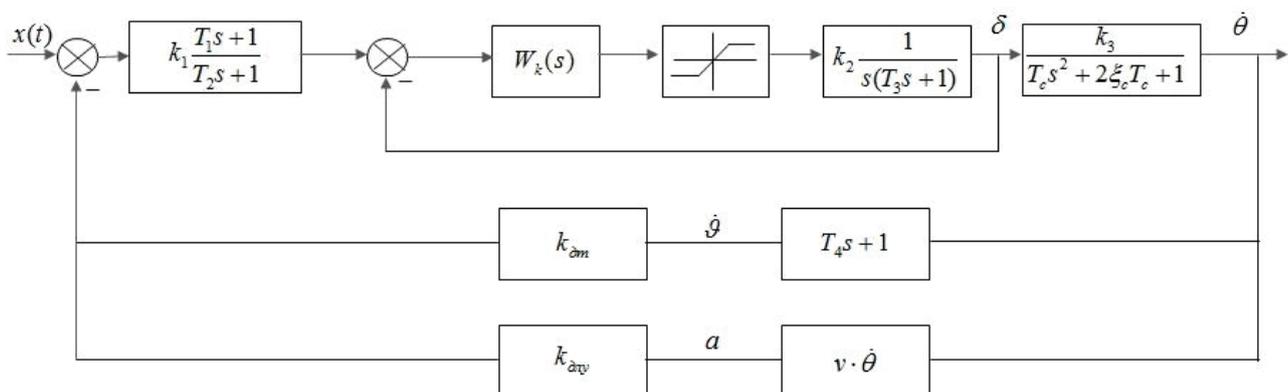


Рис. 2. Структурная схема трехконтурной системы стабилизации летательного аппарата

На этом рисунке δ — угол поворота руля, $\dot{\theta}$ — угловая скорость вектора скорости ЛА- v , $\dot{\psi}$ — скорость тангажа, a — линейное ускорение, F — ограничение скорости рулевого привода.

В блоках на рис. 2 приведены передаточные функции элементов системы и корректирующих устройств. В блоках приведены передаточные функции элементов системы и корректирующих устройств. Здесь три контура: обратная связь рулевого привода, обратная связь по $\dot{\psi}$ и a . $K_{дг}$ и $K_{дду}$ — передаточные коэффициенты демпфирующего гироскопа и датчика линейных ускорений соответственно. Необходимость моделирования определяется в данном случае наличием нелинейного элемента F [1, с. 10].

Передаточная функция звена — это отношение выходной величины звена к его входной величине, преобразованных по Лапласу, при нулевых начальных условиях и при отсутствии прочих возмущений [6, с. 16].

Здесь три контура: обратная связь рулевого привода, обратная связь по $\dot{\psi}$ и a . $K_{дг}$ и $K_{дду}$ — передаточные коэффициенты демпфирующего гироскопа и датчика линейных ускорений соответственно. Необходимость моделирования определяется в данном случае наличием нелинейного элемента F .

Структура системы интеллектуального управления сложным динамическим объектом, должна соответствовать иерархическому принципу построения и включать стратегический, тактический и исполнительный (приводной) уровни, а также комплекс необходимых измерительно-информационных средств. Корректность замыкания отдельных контуров иерархии управления определяется тем составом функциональных элементов, которые обеспечивают требуемую адекват-

ность информационной поддержки в процессе сбора и обобщения сенсорных данных о текущем состоянии и воздействиях внешней среды. Таким образом, организация каждого уровня интеллектуального управления предполагает использование уникальной совокупности собственных моделей представления знаний, информационной поддержки, описания контролируемого объекта и т.д. [8, с. 383].

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что применение интеллектуальных технологий позволяет создать новое поколение высокоэффективных быстродействующих регуляторов для широкого класса следящих приводов, обладающих высокой степенью адаптивности, надежности и качества функционирования в условиях случайных возмущений, неопределенности внешней нагрузки и т.д.

Применения интеллектуальных систем управления также связано с перспективами развития автономных манипуляционных и транспортных роботов. В этой связи особую актуальность приобретает проблема разработки автономных безэкипажных мобильных средств различных назначений и видов базирования. Уровень современных достижений в области искусственного интеллекта, позволяет обоснованно говорить о возможности разработки комплекса бортовых средств, способных на основе уже известных методов и технологий обработки знаний обеспечить решение задач планирования перемещений, управления движением и целесообразным поведением в условиях неизвестной среды, при наличии препятствий, с учетом случайных возмущений внешней среды, погрешностей измерений и вычислений, а также нечеткости поставленных задач [8, с. 19].

Литература:

1. Пупков К. А. Моделирование и испытание систем автоматического управления: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — с. илл.
2. Терехов В. А. Т35 Локальные системы управления: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 148 с.
3. Основы математического моделирования: учебное пособие / С. В. Звонарев. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 112 с.
4. Каляев И. А., Гайдук А. Р. Однородные нейроподобные структуры в системах выбора действий интеллектуальных роботов. М.: Янус-К, 2000. С. 280. — М.: Наука, 1990.
5. Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. Учебное пособие для вузов. — М.: Машиностроение, 1985, 536с.
6. Павловская О. О. Теория автоматического управления. — Ч. 1. Линейные системы. Учебное пособие. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2020. — 60 с.
7. Пупков К. А., Егупов Н. Д. и др. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.3: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. Н. Д. Егупова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. — 748 с, ил.
8. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина — М ФИЗМАТЛИТ, 2001–576 с — ISBN5–9221–0162–5.

Задача линейного планирования в технической диагностике автотранспортных средств

Нгуен Минь Тиен, кандидат технических наук, преподаватель
Вьетнамский государственный технический университет имени Ле Куй Дона (г. Ханой, Вьетнам)

В статье представлена возможность применения оптимальной теории в области технической диагностики вообще и технической диагностики транспортных средств в частности посредством постановки и решения задачи линейного программирования.

Ключевые слова: линейное планирование, линейное программирование, автотранспортные средства, диагностика, целевая функция, система массового обслуживания.

Linear planning problem in technical diagnostics of vehicles

The article presents the ability to apply optimal theory in the field of technical diagnosis in general, and technical diagnosis of military vehicles in particular through stating and solving a linear programming problem.

Keywords: linear planning, linear programming, vehicles, diagnostics, objective function, queuing system.

1. Введение

В повседневной жизни нам часто приходится решать множество задач, чтобы найти оптимальное решение (найти максимальное или минимальное значение целевой функции, определенной на определенном подмножестве евклидова пространства).

Реальность показывает, что большинство задач технического диагностирования транспортных средств сводятся к нахождению минимального значения функции стоимости $C(x)$, связанной с областью эксплуатации и ремонта транспортных средств или ее выходом из строя. Тогда переменной x могут быть параметры, представляющие технические условия (допустимые значения или предельные значения), циклы технического диагностирования и т.п.

Если функция C зависит только от одной переменной x и дифференцируема, то найти ее минимум не составляет труда. Проблема будет сложнее, если C — многомерная функция $C(x)$, где $x = (x_1, \dots, x_n)$.

Для решения задач оптимизации при технической диагностике люди часто применяют математические методы, такие как линейное программирование, нелинейное программирование и динамическое программирование, теория массового обслуживания, теория игр, метод сетевых диаграмм и т.д. В действительности мы можем использовать методы линейного программирования для оптимизации количества топлива, потребляемого двигателем транспортных средств, и использовать методы нелинейного планирования для оптимизации. Оптимизировать диапазон параметров средств диагностики, использовать динамическое программирование для выбора технологической последовательности измерения диагностических параметров, использовать теорию краудсорсинга для расчета потока автомобилей транспортных средств, доставленных на диагностику.

Ниже мы построим задачу оптимизации расхода топлива двигателем транспортных средств и продемонстрируем ее решение с помощью симплексного метода линейного программирования.

2. Основание

Предположим, что расход топлива P транспортных средств зависит от 3-х диагностических параметров A , B и C по функциональной зависимости:

$$P = 0,8S_1 + 0,9S_2 - 1,1S_3 + 2 \quad (1)$$

Кроме того, если S_1 и S_2 увеличиваются, P увеличивается, а если S_3 увеличивается, P уменьшается.

Очевидно, что P -функция имеет минимум, когда диагностические параметры (при естественных условиях $S_1 \geq 0$, $S_2 \geq 0$, $S_3 \geq 0$) имеют значения: $A_0 = B_0 = 0$, $C_0 = +\infty$. Однако в действительности каждый диагностический параметр и каждый конструктивный параметр одновременно влияют на ряд технико-экономических характеристик двигателя и транспортных средств в целом. Например, если увеличить параметры A , B и уменьшить C , это может вызвать изменения. Время запуска двигателя h_1 , максимальная скорость автомобиля h_2 , температура запуска двигателя h_3 , частота Минимальное устойчивое вращение коленчатого вала двигателя h_4 .

Предположим, что соответствующие характеристики имеют следующие отношения зависимости:

$$\begin{aligned} h_1 &= 0,5x_1 + 0,6x_2 + 2x_3 + 2; \\ h_2 &= 60x_1 + 3x_2 - 30x_3 + 70; \\ h_3 &= 0,7x_1 - 14x_2 + 7x_3 - 23; \\ h_4 &= 10x_1 + 10x_2 + 10x_3 + 20; \\ h_1 &\leq 4; h_2 \geq 100; h_3 \leq -30; h_4 \geq 30. \end{aligned}$$

Кроме того, предположим, что по своей физической природе диагностические параметры не могут принимать отрицательные значения, т.е. $A \geq 0$; $B \geq 0$; $C \geq 0$.

Поэтому необходимо определить минимальное значение функции (1) при следующих ограничениях:

$$\begin{aligned} 0,5A + 0,6B + 2C + 2 &\leq 4; \\ 60A + 3B - 30C + 70 &\geq 100 \\ 0,7A - 14B + 7C - 23 &\leq -30; \\ 10A + 10B + 10C + 20 &\geq 30; \\ A \geq 0, B \geq 0, C &\geq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Нахождение минимального значения функции (1) при ограничениях (2) является задачей линейного программирования.

Задача канонического линейного программирования формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Определим минимум линейной функции:} \\ T = T(x_1, \dots, x_n) &= c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \end{aligned} \quad (3)$$

задан на подмножестве n -мерного евклидова пространства и определяется ограничениями:

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1 \dots n) \quad (4)$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = b_i \quad (i = 1 \dots m) \quad (5)$$

Для решения задач линейного программирования можно использовать множество разных методов, но самым простым и популярным является симплекс-метод.

3. Решить задачу линейного программирования симплекс-методом

Процесс решения включает в себя 5 этапов:

3.1. Определить ранг матрицы

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} & b_m \end{bmatrix}$$

созданный коэффициентами и свободными членами (5). Если ранг матрицы A меньше m, то линейно зависимые строки можно исключить: количество оставшихся строк в матрице должно быть равно рангу матрицы. Считаем ранг матрицы равным m.

3.2. Разобьем переменные x_1, x_2, \dots, x_n на две группы: в первую группу входят m базовых переменных, во вторую группу входят $n - m$ свободных переменных. Для ясности мы рассматриваем x_1, \dots, x_m как базовые переменные, а x_{m+1}, \dots, x_n как свободные переменные. Благодаря системе (5) основные переменные представим через свободные переменные:

$$\begin{aligned} x_1 &= \varphi_1 + (\alpha_{1m+1}x_{m+1} + \dots + \alpha_{1n}x_n); \\ x_2 &= \varphi_2 + (\alpha_{2m+1}x_{m+1} + \dots + \alpha_{2n}x_n); \\ &\dots \\ x_m &= \varphi_m + (\alpha_{mm+1}x_{m+1} + \dots + \alpha_{mn}x_n); \end{aligned} \tag{6}$$

Если все числа 1, 2, ..., m неотрицательны, то разделение на базовые переменные и свободные переменные проведено правильно.

Положим $x_i = i$ для $i = 1 \dots m$; $x_i = 0$ для $i = m + 1 \dots n$ (7)

У нас есть приемлемый опыт. Если среди чисел 1, 2, ..., m есть отрицательные числа, то разделение на базовые переменные и свободные переменные выполнено неправильно и его необходимо переделать.

3.3. Подставив значения базовых переменных в (6) в целевую функцию T, получим выражение для определения целевой функции через свободные переменные:

$$T = \lambda + \lambda_{m+1}x_{m+1} + \dots + \lambda_nx_n,$$

где: λ — значение целевой функции при первом приемлемом решении.

3.4. Предположим, среди чисел есть отрицательные. Если тогда все числа $1k, \dots, mk$ положительны, то оптимального решения не существует, а это означает, что если мы возьмем любое приемлемое решение со сколь угодно большим значением x_k , мы получим следующие значения: функции T можно быть таким маленьким, как хочешь. Если среди чисел $1k, \dots, mk$ отрицательное число, то необходимо продолжить итерационный процесс преобразованием свободной переменной x_k в базовую переменную и преобразованием базовой переменной в свободную переменную.

Возвращаясь к изложенной выше задаче оптимизации расхода топлива двигателя автомобиля, поскольку значение постоянной не влияет на нахождение минимума функции, заменим выражение (1) на выражение:

$$T^* = 0,8A + 0,9B - 1,1C \tag{8}$$

Преобразуем неравенство (2) в равенство, введя четыре новые переменные x_1, x_2, x_3 и x_4 :

$$\begin{aligned} 0,5A + 0,6B + 2C + x_1 &= 2; \\ 60A + 3B - 30C - x_2 &= 30 \\ 0,7A - 14B + 7C + x_3 &= -7; \\ 10A + 10B + 10C - x_4 &= 10; \\ A, B, C, x_i &\geq 0 \ (i=1 \dots 4). \end{aligned} \tag{9}$$

— Ранг матрицы, созданной коэффициентами (9), равен числу уравнений (9), то есть равен 4.

— Принимая A, B, C и x_1 в качестве базовых переменных, а x_2, x_3, x_4 в качестве свободных переменных, представим базовые переменные через свободные переменные:

$$\begin{aligned} A &= 0,474 + 0,012x_2 - 0,020x_3 + 0,024x_4; \\ B &= 0,524 + 0,004x_2 + 0,0535x_3 + 0,026x_4; \\ C &= 0,001 - 0,009x_2 - 0,034x_3 + 0,0051x_4; \\ x_1 &= 1,446 + 0,014x_2 + 0,046x_3 - 0,130x_4; \end{aligned} \tag{10}$$

Поскольку первый член в правой части (10) положителен, наше разделение базовых переменных и свободных переменных является правильным. Итак, первое приемлемое решение: $A = 0,474$; $B = 0,524$; $C = 0,001$; $x_1 = 1,446$; $x_2 = x_3 = x_4 = 0$.

— Подставив (10) в (8), получим:

$$T^*_1 = 0,850 + 0,016x_2 + 0,070x_3 - 0,013x_4$$

Коэффициент при x_4 отрицательный, поэтому нам придется перейти ко второму приемлемому решению.

— Преобразуйте x_4 в базовую переменную. В уравнениях (10) отрицательным является только коэффициент при x_4 . Поэтому преобразуем x_1 в свободную переменную и в новом решении $x_4 = 1,446/0,130 = 11,123$.

— Получим второе приемлемое решение: $x_4 = 11,123$;

$$A = 0,474 + 0,024 \cdot 11,123 = 0,741;$$

$$B = 0,5244 + 0,026 \cdot 11,123 = 0,813;$$

$$C = 0,001 + 0,051 \cdot 11,123 = 0,568;$$

$$x_1 = x_2 = x_3 = 0.$$

Сравните второе решение с первым решением:

$$T^*_2 = 0,8 \cdot 0,741 + 0,9 \cdot 0,813 - 1,1 \cdot 0,568 = 0,700 < 0,850 = T^*_1$$

Значение целевой функции уменьшено, то есть второе решение близко к оптимальному. Для проверки оптимальности второго приемлемого решения снова представим базовые переменные через свободные переменные:

$$A = 0,741 - 0,186x_1 + 0,015x_2 - 0,011x_3;$$

$$B = 0,813 - 0,206x_1 - 0,01x_2 + 0,062x_3;$$

$$C = 0,568 - 0,392x_1 - 0,003x_2 - 0,016x_3; \tag{11}$$

$$x_1 = 11,123 - 7,832x_1 + 0,106x_2 + 0,361x_3;$$

Подставив базовые переменные (11) в выражение для целевой функции (8), получим:

$$T^*_2 = 0,700 + 0,098x_1 + 0,051x_2 + 0,06x_3.$$

Все коэффициенты в приведенном выше выражении положительны. Поэтому второе решение является оптимальным.

Так, транспортные средства потребляют наименьшее количество топлива $T = T^* + 2 = 2,7$ при $A = 0,741$; $B = 0,813$; $C = 0,568$.

Заключение

Излагая и представляя способы решения вышеуказанной проблемы, становится ясно, что линейное программирование

играет большую роль и применимо в технической диагностике военной техники в частности и в общей области технической диагностики в целом. Из этой задачи ее можно расширить на

многие другие задачи оптимизации технической диагностики, чтобы минимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт транспортных средств в целом.

Литература:

1. Фан Куок Кхань, Чан Хюэ Нуонг. Линейное программирование. Издательство «Образование», Ханой, 2000 г.
2. Фанкуок Кхан. Исследование операций. Издательство «Образование», Ханой, 2002 г.
3. Нгуен Нгок Бан, Фам Нгок Фук, Нгуен Ван Тан. По поводу прикладных математических моделей в КТКС, «Наука и техника», № 68 (III-1994).

Диагностика механической системы на основе технологии искусственного интеллекта

Нгуен Минь Тиен, кандидат технических наук, преподаватель
Вьетнамский государственный технический университет имени Ле Куй Дона (г. Ханой, Вьетнам)

Рассмотрен метод определения технического состояния механической системы, использующий технологии искусственного интеллекта и основанный на применении нейронечетких сетей. Отмечено, что данный метод должен содержать четыре основных этапа. Показана структура системы диагностирования, реализующей данный метод. Приведен пример идентификации неисправностей в механической коробке передач.

Ключевые слова: нейронечеткая сеть, механическая коробка передач, диагностирование.

Diagnostics of a mechanical system based on artificial intelligence technology

A method for determining the technical condition of a mechanical system is considered, using artificial intelligence technologies and based on the use of neuro-fuzzy networks. It is noted that this method should contain four main stages. The structure of the diagnostic system that implements this method is shown. An example of identifying faults in a manual transmission is given.

Keywords: neuro-fuzzy network, manual transmission, diagnostics.

Введение

Механическая коробка передач и трансмиссия в целом — одна из наиболее нагруженных систем военных машин, работающая в эксплуатационных сложных условиях Вьетнама, поэтому для нее очень высока вероятность поломок. В этой статье автор предлагает методики диагностирования МКП на основе интеллектуальных искусственных технологий.

В процессе эксплуатации машин в механической коробке передач могут возникнуть следующие неисправности:

Возможные неисправности коробки передач, привода управления и привода вентилятора:

- Рычаг кулисы не входит в вырез козырька при включении передачи;
- Шум в коробке при переключении передач; передачи или не включаются, или включаются с трудом. Самопроизвольное выключение передач;
- Течь масла из коробки передач через уплотнения валов;
- После постановки рычага кулисы во включенное положение передача не включается;
- Повышенное буксование фрикциона вентилятора, вследствие чего нарушается нормальный температурный режим двигателя.

Опубликованные работы по диагностированию машин носят узколокальный характер. Они посвящены использованию методов оценки технического состояния отдельных механизмов преимущественно стационарными или переносными техническими средствами. При этом отсутствует системный теоретический подход к проблеме диагностирования машин, не разработаны методологические вопросы технического диагностирования на основе современных средств и новых технологий. Кроме того, большинство работ посвящены косвенным методам исследования. Применение прямых методов в инженерной практике при решении задач диагностирования сдерживается сложностью математического описания и анализа внутренних динамических процессов в объекте, что ставит проблему дальнейшего развития и совершенствования методов технического диагностирования. Совершенно очевидно, что для решения отмеченных проблем необходимы новые подходы, пути и методы, отличные от классических. Эти пути и методы должны быть, во первых, концептуально обоснованы, во вторых, должны основываться на фундаментальных теоретических разработках и соответствующем математическом аппарате.

Современный этап развития техники характеризуется широким внедрением в системы управления микроэлектро-

ники, позволяющей обеспечить комплексную автоматизацию машин и технических комплексов. Автоматические устройства в этом случае способны выполнять одновременно множество функций. Анализ состояния проблемы автоматизации машин показывает, что классическая теория автоматического управления не дает возможности учета всего разнообразия условий функционирования объекта, а эффективность автоматизации управления и диагностирования на ее научных принципах оказывается гораздо ниже ожидаемой.

Характерной особенностью диагностируемых объектов является неопределенность происходящих при их эксплуатации процессов, непредсказуемое поведение диагностических параметров, множество ситуаций и режимов, неполнота и ограниченность информации.

В этой связи возникает важная задача: собрать побольше диагностической информации и затем быстро и качественно ее обработать. С появлением современных средств сбора и представления информации, а также благодаря колоссальным возможностям бортовой микроэлектроники появились хорошие предпосылки для осуществления диагностирования на качественно новом уровне.

Современные методы диагностирования тесно «работают» с такой формой информации, как научное знание, поскольку она дает реальные предпосылки и является основой для постановки правильного и точного технического диагноза.

Существует два основных метода приобретения научных знаний: теоретический и экспериментальный. Они широко используются в диагностировании.

Теоретический метод основан на проведении комплекса аналитических процедур, теоретических экспериментах на имитационных моделях, использовании математического аппарата, анализе теоретических данных и т.д.

В экспериментальном методе знания для установки технического диагноза поставляют испытания объекта (полунатурные, стендовые, эксплуатационные, ходовые). Естественно, далее эти сведения, полученные в виде осциллограмм, графиков, таблиц, фотографий и т.д., обрабатываются на основе математического аппарата или с помощью визуальных оценок и сравнительного анализа.

Основание

Метод диагностирования, основанный на нечеткой логике. Эксплуатация объектов и механизмов машин происходит в среде нечеткости, ограниченности, размытости, неполноте информации об изменении параметров. Значит, для решения задач диагностирования нужно использовать соответствующий математический аппарат.

Автором разработан уникальный **метод диагностирования, основанный на нечеткой логике**. Он сводится к следующему.

Для получения информации, необходимой для формирования продукционных правил нечеткой логики, строят функциональные зависимости одних диагностических параметров от других вида

$$d_k = f(d_l); k, l = \overline{1, m}, k \neq l \quad (1)$$

где d_k, d_l — диагностические параметры; m — их количество.

С целью оценки влияния диагностических параметров на характеристики механизмов и элементов объекта диагностирования получают зависимости вида

$$y_j = f(d_k); j = \overline{1, n}; k = \overline{1, m} \quad (2)$$

где y_j — характеристики объекта; n — количество характеристик.

Далее строится экспертная система, предназначенная для определения характера и степени неисправностей МКП. Этапы проведения технической идентификации МКП, включающие комплекс научно-технических и исследовательских работ на стендах и лабораториях.

По методу диагностирования, основанный на нечеткой логике получили результаты, изображенные на рис. 1, 2.

Метод диагностирования, основанный на нейронечеткой идентификации. Сущность метода в следующем. Анализ причин возникновения переходных режимов работы механизмов бронетанковой техники основан на оценке соотношений между изменениями параметров векторов входа X и выхода Y некоторой системы.

Этапы идентификации технического состояния МКП:

- оснащение датчиками и измерительной аппаратурой МКП;
- проведение экспериментальных исследований на заводских стендах и получение характеристик;
- подключение экспертной интеллектуальной системы к МКП и получение технического диагноза экспертом на мониторе.

Нейронечеткая сеть идентифицирует конкретные неисправности объекта при условии, что она была предварительно обучена распознавать тот или иной отказ либо неисправность. Для обучения используются классические математические принципы обучения нейронных или нейронечетких сетей. Метод содержит несколько этапов.

Этап 1. Сбор экспертной информации по отказам и неисправностям и формирование базы знаний. На данном этапе на основе экспериментальных данных, заключений экспертов и посредством других достоверных источников информации формируется база знаний. Она представляет собой совокупность обучающих выборок, характеризующих признаки и проявления неисправностей; эти выборки в дальнейшем подаются на вход нейронечеткой сети.

Итак, ставится задача определения технического состояния элементов механической коробки передачи военных машин, который эксплуатируется в условиях Вьетнама. Исходная информация о функционировании МКП, поведении ее параметров, возможных неисправностях и причинах их возникновения формируется в виде экспертной базы знаний на основе достоверных данных, полученных от различных источников. В качестве дополнительных источников формирования базы знаний могут служить результаты экспериментальных исследований в стендовых условиях и в процессе ходовых испытаний, а также статистические данные по отказам.

Сформированная база знаний используется при обучении нейронечетких сетей для распознавания неисправностей. Коли-

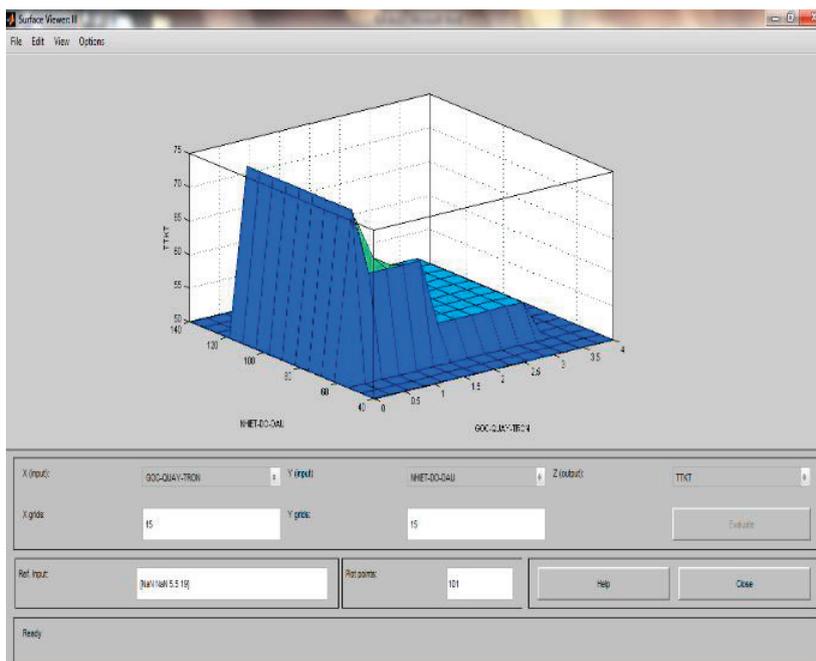


Рис. 1. Закон неопределенной системы

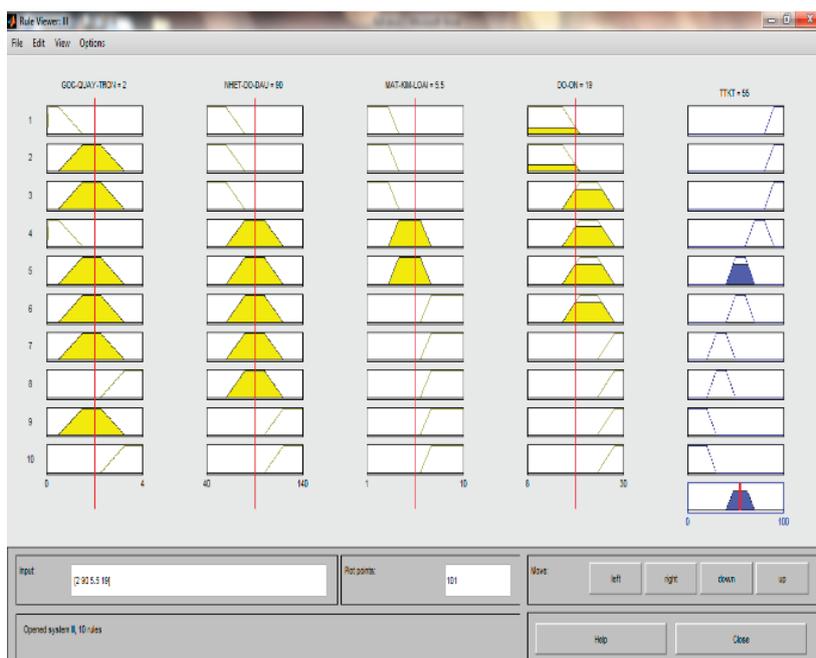


Рис. 2. Изображение результатов по типам диаграммы

чество продукционных правил подобной базы знаний составляет несколько десятков для описания технического состояния отдельного механизма или несколько сотен для машины в целом.

Этап 2. Создание нейронечеткой модели. Нейронечеткая модель образуется на математической основе теории нейронных сетей и средств нечеткой логики (рис. 3). Входами сети служат информационные переменные X (диагностические параметры), описанные функциями принадлежности $i = \overline{1, N}, J = \overline{1, M}$ (N — число информационных переменных, M — лингвистических переменных по каждому параметру). В качестве выхода сети —

вектора Y_i — выступают различные критерии, определяющие показатели эффективности, качества и безопасности функционирования МКП (коэффициент передаточного числа, вибрации, пульсации давления, утечки и т.д.).

Для преобразования четких сигналов в нечеткий вид диагностические параметры фаззифицируются. Каждый из диагностических параметров \tilde{a}_j описывается несколькими (тремя-пятью) термами лингвистической переменной. Как правило, для этих целей используются треугольные или гауссовские функции принадлежности.

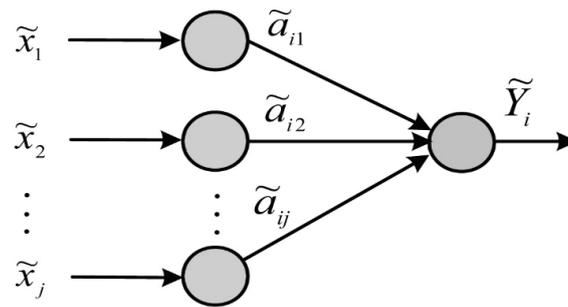


Рис. 3. Нейронечеткая сеть

Для нейронечеткого моделирования используют специализированное программное обеспечение (например, программу Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения MATLAB7.0). Аппроксимирующая модель включает в себя программу с расширением *.fis, основанную на представлении входных параметров базы нечетких правил нечеткими переменными, и программы формирования тестирующих и обучающих данных *.m на основании реальных процессов функ-

ционирования МКП. При использовании модели в режиме реального времени исходные данные об изменении параметров МКП поступают от регистратора — микропроцессора или бортового компьютера.

Структура адаптивной нейронечеткой сети ANFIS, аппроксимирующей выход диагностической системы, показана на рис. 4. При этом число входов сети равно количеству используемых диагностических параметров.

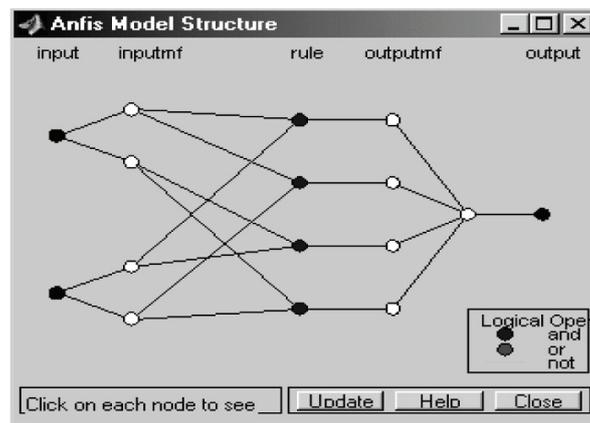


Рис. 4. Структура модели ANFIS

Этап 3. Обучение нейронечеткой сети. При обучении сети на ее вход подают совокупность пар обучающих выборок, характеризующих сочетание диагностических параметров для

разных видов технического состояния механизмов МКП. Значение, получаемое на выходе сети, соответствующим образом интерпретируется.

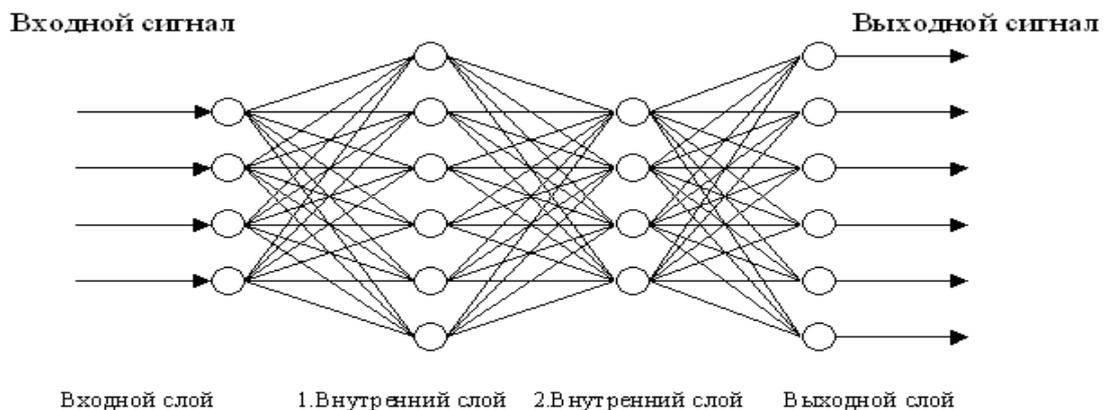


Рис. 5. Адаптивная нейронечеткая сеть ANFIS

Время обучения модели, приведенной на рис. 4, с использованием компьютера с операционной системой Windows XP Professional и установленной вычислительной системой MATLAB7.0 составляет всего 10 с. Результат обучения сети был достигнут в течение 10 эпох.

Этап 4. Нейронечеткая идентификация и вывод заключения. Этот этап является заключительным в процессе определения технического состояния элементов МКП.

При этом для получения технического диагноза используют обученную нейронечеткую сеть, а на вход сети подается информация о параметрах, характеризующих реальные процессы в МКП. Для удобства пользователя диагностической системы числовая информация, получаемая на выходе сети, подвергается дополнительной интерпретации и выдается, к примеру, в вербальном виде (лингвистической форме).

При этом используются специальные окна интерпретатора, в котором информация экспертной системы о техническом состоянии механизмов МКП для выбранного режима функционирования выводится в визуально-вербальном виде. В окне просмотра экспертной системы просматривают графическую информацию о поведении параметров на режиме управления или режиме диагностирования. В специальных строках выводятся разные сообщения: виды и наименования диагностических параметров, их текущие значения, предупреждения о возникновении нестандартных ситуаций либо достижении параметров критических значений и др.

Элементы интерфейса экспертной системы могут быть достаточно легко изменены в соответствии с пожеланиями пользователя. Экспертная система для диагностирования МКП, реализующая созданный метод, сопровождается программным обеспечением, разработанным на современных языках программирования с привлечением средств визуальной разработки.

Предложенный метод обеспечивает получение расширенной достоверной базы знаний, быстроту обработки инфор-

мации, точность получаемого технического диагноза и возможность оперативного определения технического состояния МКП в режиме реального времени.

Преимущества предложенного метода заключаются в следующем:

- возможность использования расширенной достоверной базы знаний;
- высокая скорость обработки информации;
- большая точность технического диагноза;
- возможность оперативного диагностирования в режиме реального времени;
- удобство нормативного диагностирования на специализированных постах, станциях техобслуживания, на горно-обогатительных предприятиях и т.д.

Заключение

Диагностирование сложных технических объектов, заключающееся в том, что среди параметров сложного технического объекта выделяют отдельные параметры, которые являются признаками его технического состояния, сравнивают их с эталонными признаками исходного алфавита классов. Перспективными направлениями развития методов и средств диагностики являются методы, основанные на нечеткой логике или нечетких множествах, экспертные системы и нейронные сети. Искусственные нейронные сети (ИНС) используют для идентификации объектов контроля, распознавания образов и прогнозирования состояния технической системы. Применение ИНС позволит получить повышение быстродействия средств диагностирования за счет распараллеливания потоков обработки диагностической информации. Метод диагностирования сложных технических объектов, основанные на применении нейронечетких сетей, адаптированы к задачам диагностирования механических коробки передач военных машин.

Литература:

1. Биргер И. А. Техническая диагностика. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
2. Викторова Е. В. Применение нечетких нейронных сетей для технической диагностики дорожных машин/ Е. В. Викторова // Вестник ХНАДУ, — 2012, — вып. 56. — С. 98–102.
3. Хаханов, В.И., Щерба, О. В. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования цифровых сетей/ В. И. Хаханов, О. В. Щерба// Радиоэлектронные и компьютерные системы. — 2010. — № 5 (46), — С. 15–20.
4. Руководство по материальной части и эксплуатации Т-55. Ордена трудового красного знамен. Военное издательство. — Москва 1969, — 665 с.

Оценка ресурса элементов прокатных станов при формировании мероприятий технического обслуживания и ремонта

Посконный Евгений Александрович, студент
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Работоспособность оборудования в металлургической промышленности — это ключевой фактор для обеспечения непрерывного производства и эффективности предприятия.

Создание эффективной стратегии по техническому обслуживанию и ремонту является сложным процессом, требующим квалифицированных специалистов и системного подхода.

Для разработки такой стратегии необходимо учитывать не только технологические особенности оборудования, но и его эксплуатационные характеристики, особенности производства, а также количественные и качественные показатели надёжности и безопасности. Эффективное планирование технического обслуживания позволяет минимизировать риски аварийных ситуаций, обеспечивая бесперебойную работу оборудования и сокращая потери от простоев.

Для успешной реализации стратегии по техническому обслуживанию и ремонту важно также иметь систему контроля и мониторинга состояния оборудования, регулярно проводить его диагностику и предупреждать возможные поломки заранее. Такой подход помогает увеличить срок службы оборудования, оптимизировать расходы на его обслуживание и повысить общую производительность предприятия.

В статье предложен способ мониторинга остаточного ресурса зуба шестерённой клетки на основе проведённых экспериментальных исследований.

Проведение опыта [1]:

1. В качестве образца будет выступать металлическая пластина размером 40x240x2 с отверстиями под крепёж.
2. Пластину необходимо закрепить в зажимающем приспособлении (тисках) так, чтобы получилось плечо силы ≥ 200 мм, как, например, на рисунке 1.
3. Необходимо продеть крючок динамометра в одно из отверстий, как на рисунке 4. Также нужно расположить камеру для фиксирования эксперимента на видеозапись. Угол съёмки используемой камеры = 123° . Было подобрано оптимальное расстояние путём графического построения, и оно должно быть ≥ 1050 мм (рисунок 2). Также в кадре нужно разместить измерительный инструмент для оценки масштаба при расчёте тангенса угла отклонения. Была выбрана линейка длиной 300 мм. Линейку закрепим на стене за стендом как показано на рисунке 4, чтобы нулевая отметка соответствовала началу плеча силы.

4. Перед началом испытания нужно также расположить датчик прибора измерения акустической эмиссии как показано на рисунке 4. Включаем датчик, после чего нажимаем клавишу 1 и включаем меню «Измерение». Запуск измерения производится нажатием клавиши «Enter».

5. Испытателю необходимо оказывать нагрузку, вектор которой перпендикулярен принятому плечу силы, потянув за ручку динамометра как на рисунке 5, после чего занести значение приложенного усилия, зафиксированного динамометром, в таблицу 2, а также величину параметра D и занести в таблицу 3 с прибора АЭ, после чего выйти из меню «Измерение» нажатием клавиши ESC (Shift).

Методика расчёта ресурса. Построение кривой Велера с накоплением напряжений по циклам

1. Основной характеристикой, определяемой при испытании на усталость материала, является *предел усталости* — наибольшее напряжение, которое может выдержать материал без разрушения при произвольно большом числе перемен (циклов) нагрузки.

Для практических целей, как правило, определяют условный предел усталости (усталостную прочность) — наибольшее напряжение, которое может выдержать материал без разрушения при стандартном (базовом) числе циклов N_6 . Обозначают σ_{-1} — для симметричного нагружения и σ_R — для несимметричного [МПа или кгс/мм²]. Для сталей значение N_6 принимают равным 10^7 , для цветных металлов — 10^8 .

2. По кривой выносливости известно число циклов и напряжение, соответствующее ему. Зависимость кривой имеет вид ($m = 4,125$ по Троценко, Сосновскому «Соппротивление металлов и сплавов»):

$$N\sigma^m = const \quad (1)$$

3. Внутреннее трение при изгибе определено А — амплитудой колебаний. По итогам аппроксимации эксперимен-

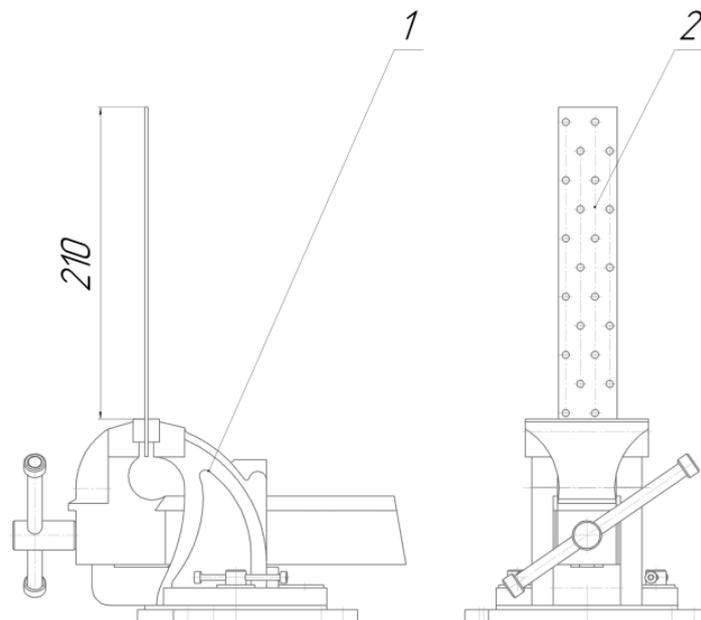


Рис. 1. Закрепление полосы в тисках, где 1 — тиски, 2 — пластина

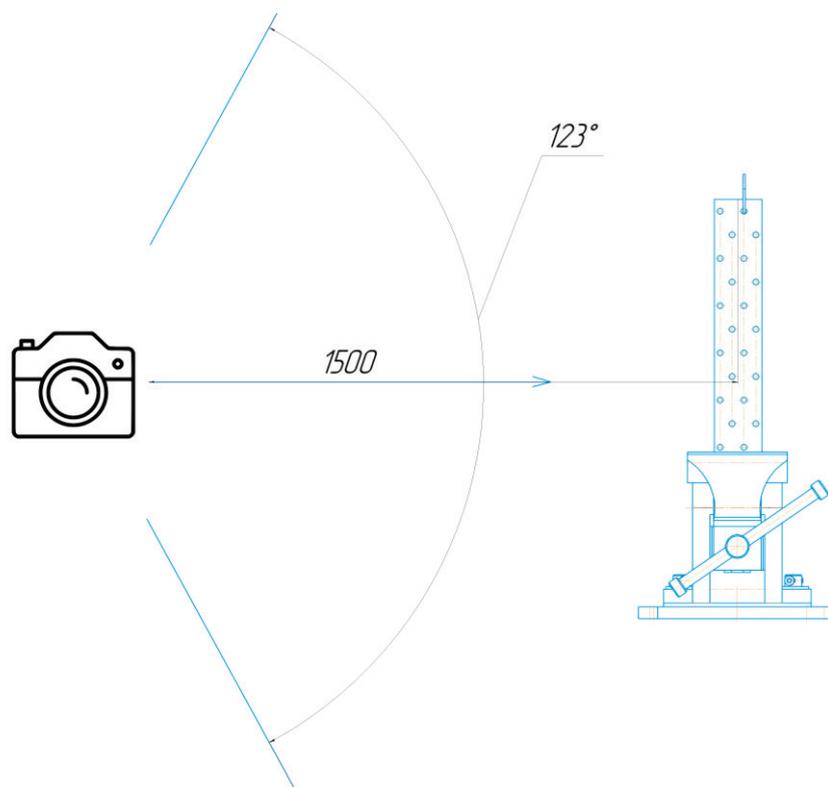


Рис. 2. Расположение камеры перед стендом

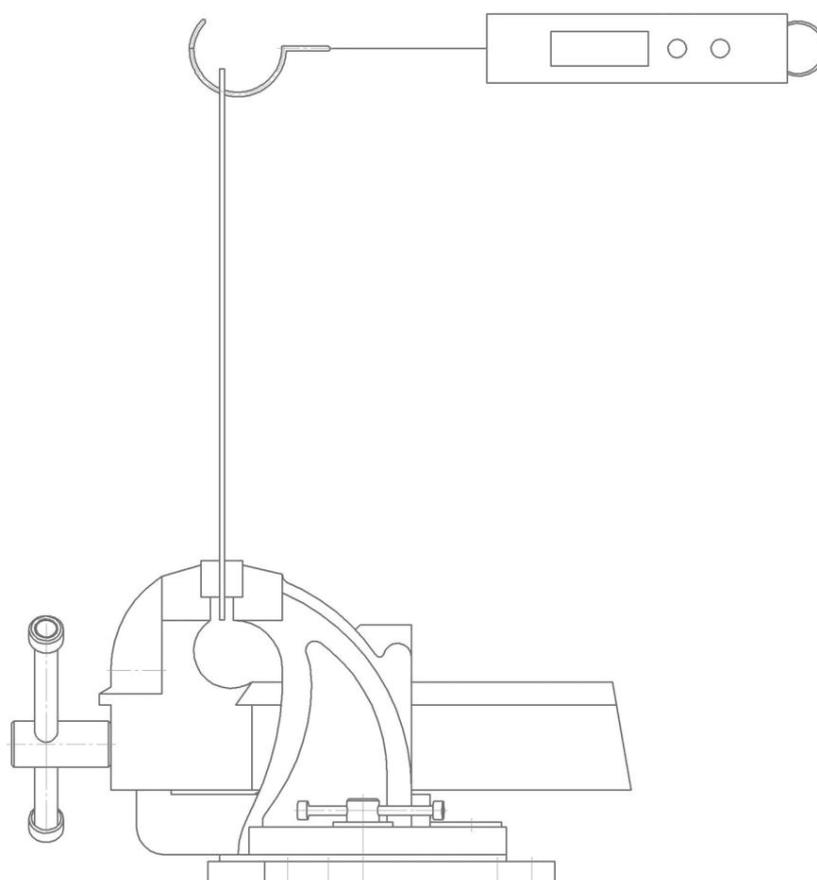


Рис. 3. Закрепление крючка динамометра

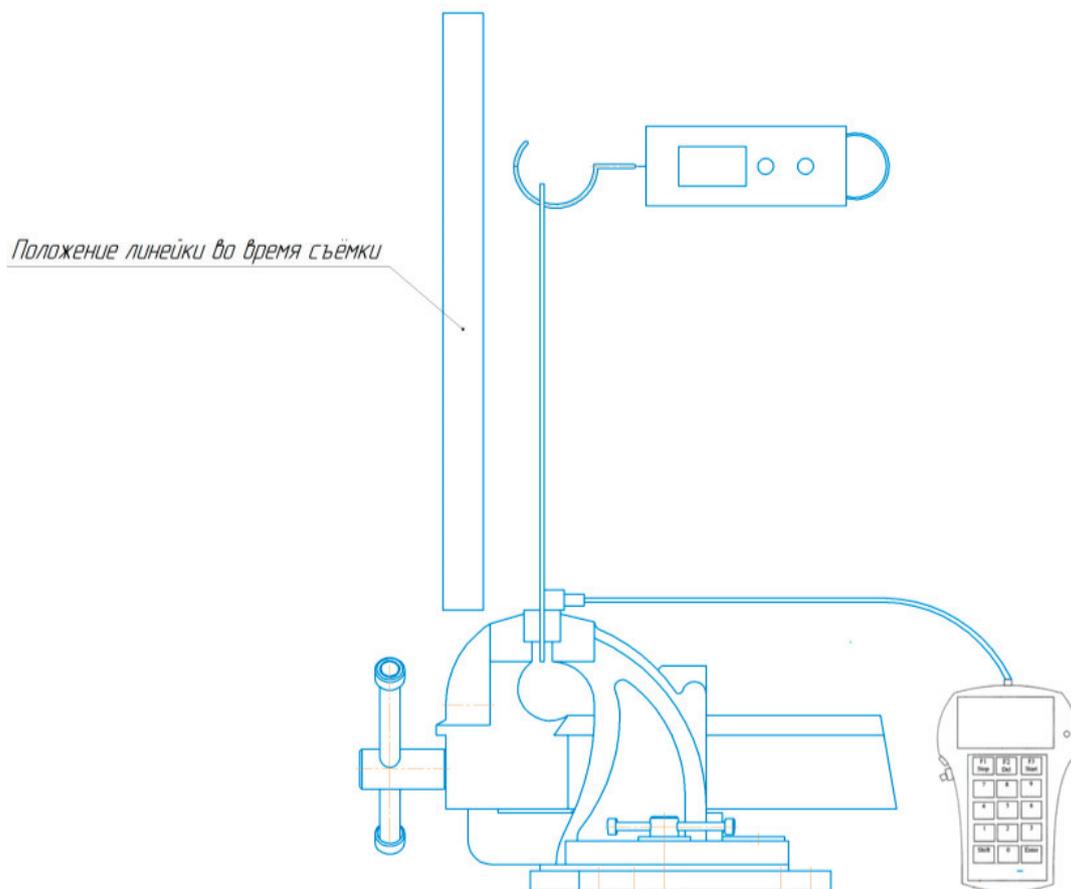


Рис. 4. Расположение измерительной линейки на стенде

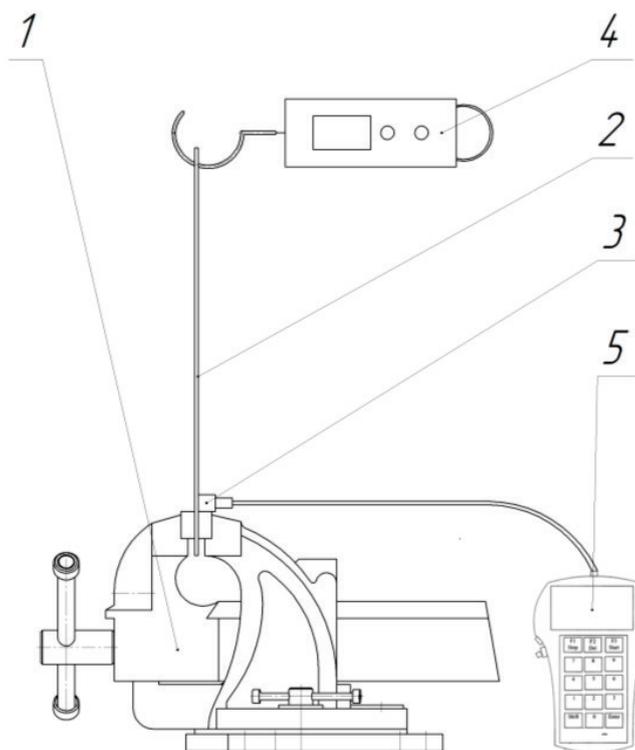


Рис. 5. Расположение датчика на стенде, где 1 — тиски, 2 — пластина, 3 — датчик прибора акустической эмиссии, 4 — динамометр, 5 — прибор для измерения акустической эмиссии

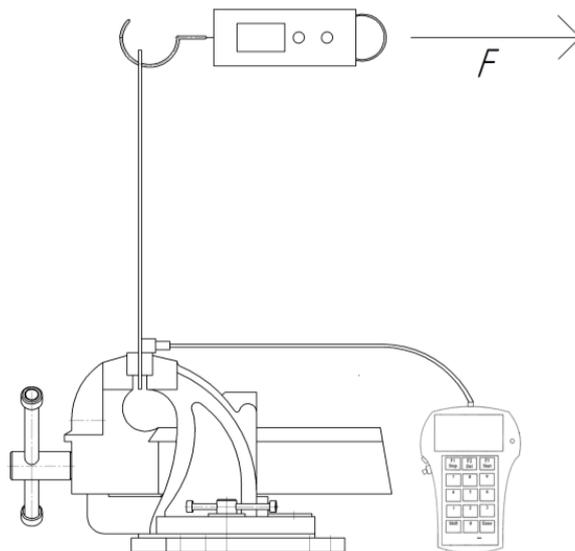


Рис. 6. Вектор приложения нагрузки

Таблица 1. Зафиксированная амплитуда при нагрузке

№ испытания № цикла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Амплитуда колебаний А									
1	3660	3660	3650	3680	3700	3700	3700	3700	3700	3700
2	5425	4950	5075	6035	5950	6150	12800	12325	13750	12900
3	16725	16933	16966	16566	17100	17050	17125	17150	17150	17155
4	17666	17900	18133	18600	18800	18566	18666	18366	18660	18660
5	22335	21733	21845	21766	22466	22466	22666	21933	22000	23733
6	36666	36666	37300	37700	38666	36666	36666	36900	36700	37700
7	11250	12250	11350	12000	12050	12845	11500	11166	11000	11200

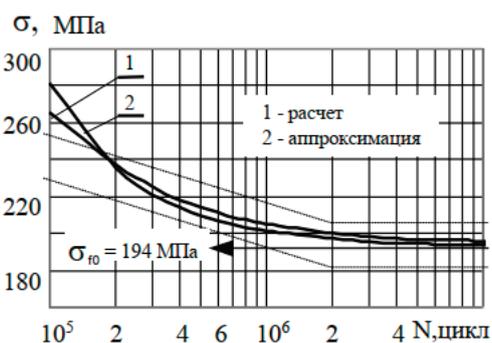


Рис. 7. Кривая Велера для VS3сп

тальной зависимости амплитуды от напряжения в пределах закона Гука была получена диаграмма (рис. 8).

4. Эксперимент показал, что в пределах допустимых нагрузок зависимость между А и σ наиболее соответствует линейному закону распределения.

5. Таким образом величину А можно при значении напряжения по зависимости:

$$\sigma = 0,0103A + 58,624$$

Подставим выражение в выражение (1), тогда

$$N(0,0103A + 58,624)^m = const \tag{2}$$

Величину m узнаем путём математических операций [87,86]:

$$1) \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^m ;$$

$$2) \lg\left(\frac{N_1}{N_2}\right) = m \lg\left(\frac{A_2}{A_1}\right);$$

$$3) m = \frac{\lg\left(\frac{N_1}{N_2}\right)}{\lg\left(\frac{A_2}{A_1}\right)} ;$$



Рис. 8. Зависимость величины напряжения изгиба от амплитуды колебаний

Литература:

1. Посконный Е. А. Оценка ресурса элементов прокатных станов при формировании мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту: Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции / Е. А. Посконный// — Магнитогорск гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024 Т. 1 с. 224
2. Никольская Т. С. Акустико-эмиссионный способ оценки пороговой нагрузки и остаточного ресурса конкретного изделия: статья в журнале/ Т. С. Никольская// научно-технический вестник Санкт-Петербургского Государственного Института точной механики и оптики (технического университета) СПб ГТУ 2003 № 11 с. 152–157

Разработка проекта экскаватора на базе малогабаритной многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500»

Рыбальченко Даниил Сергеевич, студент;

Новоселов Никита Владимирович, студент;

Шишкин Семён Алексеевич, студент;

Гаффатуллин Руслан Булатович, инженер-конструктор молодёжного конструкторского бюро бронетанковой техники и транспортных машин «Танкоград»

Научный руководитель: Жаков Андрей Олегович, руководитель молодёжного конструкторского бюро бронетанковой техники и транспортных машин «Танкоград»

Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Статья представляет собой обзор на разработку малогабаритного экскаватора на базе многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500». В статье обсуждаются технические характеристики экскаватора, требования к оборудованию и детали конструкции. Рассматривается выбор силового агрегата, гусеничной ленты, ведущего колеса и других элементов. Разработана 3D-модель платформы, отражающая ключевые особенности и детали конструкции. Экскаватор был разработан с учетом потребностей рынка и требований к эффективности и надежности спецтехники.

Ключевые слова: гусеничный экскаватор, многофункциональная платформа, спецтехника.

Введение

Сегодня на российском рынке представлено большое количество зарубежных производителей спецтехники. Большую часть производства занимают малогабаритные машины общего

и специального назначения. Особую часть занимают малогабаритные экскаваторы.

Область применения малогабаритного экскаватора достаточно широка в таких отраслях, как сельское хозяйство (выемка грунта и рытье котлованов, подготовка участков, корчевание

пней, сбор и погрузка удобрений) [5], строительство (копка траншей уборка территории от строительного мусора), дорожное строительство (демонтаж асфальта, погрузка грунта).

Учитывая актуальность разработки, одной из целей коллектива МКБ «Танкоград» является разработка малогабаритного экскаватора на базе многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500».

В рамках данной работы авторами были установлены задачи проекта:

1. определить требуемые технические характеристики экскаватора;
2. выбрать силовой агрегат и оборудование;
3. выбрать гусеничную ленту;
4. разработать 3D-модель проекта и подготовить масштабную модель.

2. Методы

2.1. Разработка технических требований

Общие габаритные размеры экскаватора должны позволять производить работы в местах с ограниченным пространством (к примеру, по ширине дверного проёма 900 мм.), а также позволять транспортировать его до рабочего места на грузовых машинах общего назначения (к примеру, газель-бизнес с минимальным размером кузова 3056 x 1978 мм).

Максимальный снаряжённый вес определяем следующими требованиями: максимальный вес грузоперевозки, устойчивостью в процессе выполнения технологических операций, а также оптимальностью тягового усилия и характеристик привода гусеничного движителя. Платформа «Танкоград Т-1500» позволяет производить на её базе агрегат общей массой до 1500 кг.

Требование к скорости передвижения экскаватора определяется необходимостью его оперативностью перемещения по производственным участкам. Зачастую, это требование не является приоритетным, максимальная скорость передвижения данного малогабаритного экскаватора составляет 5 км/ч. Во-первых, экскаватор часто транспортируется на грузовом транспорте до места работы, а не перемещается самостоятельно. Во-вторых, в процессе выполнения основных технологических операций, таких как выемка грунта, рытье котлованов, подготовка участков и другие, экскаватор стоит неподвижно. Поэтому высокая скорость передвижения для него не является приоритетным требованием.

Многофункциональная платформа Т-1500 позволяет устанавливать различные типы гусениц. Для работы в городской среде, а также на сельскохозяйственных посевных площадях требуется установка резиноармированных гусениц.

Рабочий орган экскаватора — «стрела» должна обеспечивать максимальную глубину копания 2000 мм, что позволит выполнять более широкий список технологических работ.

В процессе анализа условий работы экскаватора и особенностей его использования было принято решение сделать его полноповоротным. Это было обусловлено тем, что часть работ, которые выполняет экскаватор, происходит в замкнутом про-

странстве. В таких условиях использование полноповоротного экскаватора значительно упрощает процесс работы, делает его более эффективным и удобным для оператора.

2.2. Выбор оборудования

Для обеспечения надёжной работы для мини-экскаватора был выбран бензиновый двигатель Lifan мощностью 29 л.с., который обеспечивает необходимую производительность и эффективность работы (рис. 1).

Выбран гидромотор MS315 CM/4 (рис. 2.). Во-первых, гидромотор обладает требуемой мощностью (15 кВт.) Кроме того, гидромотор экономически целесообразнее (сегодня его цена составляет в среднем 30000 рублей.) относительно редукторов хода ТМ02, которые так же могут быть адаптированы на конструкцию платформы Т-1500 (их стоимость в среднем составляет 90000 рублей.).

В экскаваторе применён гидравлический насос НШ-32 (рис. 3.). Его компактный габаритный размер (600 x 400 x 400 мм) и производительность (46 л/мин.) удовлетворяют требованиям.

Выбрана резиноармированная гусеничная лента (РАГ) от производителя Composit. Маркировка 230x48x60 (где 280мм — ширина, 48 мм — шаг, 60 — количество звеньев) (рис. 4.). РАГ обеспечивает сравнительно низкий вес, а следовательно, и лучшее распределение давления под опорной поверхностью гусениц [1].

Ведущее колесо — это ключевой элемент, который играет существенную роль в общей производительности и надёжности гусеничной платформы. Учитывая его важность, было решено профилировать ведущее колесо самостоятельно (рис. 5.). [1].

В основе долговечности и надёжности механизма лежит его конструкция. Была разработана рама (рис. 6.), которая имеет коэффициент запаса по прочности более 3 ед. [2].

Опорный каток выполнен двубортным исполнением (рис. 7.). Эта особенность обеспечивает оптимальный контакт с гусеницей. Из конструктивных особенностей стоит отметить, что он выполнен без внешней и внутренней амортизации. Это упрощает конструкцию катка и уменьшает вероятность возникновения поломок [3]. В опорном катке предусмотрена возможность замены подшипников, что значительно продлевает его срок службы и экономит средства на обслуживание.

На гусеничной платформе установлено по три опорных катка на каждую сторону. Расположение катков способствует равномерному распределению нагрузки на грунт и гусеницу. [4].

Важной составляющей любой гусеничной техники является система натяжения гусеницы. Натяжение гусеницы осуществляется с помощью регулировочных болтов с трапециевидной резьбой. Регулировочные болты с трапециевидной резьбой позволяют надёжно закрепить гусеницу.

3. Результаты

В результате разработки малогабаритного экскаватора на базе многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500» была разработана 3D-модель (рис. 8, 9).



Рис. 1. Двигатель Lifan 2V80F (габаритная 3D-модель)

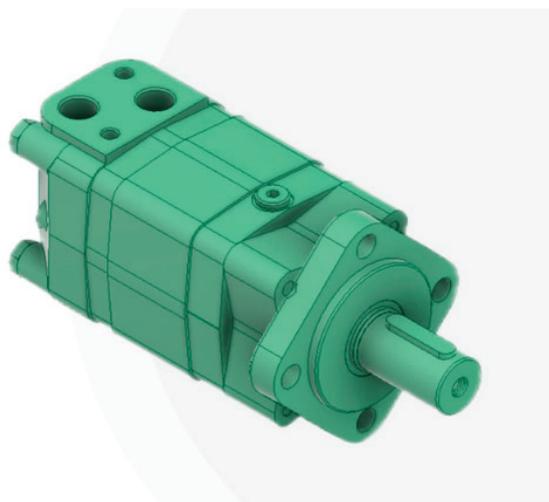


Рис. 2. Гидромотор MS315 CM/4

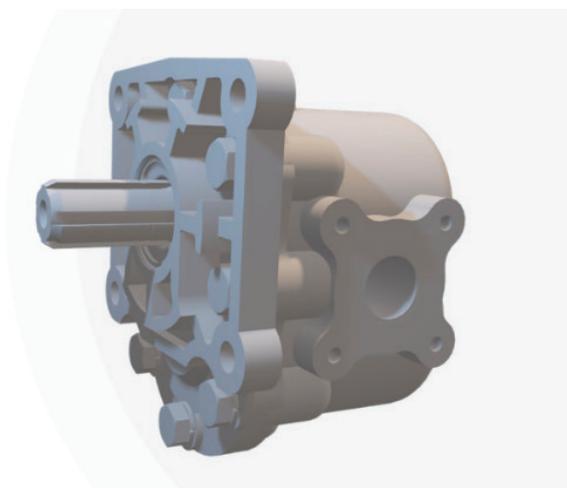


Рис. 3. Насос НШ-32



Рис. 4. Гусеничная лента Composit 230 x 48 x 60



Рис. 5. Ведущее колесо

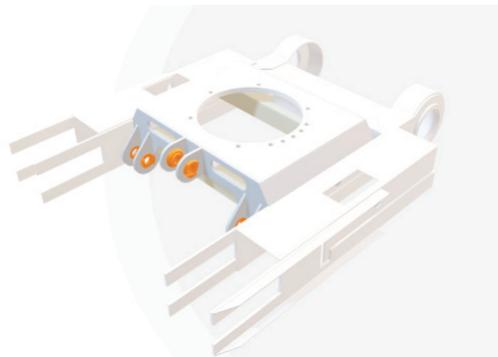


Рис. 6. Рама многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500», адаптированная для полноповоротного экскаватора

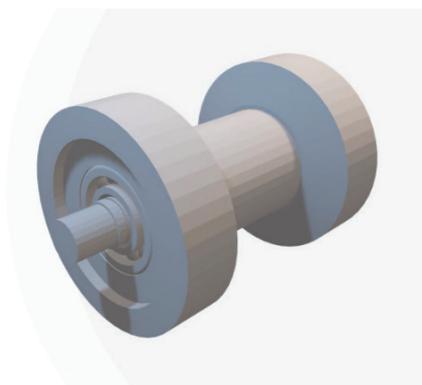


Рис. 7. Опорный каток



Рис. 8. Цветная 3D-модель экскаватора на базе малогабаритной многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500»

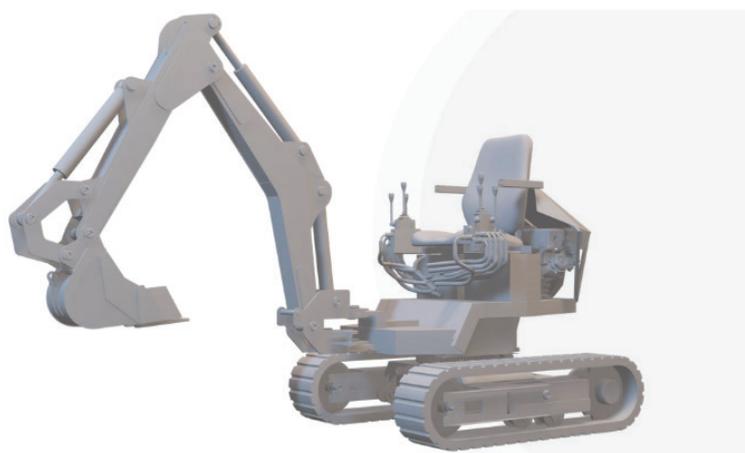


Рис. 9. 3D-модель экскаватора на базе малогабаритной многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500»

3D-модель проекта также была масштабирована: 1:12,3 (рис. 10, 11, 12.) и выполнена печать пластиком PETG и PLA на

3D принтере. Подготовка моделей к печати пластиком проводилась в программе Cura.

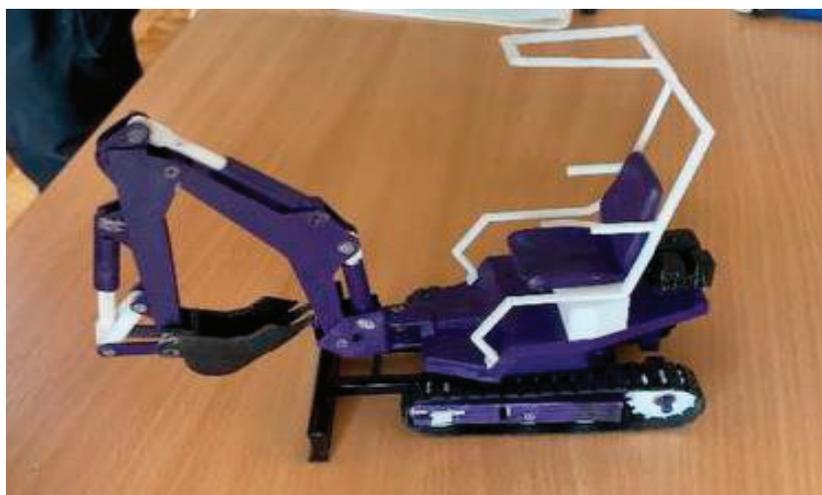


Рис. 10. Модель экскаватора в масштабе 1:12,3, вид слева



Рис. 11. Модель экскаватора в масштабе 1:12,3, вид справа

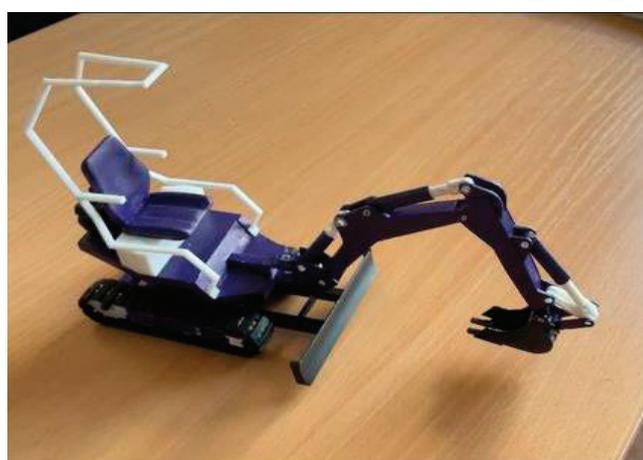


Рис. 12. Модель экскаватора в масштабе 1:12,3

3D-модель экскаватора, напечатанная на 3D-принтере, была продемонстрирована на конференции в ЮУрГУ (НИУ) в 2024 году.

В данный момент (апрель 2024 г.) проект находится на стадии разработки конструкторской документации и передачи её на производство.

4. Выводы

1. Определены технические характеристики для малогабаритного экскаватора/
2. Выбраны силовой агрегат и оборудование.

3. Выбрана гусеничная лента российского производства.
4. Разработана 3D-модель малогабаритного экскаватора на базе многофункциональной гусеничной платформы «Танкоград Т-1500».

5. Разработанная модель масштабирована для печати на 3D-принтере, собрана модель из пластика PETG и PLA.

Данная работа выполняется в рамках одного из направлений деятельности молодёжного конструкторского бюро бронетанковой техники и транспортных машин «Танкоград» при политехническом институте Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет) г. Челябинск.

Литература:

1. Федоткин Р. С., Крючков В. А., Бейненсон В. Д., Парфенов В. Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 3. С. 24–32.
2. Шарипов В. М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
3. Кряжков В. М., Годжаев З. А., Шевцов В. Г., Гурылев Г. С., Лаврон А. В., А. В. Парк тракторов: состояние и направление развития // Сельский механизатор. 2015. № 9. С. 3–5.
4. Носов Н. А., Галышев В. Д., Волков Ю. П. и др. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л.: Машиностроение, 1972. 560 с.
5. Современная агроинженерия / В.И. Трухачев, О.Н. Дидманидзе, М.Н. Ерохин [и др.].— Москва: ООО «Мегаполис», 2022.— 413 с.

Органолептический профиль браззеина в различных пищевых средах

Саркисян Варужан Амбарцумович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

Воробьева Валентина Матвеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Воробьева Ирина Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

Билялова Анастасия Сергеевна, кандидат технических наук, научный сотрудник;

Соболев Роман Владимирович, инженер-исследователь

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (г. Москва)

Ляшенко Евгений Васильевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Дубцова Галина Николаевна, доктор технических наук, профессор

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) (г. Москва)

Браззеин является одним из наиболее перспективных пищевых белков, обладающих сладким вкусом, который может быть использован для разработки пищевых продуктов со сниженным содержанием сахара. Несмотря на долгую историю изучения браззеина, до сих пор плохо описанным в научной литературе является профиль его сладкого вкуса в составе различных пищевых матриц. Целью настоящей статьи являлось изучение профиля сладкого вкуса браззеина в составе различных пищевых сред. Показано, что наилучшим вкусовым профилем браззеин обладает при пониженной температуре и значениях pH 4,5 и 7,5, при этом целесообразным является использование браззеина в составе безалкогольных напитков, в том числе сокодержажщих.

Введение

На данный момент изучено 6 белков, обладающих сладким вкусом: монеллин, тауматин, пентадин, мабинлин, куркулин и браззеин [1]. Согласно публикации [2] из всех известных сладких белков наиболее близким по вкусу к природным сахарам является белок браззеин, обладающий наименьшей молекулярной массой среди сладких белков (6,47 кДа). Изначально браззеин получали из спелых плодов западноафриканского растения *Oobli (Pentadiplandra brazzeana Baillon)*, однако в последнее время разрабатываются все больше способов его получения, включая микробиологическое производство [3]. Из природного сырья браззеин извлекают в виде двух тиовов: major (~80%) и minor (~20%) [4]. Согласно исследованию (Jin et al., 2003a) некоторые формы браззеина в 500 раз слаще 10%-ного раствора сахарозы и до 2000 раз слаще 2%-ного раствора сахарозы, при этом его отличительной особенностью является отсутствие горького послевкуся, что делает его перспективным заменителем сахара. Важными особенностями браззеина являются хорошая растворимость в воде и устойчивость к воздействию высоких температур. Например, согласно исследованию [5] его сладость может сохраняться в течение 4 часов при температуре 80°C в диапазоне pH от 2,5 до 8.

Браззеин представляет собой полипептид, состоящий из 54 аминокислотных остатков с четырьмя внутримолекулярными дисульфидными связями, без свободной сульфгидрильной группы [4]. При исследовании с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [6] определена структура браззеина, содержащая одну короткую α -спираль и три нити антипараллельного β -листа, соединенных четырьмя дисульфидными связями. Выраженный сладкий вкус обусловлен, нестандартной конфигурацией диагональной дисульфидной связи браззеина дикого типа [7]. Высокая термостабильность браззеина может быть обусловлена отсутствием свободной сульфгидрильной группы и наличием 4 дисульфидных связей [7,8].

Несмотря на то, что браззеин открыт более 25 лет назад, на данный момент ограничена информация об органолептической

характеристике его растворов, в том числе недостаточно сведений об изменении профиля сладости браззеина в различных средах. Кроме того, на сладость браззеина могут оказывать влияние различные факторы среды, такие как содержание в ней жира или ее вязкость [9].

Целью работы являлось изучение профиля сладкого вкуса браззеина в составе различных пищевых сред.

Материалы и методы

В качестве материалов были использованы: питьевая вода, браззеин (Бирюч, Россия), сахароза, молоко с жирностью 3,2%, сливки с жирностью 10%, цитрат натрия, лимонная кислота, дигидрофосфат натрия двухводный, гидрофосфат натрия двухводный, пектин цитрусовый.

Приготовление растворов браззеина

Были проанализированы растворы браззеина (25 мг/100г) соответствующие по интенсивности сладкого вкуса 5%-ному раствору сахарозы. Аналогичные растворы были приготовлены в фосфатных и цитратном буферах в диапазоне pH от 4,5 до 8,5, а также в 0,1% растворе пектина, молоке или сливках.

Дескрипторный анализ профиля браззеина

Для оценки сенсорного профиля браззеина использовали терминологический словарь согласно ГОСТ Р ИСО 5492–2005. В качестве основных дескрипторов были выбраны «горечь», «шлейф», «обволакивающее ощущение» и «посторонний привкус».

Гедонистический сенсорный анализ

Проводили анализ растворов браззеина при одной концентрации, но в разных средах. Для проведения анализа растворы браззеина 50 мг на 200 мл (в воде, в 0,5%-ном растворе цитрусового

пектина, в молоке жирностью 3,2%, в сливках жирностью 10%) подавались в стаканчике, которые кодировались трехзначным числом. Эксперты оценивали сладость растворов по шкале от 0 (значение, при котором не идентифицируется сладкий вкус) до 14 (соответствует наиболее высокой интенсивности сладости).

Результаты и обсуждения

Оценка посторонних вкусов

Учитывая, что органолептический профиль растворов браззеина характеризуется некоторыми не свойственными профилю сахара дескрипторами, дополнительно было проведено исследование, описывающее восприятие экспертов (Таблица 1).

Согласно данным из Таблицы 1, температуры и кислотность среды анализируемых растворов оказывают влияние на восприятие вкусового профиля браззеина. Характерным является существенное проявление нежелательных дескрипторов в профиле вкуса браззеина при pH 5,4 и 6,5 — вблизи изоточки белка (pH=5,4). При этом, охлаждение растворов приводило к улуч-

шению вкусового профиля. В растворах фосфатного буфера с pH=8,5, независимо от температуры образца, были проявлены все нежелательные дескрипторы.

Оценка сладости по гедонической шкале

Для оценки влияния различных типов среды на интенсивность сладости растворов браззеина был поставлен эксперимент с использованием 4 различных сред (питьевая вода, 0,1%-ный раствор пектина, молоко 3,2%-ной жирности и сливки жирностью 10%). Растворы были проанализированы при комнатной температуре (около 25°C). Полученные данные представлены на рисунке 1.

Согласно Рисунку 1, наибольшей интенсивностью сладкого вкуса со средней интенсивностью 4,61 обладал раствор браззеина, приготовленный на питьевой воде. Чуть меньшей интенсивностью сладости (4,56) характеризовался образец, приготовленный с использованием 0,1%-ного раствора пектина. При анализе растворов браззеина, приготовленных в жиросодержащих средах с использованием молока и сливок, обнаружено,

Таблица 1. **Описательный анализ раствора браззеина при разных pH**

pH	Буфер	Дескрипторы							
		25 °C				10 °C			
		Г	Ш	О	П	Г	Ш	О	П
4,5	Цитратный	-	-	-	-	-	-	-	-
5,4	Фосфатный	+	-	+	-	-	-	-	-
6,5	Фосфатный	+	+	+	-	-	-	-	-
7,5	Фосфатный	-	-	-	-	-	-	-	-
8,5	Фосфатный	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: наличие (+) или отсутствие (-) специфичных дескрипторов: Г — горечь, Ш — шлейф, О — обволакивающее ощущение, П — посторонний привкус.

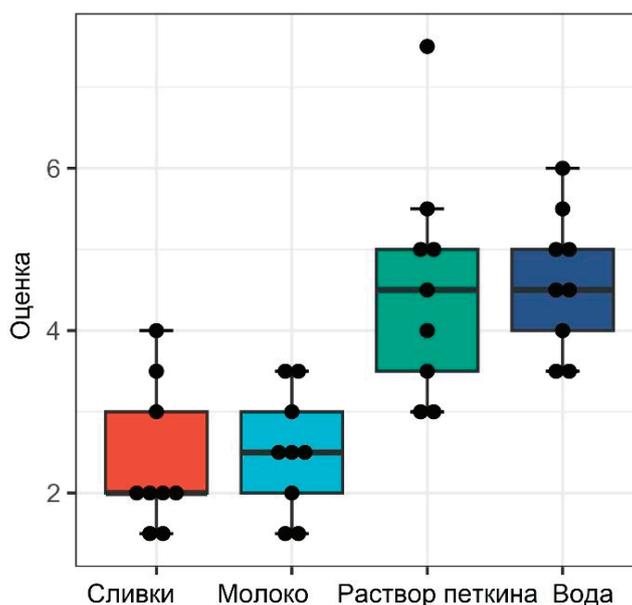


Рис. 1. Изменение интенсивности сладости браззеина в разных средах при 25 °C

что ощущаемая сладость заметно снизилась и составила 2,50 и 2,38 соответственно. Наблюдаемое для браззеина изменение сладости аналогично снижению сладости некоторых подсластителей при увеличении концентрации жира [10].

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что сладость растворов браззеина в значительной степени зависит

от свойств среды. Наилучшие вкусовые характеристики браззеина отмечены при пониженной температуре и значениях pH 4,5 и 7,5. Добавление пектина не оказывает негативного действия на сладость раствора браззеина. Полученные результаты позволяют сформировать некоторые рекомендации по выбору типа пищевых продуктов, подходящих для использования в их составе браззеина. В частности, целесообразным является использование браззеина в составе безалкогольных напитков, в том числе сокодержательных.

Литература:

1. Faus I. Recent developments in the characterization and biotechnological production of sweet-tasting proteins //Applied microbiology and biotechnology.— 2000.— Т. 53.— С. 145–151.
2. Laffitte A., Neiers F., Briand L. Characterization of taste compounds: chemical structures and sensory properties //Flavour: From food to perception.— 2016.— С. 154–191.
3. Masuda T., Kitabatake N. Developments in biotechnological production of sweet proteins //Journal of bioscience and bioengineering.— 2006.— Т. 102.— № . 5.— С. 375–389.
4. Ming D., Hellekant G. Brazzein, a new high-potency thermostable sweet protein from *Pentadiplandra brazzeana* B //FEBS letters.— 1994.— Т. 355.— № . 1.— С. 106–108.
5. Jin Z. et al. Critical regions for the sweetness of brazzein //FEBS letters.— 2003.— Т. 544.— № . 1–3.— С. 33–37.
6. Caldwell J. E. et al. Solution structure of the thermostable sweet-tasting protein brazzein //Nature structural biology.— 1998.— Т. 5.— № . 6.— С. 427–431.
7. Dittli S. M. et al. Structural role of the terminal disulfide bond in the sweetness of brazzein //Chemical senses.— 2011.— Т. 36.— № . 9.— С. 821–830.
8. Jin Z. et al. Monkey electrophysiological and human psychophysical responses to mutants of the sweet protein brazzein: delineating brazzein sweetness //Chemical senses.— 2003.— Т. 28.— № . 6.— С. 491–498.
9. Pedersen L. et al. Sensory Interactions between Sweetness and Fat in a Chocolate Milk Beverage //Foods.— 2023.— Т. 12.— № . 14.— С. 2711.
10. Wiet S. G. et al. Fat concentration affects sweetness and sensory profiles of sucrose, sucralose, and aspartame //Journal of food science.— 1993.— Т. 58.— № . 3.— С. 599–602.

Эффективные стратегии внедрения интегрированной системы менеджмента: последовательное и одновременное внедрение

Солдатова Наталья Сергеевна, студент магистратуры
Оренбургский государственный университет

В данной научной статье проводится анализ интегрированной системы менеджмента (ИСМ), а также исследуются различные подходы к внедрению систем менеджмента.

Ключевые слова: интегрированная система менеджмента, последовательное внедрение, одновременное внедрение.

Интегрированная система менеджмента (ИСМ) — это современная модель управления, которая позволяет предприятию повысить эффективность работы и оптимизировать ряд бизнес-процессов, проще и быстрее адаптироваться к постоянно меняющимся условиям.

Система управления организации, которая отвечает требованиям двух или более систем управления, является интегрированной системой менеджмента.

Для построения ИСМ возможно использования алгоритма построения системы менеджмента качества в соответствии с требованиями стандартов ISO серии 9000.

Работа по внедрению ИСМ включает совершенствование, как внутренней среды организаций, так и отношений с заинтересованными сторонами, информирование государственных органов, потенциальных инвесторов, партнеров, и общественности о деятельности компаний.

Разработка и внедрение ИСМ происходит, так же как и других систем менеджмента, в четыре этапа:

- 1) организация работ по созданию ИСМ;
- 2) разработка ИСМ;
- 3) внедрение ИСМ;
- 4) подготовка к сертификации ИСМ [3].



Рис. 1. Подходы к созданию интегрированных систем менеджмента

На практике используется два подхода к созданию ИСМ (рисунок 1).

Базовый жизненный цикл проекта по разработке, внедрению и сертификации системы менеджмента (вне зависимости от характера внедрения — последовательного, как в Варианте 1, или интегрированного, как в Варианте 2) состоит из двух стадий:

Стадия разработки, внедрения и подготовки к сертификации систем менеджмента. Как правило, данная стадия реализуется в рамках отдельного проекта и в рамках данной стадии предприятия прибегают к услугам профессиональных консалтинговых организаций;

Стадия сертификации систем менеджмента. В рамках данной стадии Орган по сертификации проводит внешний аудит разработанных и внедренных систем менеджмента на соответствие заявленным стандартам. Процедура прохождения сертификации, продолжительность аудита основаны на требованиях к международной аккредитации, на базе которых Органы по сертификации разрабатывают свои внутренние процедуры и инструкции.

При последовательном внедрении двух и более систем разрабатываются, внедряются и сертифицируются последовательно и независимо друг от друга.

При этом общая система управления характеризуется крайне низкой степенью интеграции, которая соответствует следующим критериям:

- Системы созданы и функционируют отдельно друг от друга;
- Различные лица являются представителями руководства;
- Управление и обеспечение функционирования локальных систем осуществляются различными подразделениями и не согласованы между собой;
- Политики сформулированы отдельно и не гармонизированы между собой;
- Механизм планирования различен;

- Анализ со стороны руководства проводится отдельно по каждой системе менеджмента;

- Внутренние аудиты проводятся отдельно по каждой системе;

- Различные подходы в документации по каждой системе (различная структура и состав документации системы менеджмента) [1].

Основными преимуществами последовательного подхода можно выделить:

- Управляемость процесса: Процесс внедрения более контролируемый, так как организация может сосредоточиться на одном стандарте за раз.

- Постепенное обучение персонала: Сотрудники могут привыкнуть к изменениям поэтапно, что снижает стресс и сопротивление изменениям.

- Эффективное использование ресурсов: Возможность перераспределения ресурсов для каждой системы управления по мере её внедрения.

При внедрении интегрированной системы менеджмента в соответствии с моделью, принципами и требованиями к интеграции осуществляется одновременная, скоординированная разработка, внедрение и сертификация интегрированной системы менеджмента, включающей стандартов ISO.

Одновременное внедрение систем менеджмента предполагает разработку и внедрение нескольких систем управления одновременно. Этот подход требует значительных ресурсов и тщательного планирования, но может быть более эффективным для организаций, готовых к масштабным изменениям.

При этом общая система управления характеризуется высокой степенью интеграции, которая соответствует следующим критериям:

- Имеется единый координатор системы, который использует единые подходы для всей интегрированной системы менеджмента;

- Одна общая гармонизированная Политика;
- Механизм планирования един и полностью гармонизирован;
- Анализ со стороны руководства и внутренние аудиты проводятся одновременно;
- Общесистемные процедуры (включая процедуры управления документацией и записями) едины;
- Единая структура, состав и комплект документации по всем системам;
- Высокая осведомленность персонала по всем применимым требованиям и аспектам интегрированной системы менеджмента [1].

Основными преимуществами подхода можно выделить:

- Сокращение времени: Внедрение нескольких систем одновременно позволяет сократить общее время на создание ИСМ.
- Единый подход: Разработка единого подхода к управлению и интеграция всех систем в один процесс позволяет избежать дублирования и повысить эффективность.
- Снижение затрат: Одновременное внедрение может снизить общие затраты за счет оптимизации процессов и использования общих ресурсов.

При выборе подхода к внедрению интегрированной системы менеджмента (ИСМ) организациям необходимо тщательно взвесить все преимущества и недостатки как последовательного, так и одновременного внедрения систем менеджмента. Окончательное решение зависит от множества факторов, таких как текущий уровень зрелости систем менеджмента, доступные ресурсы, стратегические цели и корпоративная культура.

Последовательное внедрение систем менеджмента подходит для организаций, которые:

- Имеют ограниченные ресурсы и хотят минимизировать риск.
- Предпочитают контролируемый и управляемый процесс внедрения.

Литература:

1. Марцынковский Д. А. Оценка экономического эффекта от внедрения интегрированной системы менеджмента — ВЕСТНИК ИрГТУ № 2 (42) 2010, — 6 с.
2. Владимирцев А. В., Марцынковский О. А., Загоруйко Ю. В., Шеханов Ю. Ф., Марцынковский Д. А. Процессный подход и интегрированные системы менеджмента — Методы менеджмента качества, 2010. № 1, — 18–23 с.
3. Романова А. Н. Блок-схемы разработки и внедрения интегрированных систем менеджмента в организациях — Альманах современной науки и образования, № 6 (61) 2012. — 6 с.

– Стремятся постепенно адаптировать своих сотрудников к изменениям.

– Оценивают свои способности и готовы к длительному процессу интеграции [2].

Одновременное внедрение систем менеджмента подходит для организаций, которые:

- Имеют достаточные ресурсы и готовы к значительным первоначальным затратам.
- Способны управлять масштабными изменениями и координировать несколько проектов одновременно.
- Стремятся к быстрой интеграции и сокращению общего времени внедрения.
- Готовы к высоким требованиям к компетенциям и управлению изменениями [2].

На практике, более оптимальным подходом может считаться тот, который наиболее соответствует специфическим условиям и потребностям организации. Однако, для большинства организаций, стремящихся к быстрому результату и готовых инвестировать в масштабные изменения, одновременное внедрение систем менеджмента может оказаться более выгодным и эффективным. Этот подход позволяет быстро интегрировать различные системы управления, избегая дублирования усилий и ресурсов, и создает единую и согласованную структуру управления.

Тем не менее, для организаций с ограниченными ресурсами или менее зрелыми системами менеджмента, последовательное внедрение остается предпочтительным, поскольку позволяет минимизировать риски и затраты, обеспечивая более управляемый и постепенный переход к интегрированной системе менеджмента.

В заключение, выбор подхода к внедрению ИСМ должен основываться на детальном анализе текущих условий и возможностей организации. Эффективное управление документированной информацией остается ключевым фактором успеха, способствующим устойчивому развитию и достижению стратегических целей.

Система рекомендаций по оптимизации потерь активной мощности в сложных электрических сетях с использованием оперативных методов

Тарасов Денис Юрьевич, ассистент
 Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье автор исследует системы рекомендаций по оптимизации потерь активной мощности в сложных электрических сетях с использованием оперативных методов.

Ключевые слова: активная мощность, электрические сети, цифровой двойник.

Современная электрическая сеть представляет собой совокупность большого количества оборудования, включая трансформаторы и линии электропередач (ЛЭП), которые объединены в единую энергосистему. В процессах развития энергосистемы, а также при резервировании некоторых участков может использоваться один или комбинация из нескольких вариантов.

При анализе потерь активной мощности подстанции следует обращать внимание на недогруженность силовых трансформаторов, когда потери на холостой ход превышают нагрузочные. В таком случае оптимальным решением является отключение одного из трансформаторов на подстанции [2, с. 6], если это возможно по критерию обеспечения надежности энергопотребления [3, с. 23].

При эксплуатации электрических сетей актуальной задачей является снижение потерь активной мощности. Потери активной мощности сети могут возникать из-за перетоков реактивной мощности по ЛЭП [4, с. 45]. Существует несколько способов их уменьшения и одним из них является отключение одного из элементов сети [2, с. 87]. Однако в сложной схеме трудно предсказать ожидаемый эффект отключения одной или нескольких линий из-за сложности уравнений, используемых для расчета потерь в сети.

Развитие цифровых устройств и компьютерных технологий позволяет автоматизировать процесс оптимизации сложных электрических сетей. В настоящее время наблюдается явная тенденция к использованию цифровых двойников объектов электроэнергетики для проведения анализов и испытаний кон-

фигурации и режимов работы перед вводом в эксплуатацию новых методов или устройств. Этот метод позволяет оценить вероятные последствия введения новых элементов или режимов работы и сделать вывод о возможности их внедрения.

Объектом исследования является кольцевая сеть 110 кВ «Талашкино — Рославль-330», расположенная в Смоленской области. Она состоит из 9 распределительных понижающих подстанций (ПС). Параметры оборудования в данной статье не приводятся в виду их большого объема.

Отпайки к подстанциям «Карьерная», «Промышленная», «Поселки» и «Пригорье» выполнены проводами АС-120. Подстанции «Поселки» и «Пригорье» не участвуют в процессе оптимизации, поэтому данные об их трансформаторах не представлены.

Для изучения участка электрической сети, показанного на рис. 1, был создан его цифровой двойник в библиотеке Simulink программного пакета Matlab.

В номинальном режиме включены все ЛЭП и трансформаторы, включая секционные выключатели на стороне высокого напряжения подстанций, секционные выключатели на стороне среднего (СН) и низкого (НН) напряжения отключены. Выбор трансформатора, подлежащего отключению на подстанции (если этот режим является оптимальным), осуществляется после оценки работы ЛЭП. Если один из них выключен, смежный трансформатор должен быть включен, чтобы обеспечить электроснабжение всех подключенных к секциям подстанции СН и НН.

Максимальная погрешность воспроизведения характеристики внешней мощности не превышает 5%. Результаты ра-

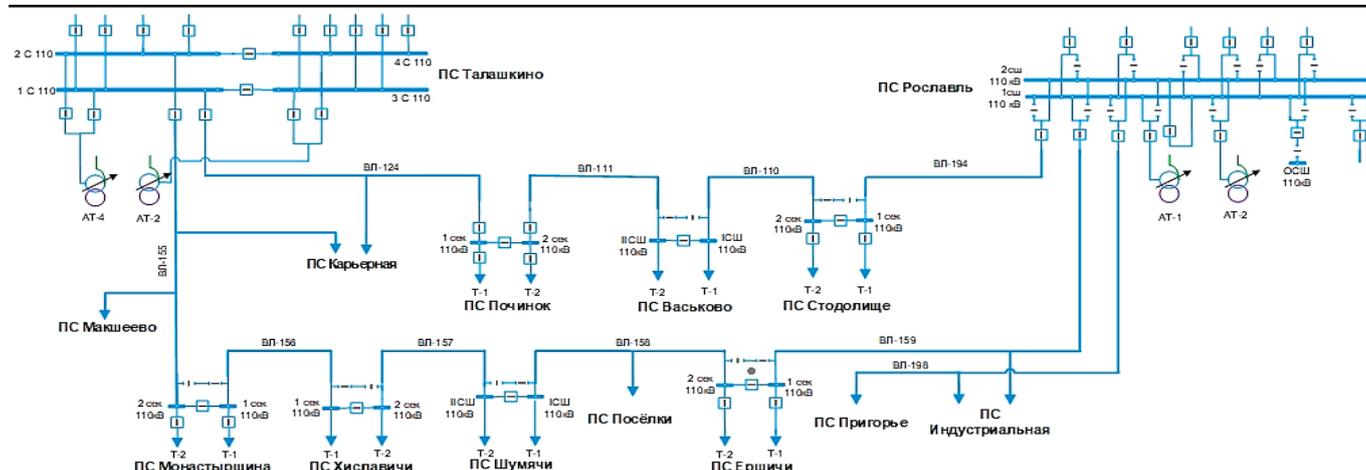


Рис. 1. Структурная схема исследуемой электрической сети

Таблица 1. Нагрузка трансформаторов, используемых в модели

Подстанция	Реальные значения		Модель			
	$P_{\text{нн}}, \text{ Мвт}$	$Q_{\text{нн}}, \text{ МВар}$	$P_{\text{нн}}, \text{ Мвт}$	$\epsilon, \%$	$Q_{\text{нн}}, \text{ МВар}$	$\epsilon, \%$
Карьерная	5.120	3.690	4.949	3.34	3.765	2.03
Починок	6.110	3.270	6.073	0.61	3.345	2.29
Васьково	1.480	0.930	1.400	5.41	0.988	6.24
Стодолище	0.900	0.580	0.877	2.56	0.633	9.14
Монастырщина	5.740	2.860	5.704	0.63	2.964	3.64
Хиславичи	4.920	2.350	4.893	0.55	2.413	2.68
Шумячи	1.960	1.110	1.887	3.72	1.125	1.35
Ершичи	1.560	0.850	1.513	3.01	0.890	4.71
Индустриальная	4.770	3.120	4.725	0.94	3.191	2.28
Поселки	0.960	0.440	0.970	1.04	0.420	4.55
Пригорье	1.290	0.960	1.310	1.55	0.953	0.73

боты цифрового двойника используются для расчета потерь активной мощности в сети, в соответствии с которыми оценивается режим работы оборудования.

Система рекомендаций по оптимизации конфигурации сети работает по следующему принципу.

Во-первых, контрольное измерение потерь активной мощности выполняется в номинальном режиме. Результаты расчета потерь в трансформаторах и линиях записываются в специальный массив. Затем моделируется модель с одним отключенным трансформатором на каждой подстанции (возможность отключения трансформатора предварительно оценивается при реализации модели). Сравниваются результаты этих двух режимов. Если потери активной мощности на одной или нескольких подстанциях уменьшились, система изменяет номер их трансформаторов в массиве рабочих процессов SS, который отвечает за режим работы всей модели SS. Дальнейшее моделирование будет проведено с оптимальными настройками трансформаторов на подстанциях. Рабочий процесс подстанции для исследуемого объекта с потерями в номинальном режиме и режиме отключения одного трансформатора показан в таблице 2.

Результаты показывают, что общие потери активной мощности на подстанциях после оптимизации (728,11 кВт) снизились на 26,7% по сравнению с номинальным режимом (993,94

кВт), что указывает на целесообразность использования данного метода в конкретном случае.

После оптимизации режима работы трансформаторов на подстанциях система моделирует модель с последовательным отключением каждой линии электропередачи. Если некоторые из учтенных в модели нагрузок после отключения одной из линий не под напряжением, такая конфигурация схемы считается невозможной (impossible configuration) и расчет потерь для нее не выполняется. Решение о выборе конкретной конфигурации принимается с использованием ранее скомпилированной матрицы инцидентов сети посредством поиска в глубину [5, с. 77]. Если невозможно попасть хотя бы в один из узлов нагрузки после отключения одного из элементов системы, конфигурация с отключенной линией не допускается для расчета потерь. Исследуемая системная матрица инцидентности содержит 25 (включая 6 отпаяк к тупиковым подстанциям) элементов и 71 узел (25x71). В данном случае рассчитанные активные потери в моделируемом оборудовании записываются в массив результатов. Данные о допустимых и неприемлемых конфигурациях, названия отключенных линий и потери активной мощности в «Вт» отображаются в режиме реального времени на экране консоли программного пакета Matlab.

Для изученного распределения нагрузки результат работы программы представлен в таблице 3.

Таблица 2. Рабочий процесс подстанций для исследуемых сети

	Подстанции	Номинальные потери, кВт	Потери при отключенном ТР, кВт	Номер отключенного ТР
1	Карьерная	47.31	83.98	2
2	Починок	268.26	506.52	1
3	Васьково	80.15	30.34	2
4	Стодолище	77.08	35.84	1
5	Монастырщина	71.24	102.75	2
6	Хиславичи	38.81	55.10	1
7	Шумячи	77.42	102.02	2
8	Ершичи	19.34	16.43	2
9	Индустриальная	48.50	60.96	2

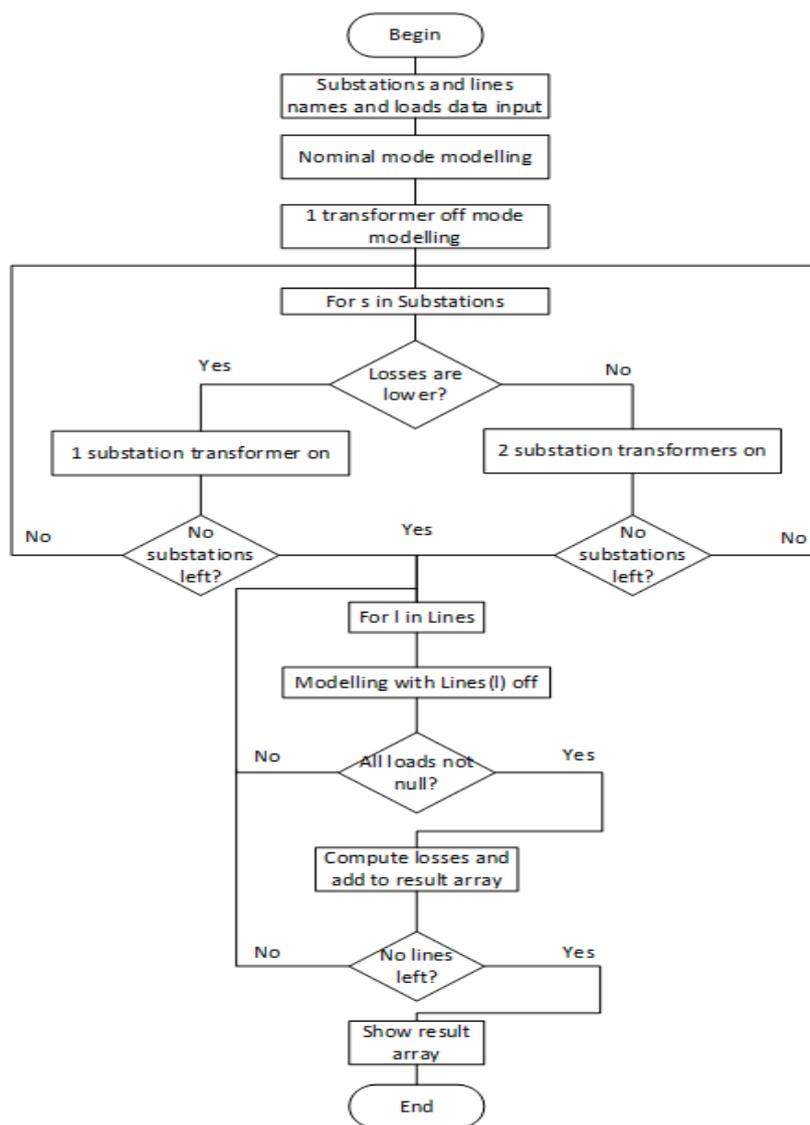


Рис. 3. Алгоритм работы программы

Таблица 3. Результат работы программы

	Отключенные ЛЭП	Потери, МВт	Снижение потерь, %
1	ВЛ-111	1.0186	18.5
2	ВЛ-110	1.0202	18.3
3	ВЛ-111, ВЛ-156	1.0502	15.9
4	ВЛ-110, ВЛ-156	1.0617	15.0
5	ВЛ-194	1.0640	14.8

Таким образом, оптимальная конфигурация схемы по критерию минимизации потерь активной мощности достигается при отключении линии ВЛ-111 и одного трансформатора на подстанциях «Васьково», «Стодолище» и «Ершичи».

Анализ схемы показывает, что исследованные конфигурации электрической сети, указанные в таблице 2, могут быть реализованы на практике после расчета надежности, допустимости и эффективности.

В результате проведенной работы были получены результаты, и сделаны следующие выводы:

Представлена система рекомендаций, основанная на программном пакете Matlab, которая позволяет определить оптимальную конфигурацию сложной электрической сети по критерию минимизации потерь активной мощности. Система предлагает несколько вариантов, которые могут быть приняты к эксплуатации обслуживающим персоналом при текущих нагрузках системы после предварительного расчета надежности. Система рекомендаций позволяет генерировать сигналы, указывающие оптимальные точки отключения элементов сети по критерию минимизации потерь активной мощности, в режиме ре-

ального времени без предварительного переключения реального оборудования. Такой подход может быть использован в работе сетевой компании для оптимизации режимов работы электрических сетей во взаимодействии с другими цифровыми системами.

Результат может быть получен в режиме реального времени и во время действий по прогнозированию электрических нагрузок. Это позволяет заранее составить план переключения элементов системы и предварительно оценить наиболее перспективный из предложенных режимов работы.

К недостаткам системы относится усложнение настройки оборудования релейной защиты и автоматики, а также повы-

шение технических требований к вычислительному оборудованию, которое вычисляет режим в режиме реального времени.

Цифровой двойник реальной кольцевой сети был разработан в среде Matlab с точностью до 95%. Полученная модель используется для расчета потерь активной мощности в виде цифровой копии при различных режимах работы коммутационного оборудования.

Ожидаемый эффект от эксплуатации системы заключается в снижении потерь активной мощности в электросети до 20% в зависимости от распределения нагрузки и конфигурации схемы.

Литература:

1. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для колледжей. — 3д-издание. — М.: Энергоатомиздат, 1987
2. Шелезко У. С., Электрические потери. Реактивная мощность. Качество электрооборудования, ENAS, Москва (2009), 456 страниц
3. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств является электромагнитной. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. 2013 (Москва). Стандартиформ
4. Идельчик В. И., Электрические системы и сети, 1-е изд., Электроатомиздат, Москва (1989), 592 страницы.
5. Харари Ф. Теория графов.— Издательство «Мир», 1973.

Оценка эффективности ограничения токов короткого замыкания в электрических сетях мегаполисов с использованием асинхронизированных электромеханических преобразователей частоты

Тарасов Денис Юрьевич, ассистент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье автор оценивает эффективность ограничения токов короткого замыкания в электрических сетях мегаполисов с использованием асинхронизированных электромеханических преобразователей частоты.

Ключевые слова: ток, электрические сети, асинхронизированный электромеханический преобразователь, частота, короткое замыкание.

Энергетические системы электрического снабжения мегаполисов быстрыми темпами расширяются под влиянием экономических и социальных факторов [1, с. 23]. За последние годы сильно увеличилось потребление электрической энергии, ввиду значительного ускорения строительства объектов различного назначения, модернизации и увеличения парка электрического транспорта, а также постоянного роста числа потребителей [2, с. 6]. Так, например, с 2011 население Москвы увеличилось на 1,5 млн человек, а также введено 150 новых станций метро и сдано огромное количество новостроек [2, с. 20]. Такие изменения отражаются на количестве потребляемой электроэнергии и, соответственно, приводят к увеличению токов короткого замыкания в различных частях энергосистемы города [3, с. 11]. В большей степени это увеличение сказывается на силовом оборудовании понижающих подстанций схемы, а также электродвигателях собственных нужд и предприятий. Обеспечение устойчивой и надёжной работы энергосистемы —

важнейшая задача, выполнение которой обеспечивает соответствие государственным стандартам [4, с. 41], в которых также описаны и основные способы ограничения токов короткого замыкания в системе.

Согласно [5, с. 27], наиболее уязвимыми местами энергосистемы с большими токами короткого замыкания являются проходные подстанции, обеспечивающие электроснабжение одного или нескольких районов. Токи КЗ в случае аварий на прилегающих к ним объектах могут достигать десятков килоампер.

Примером одного из уязвимых мест может служить участок сети 220 кВ от ПС Лесная до ПС Никулино, расположенный на юго-востоке города Москвы (Рис. 1).

Из рис. 1 видно, что по данному участку сети осуществляется электроснабжение города по сетям 220 кВ. Также, следует заметить, что ПС «Хованская» и ПС «Никулино» по данным АИИСКУЭ за 2020 год, расположены в районах со значи-

тельным потреблением электроэнергии. Совокупность данных фактах показывает возможность появления сверхтоков короткого замыкания.

Токи КЗ на данном участке обусловлены большим количеством потребителей различной мощности и состава агрегатов и варьируются зависимости от времени появления аварии и удаленности подстанции от места аварии.

В качестве возможных решений для ограничения токов КЗ (а также и для уменьшения потерь активной мощности в схеме) можно применять метод разделения потоков мощности в схеме, описанный в [6, с. 24]. Но такой вариант решения, может привести к недопустимой перегрузке остальных линий связи города с внешней генерацией, поэтому не рекомендуем к использованию. Также широко применяются линейные реакторы, но при большом количестве потребителей, обуславливающих увеличенный рабочий ток таких приборов, есть вероятность появления неприемлемого падения напряжения, не соответствующего ГОСТ [7, с. 58].

Принципиально новым решением этой проблемы является ограничение токов короткого замыкания в электрических сетях мегаполисов с помощью вставок переменного тока, созданных на основе асинхронизированных электромеханических преобразователей частоты (АСЭМПЧ) [8, с. 36].

В данной статье предлагается оценить и обосновать целесообразность установки таких электрических машин в энергосистемах крупных городов на общем примере, учитывающем специфику данного оборудования.

Рассмотрим принцип реализации АСЭМПЧ. Он состоит из двух асинхронизированных машин [9, с. 31], валы которых

жестко соединены между собой таким образом, чтобы оставить возможность их разъединения (рис. 2).

Обмотки статоров обеих машин подключены к различным частям системы, образуя разделение энергосистемы как показано на рис. 3.

Особенность работы такой системы заключается в том, что первая машина (СМ1) раскручивается до рабочей частоты вращения совместно со второй (СМ2) по принципам, описанным в [учебник пуска генераторов]. Далее обе машины включаются в сеть, причём СМ2, работая в двигательном режиме потребляя мощность из системы 2 (С2), вращает ротор СМ1, работающей в генераторном режиме и соединённой с первой системой (С1). Также возможны обратные режимы с передачей мощности из С1 в С2. Такой принцип работы показывает, что системы при использовании АСЭМПЧ электрически разделены (пока АСЭМПЧ в работе и соединительная перемычка отключена) и их связь осуществляется только посредством передачи механического момента вращения. Поэтому система может быть представлена как две, одна из которых работает на двигательную нагрузку, а другая получает электроэнергию от генератора, равного по мощности двигателю (рис. 4). Агрегат состоит из двух синхронных машин, поэтому на рис. 4 СМ2 обозначена как СД.

Рассмотрим положительный эффект от внедрения вышеописанной системы на общем примере, характерном для проходной подстанции 220 кВ, работающей на нагрузку 400 МВт (подключение поровну с обеих сторон) и разделяющей 2 части энергосистемы, смоделированном в программном комплексе «EnergyCS ТКЗ» [10]. Мощность АСЭМПЧ примем 200 МВт. Таким образом $P_{генСМ1} = P_{нагрСМ2} = 200$ МВт. Схемы модели до

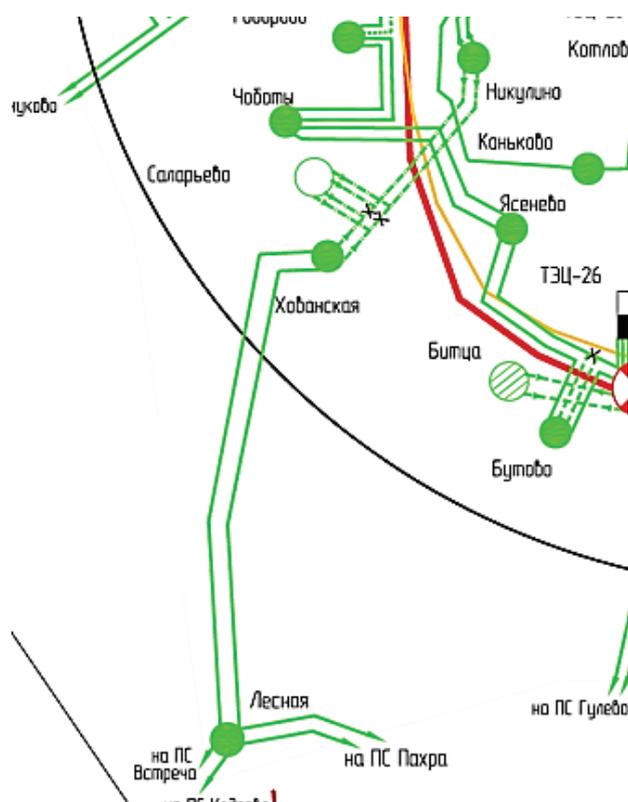


Рис. 1. Участок сети 220 кВ от ПС Лесная до ПС Никулино

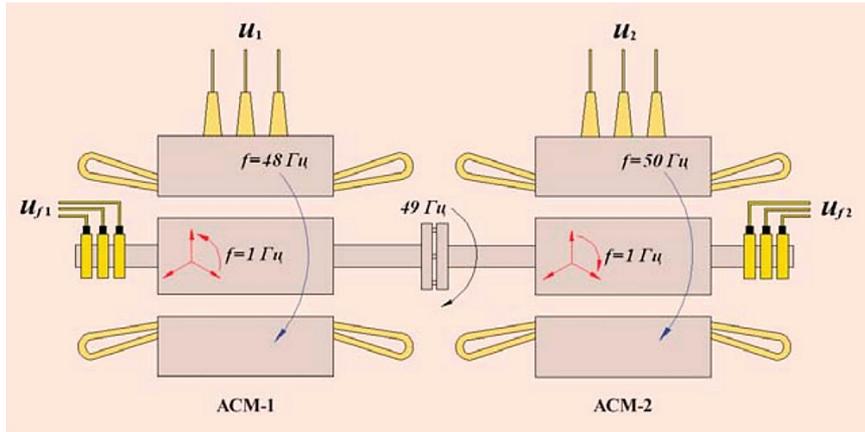


Рис. 2. Конструкция АСЭМПЧ

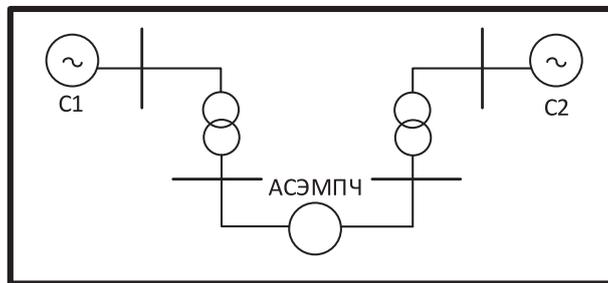


Рис. 3. Схема включения АСЭМПЧ в сеть

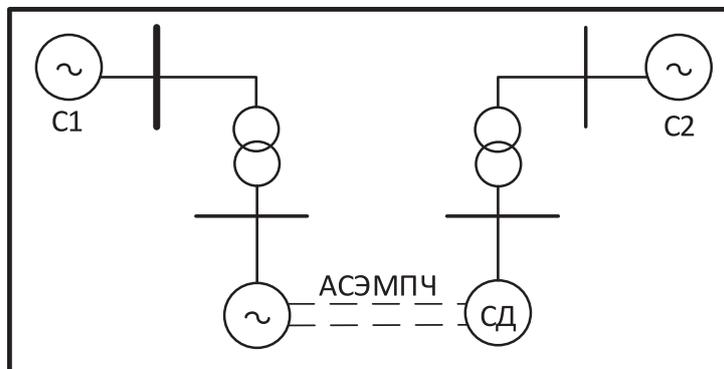


Рис. 4. Принципиальная схема энергосистемы

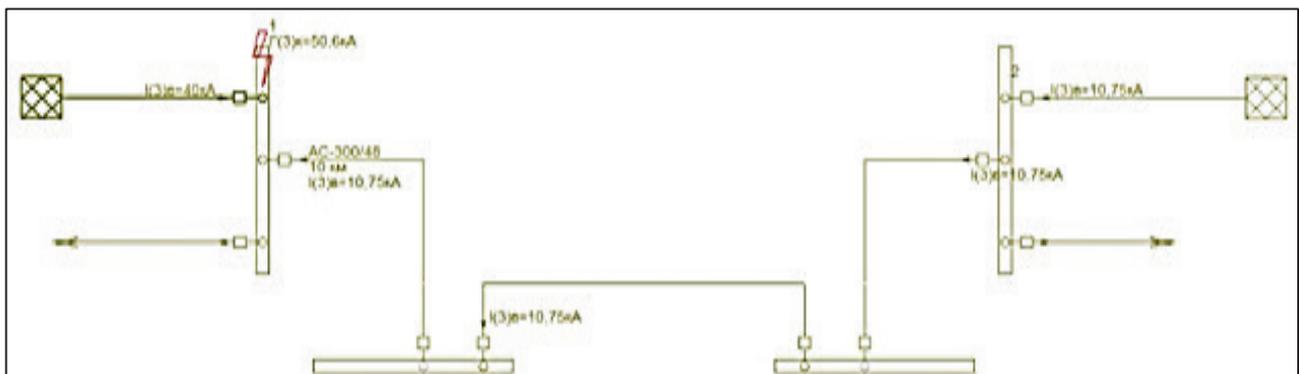


Рис. 5. Токи КЗ в модели до внедрения АСЭМПЧ

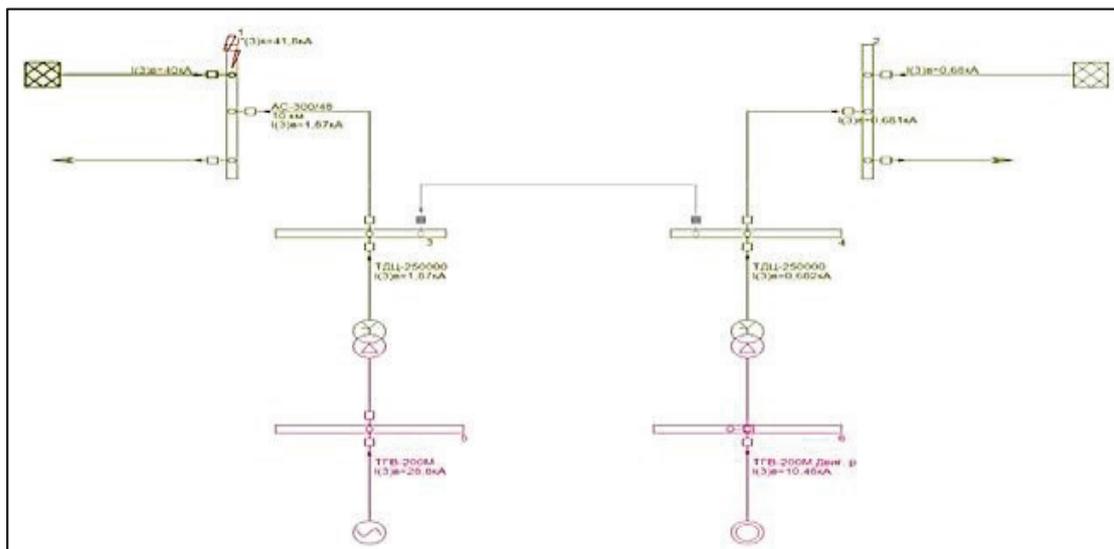


Рис. 6. Токи КЗ в системе после внедрения АСЭМПЧ

и после внедрения, а также результат расчёта КЗ на шинах С1 представлены на рис. 5 и 6.

Из результатов видно, что при использовании АСЭМПЧ в конкретной модели суммарный ток короткого замыкания на шинах С1 сокращается почти на 20% (с 50,6 кА до 41,6 кА). Причём, стоит заметить, что ток КЗ от С2 снизился более, чем в 10 раз (с 10,75 кА до 1,56 кА), что говорит о высокой эффективности применяемых средств.

В итоге, можно отметить:

1. Установка асинхронизированных электромеханических преобразователей частоты на проходных подстанциях позволяет отделить энергосистему большого города от соседней с ним

генерации, тем самым снижая токи короткого замыкания рядом с местом установки почти на 20%, что значительно снижает разрушающее воздействие токов КЗ на силовое оборудование.

2. Помимо ограничения токов КЗ, устройство АСЭМПЧ может выполнять задачи регулирования напряжения и реактивной мощности.

3. Оно значительно проще в производстве, чем вставки постоянного тока. В связи с чем, оно получила большее распространение, чем ВПТ.

4. К недостаткам внедрения можно отнести высокую стоимость производства и сложность в настройке релейной защиты и автоматики при работе в различных режимах.

Литература:

1. Кучеров Ю. Н., Утц С. А., Ярош Д. Н. Современные тенденции развития электроснабжения мегаполисов с целью повышения управляемости режимов работы энергосистемы //Электричество.— 2017.— № . 6.— С. 4–15.
2. РосСтат [Электронный ресурс] / URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 24.02.2022).
3. Фролов О. В., Чемборисова Н. Ш. Повышение эффективности расстановки устройств ограничения токов короткого замыкания в сетях мегаполисов //Новое в российской электроэнергетике.— 2011.— № . 4.— С. 33–40.
4. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановк
5. Почаевец В. С. Электрические подстанции.— 2012.
6. Ziryukin V., Solopov R., Shatalov R. The Program for Finding the Optimal Power Transit Separation Place of a Ring Electric Power Grid Based on Artificial Neural Networks //2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon).— IEEE, 2021.— С. 558–563.
7. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
8. Горюшин Ю. А. и др. Проблема токов короткого замыкания в московской энергосистеме и пути ее решения //Энергия единой сети.— 2013.— № . 1.— С. 50–55.
9. Дряхлова Я. Е., Певнев Д. А. Асинхронизированные машины: конструкция, возбуждение, регулирование //Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова.— 2017.— С. 5155–5159.
10. Официальный сайт EnergyCS [Электронный ресурс] / URL: <https://www.energycs.ru/> (дата обращения: 24.02.2022).

Исследование работы электростанций Единой энергетической системы России в общем первичном регулировании частоты

Тарасов Денис Юрьевич, ассистент
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье автор исследует работу электростанций ЕЭС России в общем первичном регулировании частоты.

Ключевые слова: электростанции, частота, ОПРЧП.

Единая энергетическая система России (ЕЭС России) — это самая крупная энергосистема в мире, которая состоит из двух синхронных зон. В каждой синхронной зоне осуществляется непрерывное регулирование частоты и перетоков активной мощности в контролируемых сечениях в соответствии с ГОСТ.

Первая синхронная зона состоит из параллельно работающих объединенных энергосистем Европейской части России, Урала и Сибири. В ней обеспечивается поддержание квазиустановившихся значений частоты в пределах $50,00 \pm 0,05$ Гц. При работе в вынужденном режиме, допускается нахождения значений частоты в пределах $50,0 \pm 0,2$ Гц.

Вторая синхронная зона включает в себя объединенную энергосистему Востока, а также технологически изолированные территориальные электроэнергетические системы. В них поддерживается квазиустановившиеся значения частоты в пределах $50,0 \pm 0,2$ Гц.

Все электростанции энергосистемы участвуют в поддержании электроэнергетического режима и, следовательно, в регулировании частоты, которое подразделяется на три этапа.

Первый этап, это общее первичное регулирование частоты (ОПРЧ). В нем принимают участие все генераторы электростанции, которые несут нагрузку в данный момент. ОПРЧ нужно для того, чтобы остановить падение частоты и не допустить ее дальнейшего снижения до начала работы вторичного регулирования.

В ОПРЧ выделяют отдельную категорию электростанций, которые поддерживают постоянно значение частоты в пределах квазиустановившихся значениях. Это так называемое нормированное первичное регулирование частоты (НПРЧ). Для НПРЧ отбираются, каждый год, электростанции с особыми регуляторами частоты, в которых мертвая зона почти отсутствует. Эти

электростанции всегда работают в определенном режиме работы, который обеспечивает запас первичного регулирования, как на разгрузку, так и на загрузку турбин. Для них установлен отдельный повышенный тариф на мощность и электроэнергию.

Второй этап, это вторичное регулирование частоты и мощности. При нем, за время 5–10 минут происходит восстановление квазиустановившегося значения частоты и плановых перетоков мощности в контролируемых сечениях. На этом этапе, происходит восстановление регулировочного диапазона электростанций первичного регулирования.

Восстановление частоты осуществляется за счет работы гидроэлектростанций и блоков ГРЭС. ГРЭС в основном участвует в режиме паводка ГЭС, чтобы уменьшить холостой сброс воды из водохранилищ. Обязательное участие гидроэлектростанции в регулировании режима начиная с мощности 50 МВт. Если мощность до 100 МВт, то осуществляется оперативное регулирование. Автоматическое регулирование осуществляется при помощи централизованной системы Автоматического регулирования частоты и мощности (ЦС АРЧМ). К этой системе подключены все ГЭС мощностью более 100 МВт.

Третий этап, это третичное регулирование мощности. Здесь происходит распределение нагрузки с электростанций вторичного регулирования на все электростанции работающие параллельно с ЕЭС Россией, т.е. происходит восстановление регулировочного диапазона вторичного регулирования.

В сентябре 2021 года на Ленинградской АЭС произошло ложное срабатывание релейной защиты и отключило 3,5 ГВт мощности от сети. Это примерно составляет 3,5% от установленной мощности электростанций ЕЭС России. На основании этого изменения частоты, будем исследовать реакцию генерирующего оборудования на отклонение частоты. В исследовании

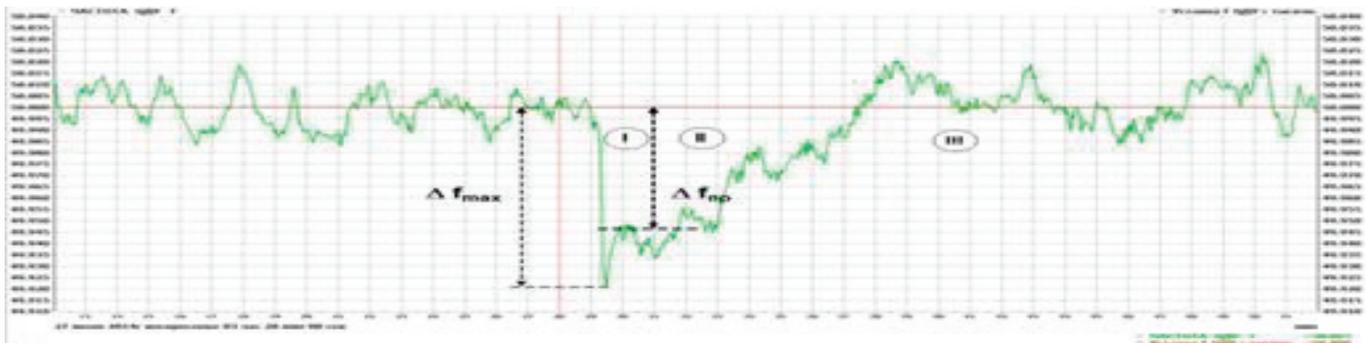


Рис. 1. Процесс регулирования частоты в энергообъединении (I — первичное регулирование, II — вторичное регулирование, III — третичное регулирование)

будут участвовать электростанции Смоленской энергосистемы. Смоленскую АЭС не учитываем в нашей работе, т.к. на ней установлены реакторы РБМК, которые не участвуют в ОПРЧ.

Оценку участие электростанций будем проводить качественным методом. Он обычно применяется, если надо оценить качество участия генерирующего оборудования в поддержании частоты в системе при резком отклонении на величину $\pm 0,10 \div 0,20$ Гц продолжительностью не менее 20 секунд. Реакцию генерирующего оборудования будем сравнивать с типовыми реакциями генерирующего оборудования участвующими в ОПРЧ [2, с. 13]:

- «адекватная» — характеризуется обратным изменению частоты пропорциональным изменением активной мощности генерирующего оборудования.

- «с провалом» — начальная реакция соответствует «адекватной», однако через определенное время при сохранении отклонения частоты первичная мощность значительно снижается, вплоть до нуля.

При снижении частоты, регулятор частоты вращения турбины открывает клапана и увеличивает подачу пара на турбину, следовательно, увеличивает и мощность. Снижение мощности начинается, когда запас пара, который был в котле, израсходован, а котел не смог резко увеличить выработку пара, как по техническим, так и субъективным причинам. Турбина возвращается в свое исходное положение.

- «котельная» — участие в ОПРЧ генерирующего оборудования ТЭС изменением нагрузки котла при слабой или отсутствующей реакции регулятора частоты вращения турбины на изменение частоты.

Отсутствие реакции регулятора может быть связано с его большим износом, и он просто не чувствует это изменение частоты. Увеличение мощности котла происходит за счет того, что на нем установлены независимые измерители частоты. Задержка увеличения мощности связана с тем, что эти измерители более медленные, чем те, которые устанавливаются на турбинах и тем, что котлу надо время, чтобы выработать дополнительное количество пара.

- «противоположная» — в отличие от «адекватной» повторяет по знаку изменение частоты.

Это указывает на то, что блок управления регулятором частоты вращения турбины работает некорректно.

- «колебания» — после резкого изменения частоты возникают незатухающие колебания активной мощности генерирующего оборудования относительно среднего значения с явно выраженными амплитудой и периодом колебаний, не связанных с колебаниями частоты.

Это реакция характерная для той ситуации, когда на генераторах одной станции происходит сбой в работе блока управления регулятором частоты.

- «нет реакции» — зависимость изменения активной мощности генерирующего оборудования от изменения частоты отсутствует при наличии соответствующего резерва первичного регулирования.

Этот тип реакции характерен для тех случаев, когда генератор работает на полной мощности и физически не может увеличить свою мощность. А также для тех регуляторов частоты, для которых данное изменение мощности находится в «мертвой зоне» и на котлах не установлены отдельные измерители частоты.

Оценивать возможность участия электростанций будем по выполнению двух критериев. Это реализация за время, не превышающее 15 секунд не менее половины требуемой мощности и за время не более 5 минут полной мощности.

В Смоленскую энергосистему входят следующие электростанции: Смоленская ГРЭС (630 МВт), Смоленская ТЭЦ-2 (275 МВт) и Дорогобужская ТЭЦ (90 МВт).

Смоленская ГРЭС — это блочная электростанция, в состав которой входит три паровых турбины К-210-130. В ходе резкого отклонения частоты, тип реакции Смоленской ГРЭС соответствовал реакции «с провалом».

Смоленская ТЭЦ-2 — это теплоэлектроцентраль, в состав которой входят три турбоагрегата: ПТ-60-130/13, Т-105/120-130-2 и Т-110/120-130-4. Тип реакции аналогичен реакции «с провалом». Мы видим, что диапазон изменения активной мощности у нее меньше, чем у Смоленской ГРЭС. Это связано с тем, что электростанция работает по тепловому графику. Меньший диапазон изменение мощности, чем у Смоленской ГРЭС связан с тем, что турбина работала почти на максимуме. Мощность турбины составляет 105 МВт.

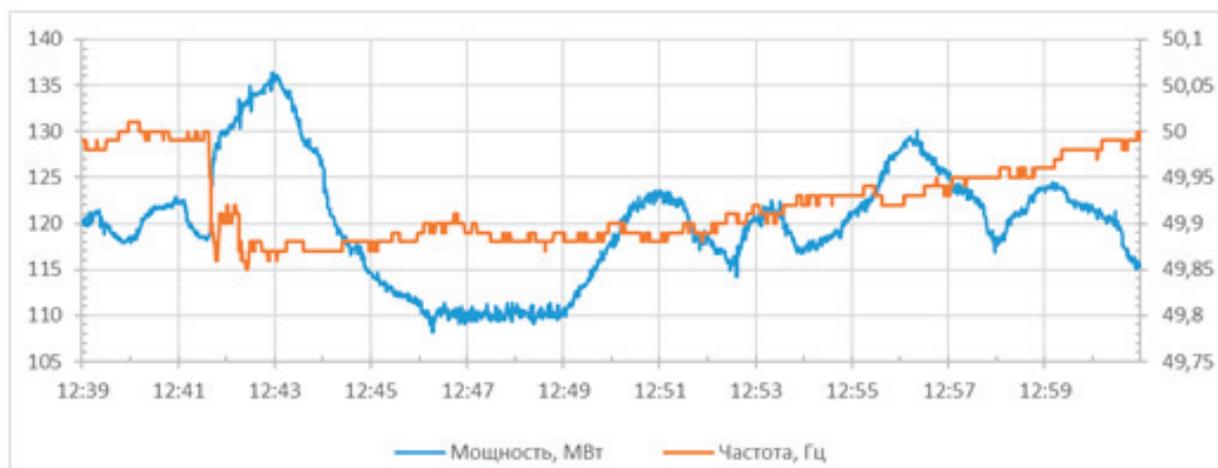


Рис. 2. Смоленская ГРЭС

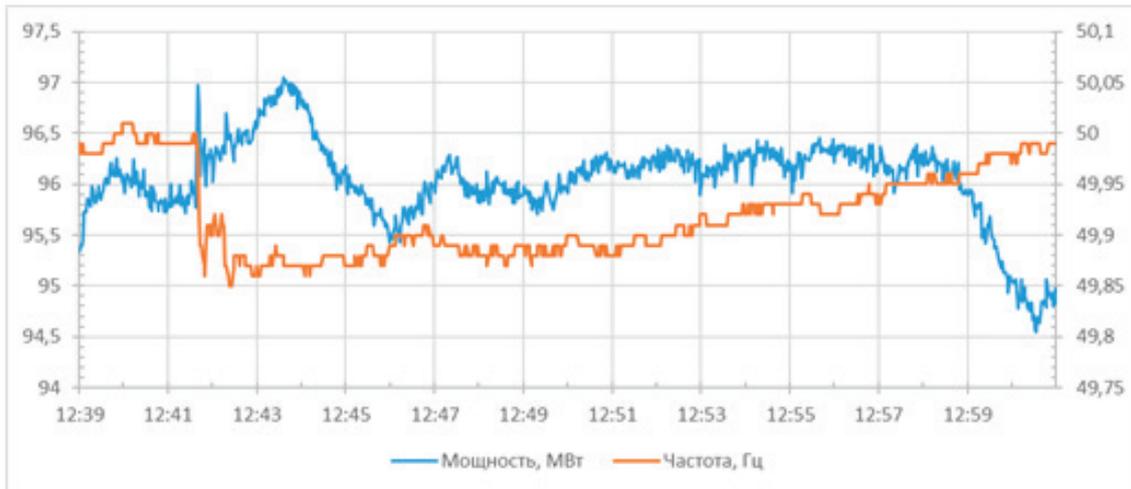


Рис. 3. Смоленская ТЭЦ-2

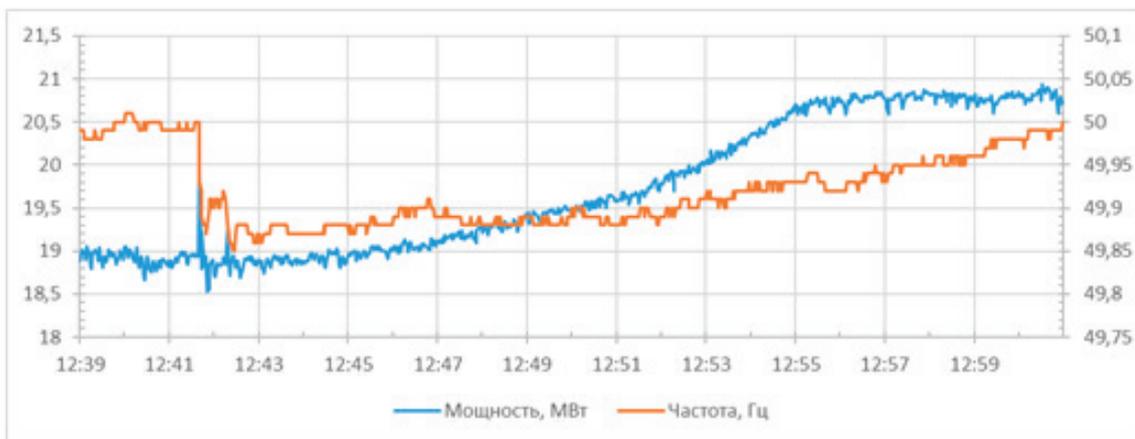


Рис. 4. Дорогобужская ТЭЦ

Тепловой график — это такой режим работы электростанции, в котором нижний предел активной мощности соответствует тепловой нагрузке сети.

Дорогобужская ТЭЦ — это теплоэлектростанция, в состав которой входят три турбоагрегата: Р-18–90/2,5, ПТ-60–90/13 и две газовые турбины ГТА-6 РМ. Для этой станции характерен тип реакции «котельная».

В ходе проведенного исследования работы электростанций в общем первичном регулировании частоты, были получены ре-

зультаты, которые показывают, что все генерирующее оборудование удовлетворяет критериям участия в ОПРЧ. Из выше сказанного следует, реакция с провалом показывает, что регулятор частоты увеличивает подачу пара на турбину, а последующее снижение связано с тем, что котел не отреагировал на увеличение количества пара, который подается на турбину. С Дорогобужской ТЭЦ ситуация другая. Там регулятор скорости не среагировал на снижение частоты, но среагировала автоматика котла и стала подавать больше пара на турбину.

Литература:

1. «Методика мониторинга и анализа участия генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты», утвержденные Заместителем Председателя Правления АО «СО ЕЭС С. А. Павлушко от 07.10.2021 г.
2. «Технические требования к генерирующему оборудованию участников оптового рынка», утвержденные Заместителем Председателя Правления АО «СО ЕЭС С. А. Павлушко от 06.03.2019 г.
3. Электроэнергетические системы. Учебное пособие для диспетчерского персонала / Под общей редакцией главного диспетчера АО «СО ЕЭС» М. Н. Говоруна. — М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2021. — 684 с., ил.
4. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем» (утверждены приказом Минэнерго России № 630 от 03.08.2018.). — 23 с.

Перспективы применения линий и вставок постоянного тока

Тарасов Денис Юрьевич, ассистент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье автор исследует перспективы применения линий и вставок постоянного тока.

Ключевые слова: постоянный ток, мощность, линия постоянного тока, напряжение.

В настоящее время выработка, передача и распределение электрической энергии происходят на переменном токе. Это связано с тем, что для этого используются сравнительно простые и дешевые устройства относительно устройств для постоянного тока, а также возможность коммутации переменного тока в момент его перехода через нулевое значение (дважды за период) и т.д.

Тем не менее в последнее время в мировой энергетике получили распространение передачи постоянного тока — ППТ и вставки постоянного тока — ВПТ (передачи постоянного тока, в которых преобразователи в постоянный ток и обратно в переменный расположены рядом без линейного участка).

Для воздушной линии переменного тока существует зависимость максимально передаваемой мощности от ее длины — чем длиннее линия, тем меньше предельная мощность, которую можно по ней передать. Это ограничение связано с тем, что индуктивность линии представляет собой сопротивление для переменного тока (возникает ЭДС самоиндукции, которая противодействует протеканию тока). Большим преимуществом передач постоянного тока является то что у них нет ограничений по длине линии. Кроме того, затраты на сооружение линейной части у ППТ ниже, чем для передач переменного тока [1, с. 16], что также, с учетом затрат на сооружение преобразовательных подстанций, экономически эффективно начиная с 600 км. [3, с. 27].

Такие линии построены во многих странах для передачи больших мощностей из избыточных районов страны с небольшим населением в промышленные районы с большим потреблением. В Пакистане сооружено высоковольтное соединение постоянного тока (high voltage direct current, HVDC) Матьяри — Лахор (Matiari — Lahore) напряжением ± 600 кВ и пропускной способностью 4 ГВт [6].

Кабельные линии переменного тока имеют еще более ограниченную длину из-за большой зарядной мощности, вследствие значительной емкости кабеля, а, следовательно, и дополнительных потерь на его нагрев. Поэтому, в случаях, когда использование кабелей переменного тока крайне затруднено или невозможно (например, для пересечения больших водных пространств, ввода мощностей в центры крупных городов-мегаполисов и т.д.) применяют кабельные линии постоянного тока, в которых зарядная мощность отсутствует.

В Германии строится подземная кабельная система HVDC SuedOstLink, SuedLink и A-Nord напряжением ± 525 кВ, пропускной способностью 2 ГВт и протяженностью 270 км. Целью строительства соединений является передача электроэнергии, вырабатываемой ВЭС на севере Германии до точки подключения, расположенный на юге Германии промышленный район — на берегу реки Изар (Isar) неподалеку от Ландсхута (Landshut) [7].

Также идет строительство трансграничного высоковольтного соединения постоянного тока Celtic Interconnector между Ирландией и Францией в An Bord Pleanála напряжением ± 320 кВ и пропускной способностью 700 МВт. Протяженность HVDC соединения, которое свяжет электрические сети северо-западного побережья Франции (Бретань) и южного побережья Ирландии, составит 575 км, из которых приблизительно 500 км пройдет под водой [8].

Объединение отдельных энергосистем на синхронную (параллельную) работу возможно только с одной номинальной частотой, и только при одинаковых стандартах ее поддержания и регулирования. При этом, объединение систем на параллельную работу приводит к увеличению токов короткого замыкания в связываемых системах. При объединении систем требуется обеспечивать устойчивость их совместной работы, которая может быть нарушена в аварийных ситуациях. Поэтому при объединении систем, применяют звено постоянного тока (ППТ или ВПТ), которое позволяет не только предотвратить каскадное развитие аварий в объединяемых энергосистемах и не увеличивать токи короткого замыкания, но и включать на параллельную (не синхронную) работу энергосистемы с разной частотой (обеспечивать передачу активной мощности).

В качестве примера можно привести соединение постоянного тока сверхвысокого напряжения (ultra-high-voltage direct current, UHVDC) в Индии. UHVDC соединение напряжением ± 800 кВ, пропускной способностью 6 ГВт и протяженностью 1800 км которое связывает энергосистемы Райгарха (Raigarh) в Центральной Индии и Пугалура (Pugalur) в Южной части страны. Это соединение обеспечивает возможность надежной передачи электроэнергии (мощности) в любом направлении (в зависимости от спроса) с исключительно низкими потерями и минимальным воздействием на окружающую среду. UHVDC соединение Райгарх — Пугалур повышает устойчивость национальной энергосистемы и надежность функционирования энергетической инфраструктуры [9].

Применение ППТ и ВПТ так же возможно для регулирования перетоков мощности по шунтирующим связям переменного тока. За счет быстродействующего регулирования преобразователей практически безынерционно изменять передаваемую мощность. Перераспределение потоков мощности достигается за счет их высокой и быстрой управляемости. В этом случае возможно обеспечить необходимое распределение потоков мощности между частями энергосистем для обеспечения экономичности их работы [3, с. 23], а также использовать их, например, для поддержания частоты или демпфирования колебаний тока и напряжения в энергосистеме [4, с. 45].

Такие связи имеются в больших количествах в Китае. На данный момент находятся в эксплуатации 26 ЛЭП UHVDC, расположенных во всех регионах Китая. В течение следующих 5 лет планируется ввести в эксплуатацию не менее 7 новых ЛЭП для обеспечения передачи электроэнергии, вырабатываемой СЭС, ВЭС и ГЭС, из западного региона Китая в другие регионы и провинции страны.

Такие HVDC были построены и в СССР. Это Москва — Кашира напряжением ± 100 кВ (или 200 кВ как монополярная, с возвратом по земле) пропускной способностью 30 МВт и протяженностью 112 км и Волгоград — Донбасс напряжением ± 400 кВ, пропускной способностью 750 МВт и протяженностью 475 км. Все эти соединения на данный момент разобраны.

Еще одна важная область применения ППТ и ВПТ появилась вследствие бурного развития возобновляемых источников энергии (СЭС, ВЭС, малые ГЭС, ПЭС) [2 с. 19], где для упрощения конструкции применяются генераторы с переменной частотой вращения, подключаемые через звено постоянного тока [5, с. 44].

Такое звено будет построено между энергосистемами Шотландии и Шетландских островов — Shetland Link. HVDC соединение Shetland Link напряжением ± 320 кВ, пропускной способностью 600 МВт и общей протяженностью 260 км, из которых 250 км будет проложено по дну Северного моря. Она будет служить для передачи электроэнергии выработанной размещенными на Шетландских островах генерирующими объектами на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), потребителям в Шотландии [10].

Таким образом, в связи с развитием возобновляемых источников ППТ и ВПТ имеют все предпосылки для широкого применения. Для России с ее большой территорией это особенно актуально, потому что ВПТ можно применять для связи объединенных энергосистем страны в ЕНЭС. Так же линии постоянного тока сверхвысокого напряжения имеют большое значение для нашей страны. Их можно использовать для регулирования потоков между энергосистемами и для передачи электроэнергии из Сибири в Центральную часть страны.

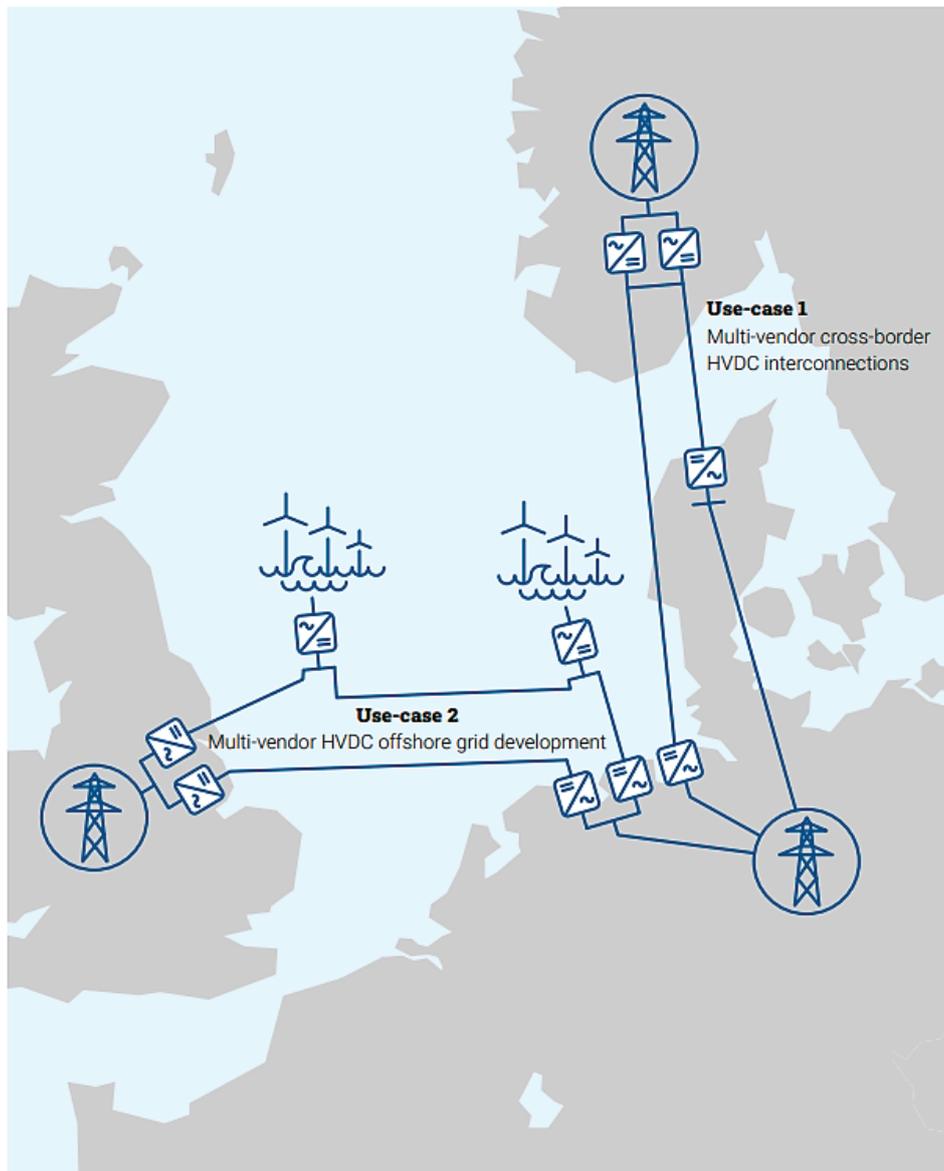


Рис. 1. Наглядный пример использования систем HVDC для связи возобновляемых источников с энергосистемой страны

Литература:

1. Поссе А. В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока / А. В. Поссе. — Ленинград: Изд-во «Энергия», 1973. — 302 с.
2. Виджей К. Суд. HVDC and FACTS Controllers. Применение статических преобразователей в энергетических системах / К. Виджей. — Москва: НП «НИИА», 2009. — 344 с.
3. Шлайфштейн В. А. Исследования системных аспектов применения передач и вставок постоянного тока / В. А. Шлайфштейн // Известия НТЦ ЕЭС. — 2015. — № 1 (72). — С. 33–43.
4. Сулова О. В. Техничко-экономические характеристики преобразовательных подстанций для электропередач и вставок постоянного тока / О. В. Сулова, Р. Н. Шульга // Известия НТЦ Единой энергетической системы. — 2017. — № 1 (76). — С. 125–138.
5. Stan A. I. Control of VSC-based HVDC transmission system for offshore wind power plants / A. I. Stan, D. I. Stroe // Department of energy technology, Aalborg University.
6. Информационно-аналитический ресурс World Energy <http://www.world-energy.org>.
7. Информационно-аналитический ресурс 4C Offshore <http://www.4coffshore.com>.
8. Информационно-аналитический ресурс Energy News Line <https://www.energynewsline.co.uk>.
9. Официальный сайт Hitachi ABB Power Grids <https://www.hitachiabb-powergrids.com/in/en>.
10. Информационно-аналитический ресурс 4C Offshore <http://www.4coffshore.com>.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Гидроизолирующие и ремонтные составы на основе модифицированной эпоксидиановой смолы

Кутлуев Максим Маратович, студент магистратуры;

Тарасова Екатерина Евгеньевна, студент магистратуры

Научный руководитель: Матвеева Лариса Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Широкие возможности полимерных эпоксидных материалов, а также композитов на их основе далеко не исчерпаны. Инновационные предложения по модификации эпоксидных соединений улучшают и оптимизируют композиционные составы наряду с растущими потребностями и запросами современного строительства. Разработаны новые составы и определены характеристики перспективных материалов на основе популярного эпоксидного олигомера для ремонта, гидроизоляции и устройства защитных покрытий бетонных гидротехнических сооружений. Наполненные различными минеральными наполнителями составы модифицированной нанокремнекислотой эпоксидиановой смолы с отвердителем аминного типа представляют собой композиты, обеспечивающие хорошую адгезию к бетону и стали. Благодаря сочетанию адгезионных, прочностных и гидроизолирующих свойств полученные материалы рекомендуются для ремонта и защиты бетона гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: эпоксидные композиты, эпоксидиановая смола, триэтилентриамин, модификация, нанокремнекислотная добавка, свойства, прочность, адгезия, водопоглощение.

В строительстве гидротехнических сооружений не обойтись без эффективных качественных полимерных материалов и композитов, предназначенных для ремонта, герметизации, гидроизоляции и защиты от коррозии различных строительных конструкций. Композиты на основе полимеров строительного назначения должны обладать комплексом устойчивых характеристик: высокими атмосферо- и влагостойкостью, стойкостью к агрессивным средам, морозостойкостью, и не терять своих характеристик в результате резких перепадов температур. Материалы должны также обладать хорошей адгезией к металлам, каменным материалам, бетону и железобетону. Помимо этого, ремонтные составы должны иметь достаточную прочность на сжатие и изгиб, обладать конструкционной надежностью в течение длительного срока эксплуатации. И наконец, они должны быть экологически безопасными, удобными в использовании и конкурентоспособными на рынке строительных материалов.

Среди существующих многочисленных полимерных материалов, используемых для получения строительных ремонтных и защитных составов, клеящих мастик и пленочных антикоррозионных покрытий комплексом таких характеристик обладают эпоксидные соединения и композиты на их основе [1–3].

Многочисленными исследованиями было показано, что технические свойства эпоксидных смол можно регулировать и улучшать путем их модификации [3–6]. В литературных источниках имеются многочисленные сведения о применении различных методов модификации для достижения требуемых

характеристик покрытий на основе эпоксидных соединений. При этом, как правило, оптимизация свойств покрытий осуществляется за счет модификации компонентов связующей полимерной системы.

В работах [3, 4] приведены результаты испытаний составов на основе эпоксидных смол, предназначенных для ремонта и защиты бетонных и железобетонных сооружений, представлен анализ полученных результатов. Авторами рассмотрены пути модификации отвердителей эпоксидных смол и описано влияние модификаторов на свойства образующихся полимерных покрытий. В исследованиях большое внимание традиционно уделено аминным отвердителям, как наиболее удобным в применении и самым распространенным для эпоксидных олигомеров.

В работе [5] представлены результаты изучения влияния эпоксидных полимерных покрытий на биостойкость и гидроизоляционные свойства бетонов. Исследование параллельно выполнялось защищённых и незащищённых образцов мелкозернистого цементно-песчаного состава с применением стандартной методики оценки водопоглощения цементным камнем. Также была проведена косвенная оценка биостойкости материалов в искусственных смоделированных биологических средах. Полученные результаты позволили установить, что применение эпоксидных композиций является одним из перспективных способов защиты строительных бетонных изделий и конструкций от воздействия биологически агрессивных сред.

Проблемы разрушения строительных конструкций в результате биоповреждения актуальны для большинства видов гидротехнических сооружений. Биокоррозия — процесс разрушения материалов под действием живых микроорганизмов. В этой связи авторами [6] был предложен оригинальный метод исследования процессов биокоррозии строительных материалов, помещенных в слабо реакционные растворы органических кислот, моделирующих процесс биологической коррозии, без использования штаммов живых микроорганизмов. Определены параметры биостойкости образцов строительных материалов и изучено влияние эпоксидных покрытий на биостойкость и гидроизоляционные свойства строительных материалов. Проведенное исследование продемонстрировало эффективность эпоксидных соединений в решении проблемы биообращения бетонов [6].

В работе [7] приведены результаты исследования оптимизации эпоксидных композитов, модифицированных каменноугольной смолой, также приводятся данные о характеристиках бетона с таким модифицированным полимерным покрытием. Показано, что усталостная прочность бетона может возрасти до 2,5 раз в зависимости от состава и толщины покрытия. Определены величины коэффициента поглощения для бетона без покрытия и с полимерным покрытием различной толщины.

Целью работы была разработка состава ремонтных композитов на основе модифицированной эпоксидной смолы для ремонта и восстановления утрат конструкций гидротехнических сооружений. Нами были изготовлены, исследованы и предложены для ремонта, гидроизоляции и защиты бетонных конструкций гидротехнических сооружений композитные составы на основе модифицированной эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя «холодного» типа — полиэтиленполиамина, наполненные минеральными наполнителями различной дисперсности. Таким образом, получали различные по вязкости наполненные композитные составы. Вязкостью ремонтных составов управляли введением мелкодисперсного наполнителя — кварцевого песка с модулем крупности 2,5 по ГОСТ 8736–2014 Песок для строительных работ. В качестве крупного заполнителя использовали гранитный щебень по ГОСТ 8367–93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ двух фракций: 10 и 20 мм. Крупность щебня меняли с целью удобства нанесения при ремонте различных повреждений: вертикальных и горизонтальных поверхностей, мелких, щелевых и крупных трещин, а также, требующих дополнительной формовки утраченных фрагментов конструкций. Помимо щебня в качестве наполнителя ремонтного композита использовали отходы произ-



Рис. 1. Заполнители ремонтных эпоксидных композитов: кварцевый песок, отсеvy дробления гранита, щебень гранитный фракции 10 и 20 мм



Рис. 2. Образцы-балочки 40×40×160 для определения характеристик модифицированных эпоксидных композитов

Таблица 1. Составы и физические свойства ремонтных композитов: эпоксидных полимербетонов

№ образца	Компонентный состав ремонтного композита, масс. ч.				Пористость, %	Плотность, ρ , кг/м ³
	Связующее: эпоксидная модифицированная смола ЭД-20: отвердитель ПЭПА	Песок кварцевый	Щебень, фракций 10 или 20	Отсевы дробления гранита		
1	9: 1	22	28 (10)	-	0,07	2283
2	9: 1	-	-	50	0,12	2168
3	9: 1	22	28(20)		0,11	2169

Таблица 2

№№ образцов	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение, %	Марка морозостойкости, F
1	113,0	27,2	0,02	1000
2	130,4	34,4	0,05	800
3	115,0	35,7	0,05	800

водства щебня — полифракционные отсеvy дробления гранита (рис. 1).

Композиции получали механическим перемешиванием компонентов в соответствующих массовых пропорциях.

Для оценки физико-механических и физических характеристик изготовили стандартные образцы-балочки 40×40×160 мм заливкой полученных составов в 3х-гнездные металлические разборные формы.

Балочки извлекали из форм через 1 сутки, а испытывали спустя 7 суток твердения в нормальных условиях (рис. 2).

В табл. 1 представлены составы и физические свойства образцов ремонтного эпоксидного полимербетона.

Прочностные характеристики эпоксидных наполненных композитов — (средние значения из 3-х одинаковых параллельных образцов) представлены в таблице 2.

Благодаря комплексу уникальных свойств и с учетом того, что срок службы эпоксидных соединений оценивается не менее 50-и лет, эпоксидные композиты становятся все более популярными материалами в строительстве, позволяющие рекомендовать их для ремонта, защиты, гидроизоляции, обустройства швов и соединений строительных конструкций, герметизации и уплотнений стыков, а также, для защиты от биологической коррозии строящихся и действующих конструкций гидротехнических сооружений.

Литература:

1. Коломникова И. И. Технология изготовления полимербетонов // И. И. Коломникова, Е. С. Земцов // Аллея науки. — 2019. — Т. 2 — № 2(29) — С. 303–306. — ISSN2587–6244.
2. Конторов А. М. Использование полимеров для защиты бетона // А. М. Конторов, А. Ю. Глушенко // Актуальные исследования. — 2023. — № 52-1(182). — С. 79–93. — ISSN2713–1513.
3. Краснюк А. В. Исследование и разработка полимерных составов на основе эпоксидных смол для ремонта и защиты бетонных и железобетонных сооружений // А. В. Краснюк, А. Л. Корейко, Е. С. Харченко // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2005. — № 9. — С. 206–207.
4. Кузнецова В. А. Модификация эпоксидных пленкообразующих и отвердителей, применяемых для лакокрасочных покрытий (обзор) // В. А. Кузнецова, А. А. Силаева, В. Г. Железняк [и др.] // Труды ВИАМ. — 2022. — № 5(111). — С. 96–111. — ISSN2307–6046.
5. Строганов В. Ф. Исследование влияния эпоксидных полимерных покрытий на биостойкость и гидроизоляционные свойства бетонных поверхностей // В. Ф. Строганов, Д. А. Куколева, А. М. Мухаметова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 4(22). — С. 340–345. — ISSN2073–1523.
6. Строганов В. Ф. Полимерные защитные покрытия от биокоррозии // В. Ф. Строганов, Е. В. Сагадеев, В. А. Бойчук [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17 — № 18. — С. 149–154.
7. Черкасов В. Д. Повышение долговечности железобетона с помощью полимерных покрытий // В. Д. Черкасов, Д. В. Черкасов, В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, А. В. Лазарев, Д. А. Меркулов. // Вестник инженерной школы ДВФУ. Технические науки. Строительные материалы., 2014. — № 4 (21). — 9 с.

Сравнительный анализ расчета шарнирного узла крепления балки к колонне методом конечных элементов с расчетом по серии

Суслонина Ирина Владимировна, студент магистратуры
Научный руководитель: Астахов Иван Витальевич, кандидат технических наук, доцент
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В настоящей статье будет рассмотрен расчет шарнирного узла соединения стальной балки к колонне согласно серии 2.440–2 Выпуск 1. «Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыкания ригелей к колоннам» [1].

Данный узел будет замоделирован и рассчитан методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе IDEA StatiCa.

Ключевые слова: соединение балки с колонной, шарнирное соединение, метод конечных элементов, стальные конструкции.

Основными нормативными документами по расчету и проектированию стальных конструкций на территории Российской Федерации являются СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [2] и СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» [3], при этом в них отсутствует методика по расчету узлов конкретной конструкции как единого целого, а приведены расчеты отдельных элементов таких как болт, сварной шов (исключением являются узлы ферм из гнутосварных профилей и круглых труб). Частичные указания по расчету некоторых узлов стальных конструкций приведены в типовых сериях, большинство из которых на данный момент являются отмененными. Стоит отметить, что в зарубежной литературе помимо методик расчета отдельно взятых элементов конструкции даются подробные методики расчетов узлов.

Одним из наиболее часто используемых на практике является шарнирный узел соединения балки с колонной (а также шарнирный узел балки с балкой). В серии 2.440–2 выпуск 1 «Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыкания ригелей к колоннам» [1] имеется методика расчета данного узла, но серия является отмененной. В зарубежных рекомендациях по проектированию стальных конструкций, таких как *Steel Construction Manual (American Institute of Steel Construction)* [4] и *Joints in Steel Construction (EUROCODE3)* [5], имеется методика расчета данного узла, однако она имеет значительные отличия от методики, изложенной в типовой серии. Стоит отметить, что помимо самой методики расчета приведены конкретные примеры, чего в отечественных нормах и сериях нет.

Описание конструктивной схемы рабочей площадки

В качестве исходных данных для конструирования и дальнейшего расчета шарнирного узла крепления балки к колонне была использована рабочая площадка, предназначенная для складирования строительных материалов.

Рабочая площадка представляет собой металлический каркас высотой 6,0 м, с размерами в плане 12,0x12,0 м. Все металлические элементы выполнены из стали марки С255. Колонны каркаса выполнены из двутавра 30К1 по [6]. Главные и второстепенные балки выполнены из двутавров 45Б1 и 30Б2 по [6] соответственно. Шаг главных балок — 6,0 м, крепление к колоннам — шарнирное. Шаг второстепенных балок — 2,0 м, крепление к колоннам и балкам — шарнирное.

Жесткость и геометрическая неизменяемость каркаса обеспечивается жестким защемлением колонн в фундаментах в направлении большей жесткости, системой вертикальных связей, выполненных из гнуто-сварных профилей 120x5 по [7] — в направлении меньшей жесткости колонн, работающими совместно с жестким железобетонным диском покрытия.

Конструкции рабочей площадки представлены на рисунке 1.

Опорные реакции определим по эпюре Q_z , представленной на рисунке 2.

Конструирование шарнирного узла примыкания балки к колонне

Согласно серии [1] конструкция узла включает в себя:

- Монтажный столик из уголка L100x63x8 [8];
- Крепежный элемент из уголка L100x63x8 [8];
- Болты М20 класса прочности 8.8 [9];
- Сварные швы катетом $k_f=6$ мм, выполненные полуавтоматической сваркой сварочной проволокой Св-08Г2С (тип электрода Э50).

Сравнительный анализ проведем для шарнирного узла примыкания главной балки 45Б1 к полке колонны 30К1.

Согласно рисунку 2, опорная реакция, возникающая в балке, равна $Q_z=14,04$ т = 138 кН.

Узел конструируем согласно [1] для узла 15. Общий вид узла и размеры представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

Расчет шарнирного узла примыкания балки к колонне

Расчет шарнирного узла крепления балки к колонне будем производить по формулам, данным в серии [1], однако характеристики материалов будем принимать по СП [2].

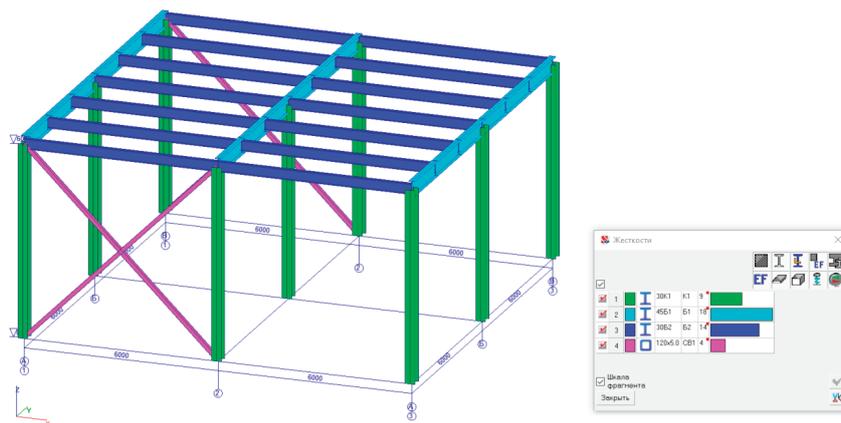


Рис. 1. Визуализация расчетной схемы

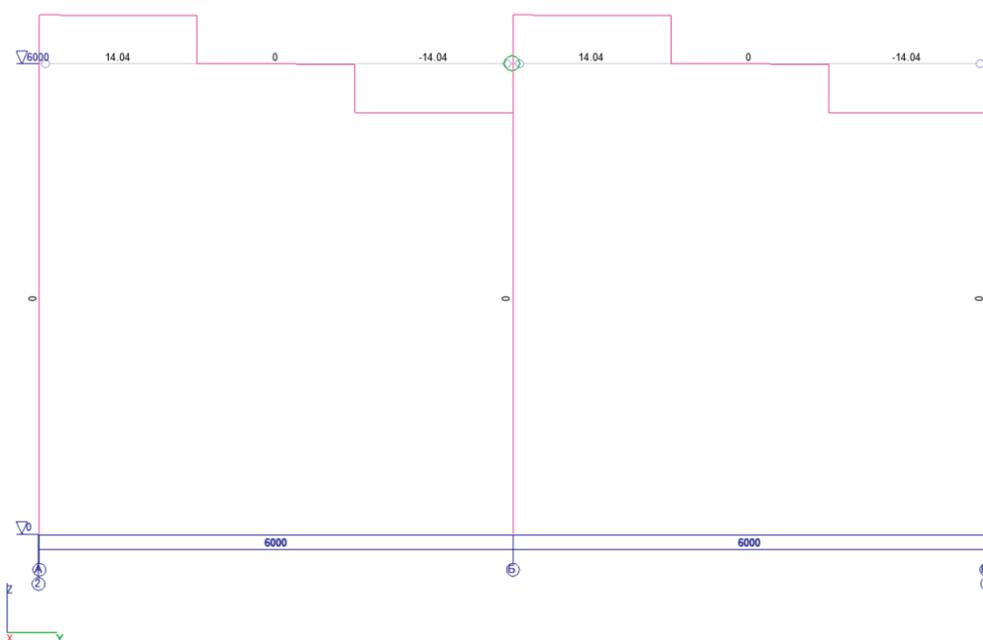
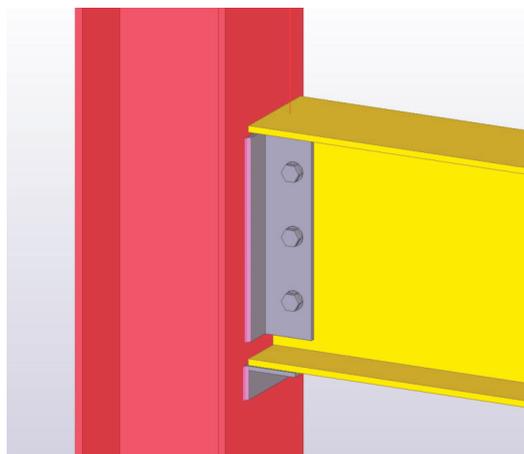
Рис. 2. Поперечные усилия Q_z , т

Рис. 3. Общий вид узла

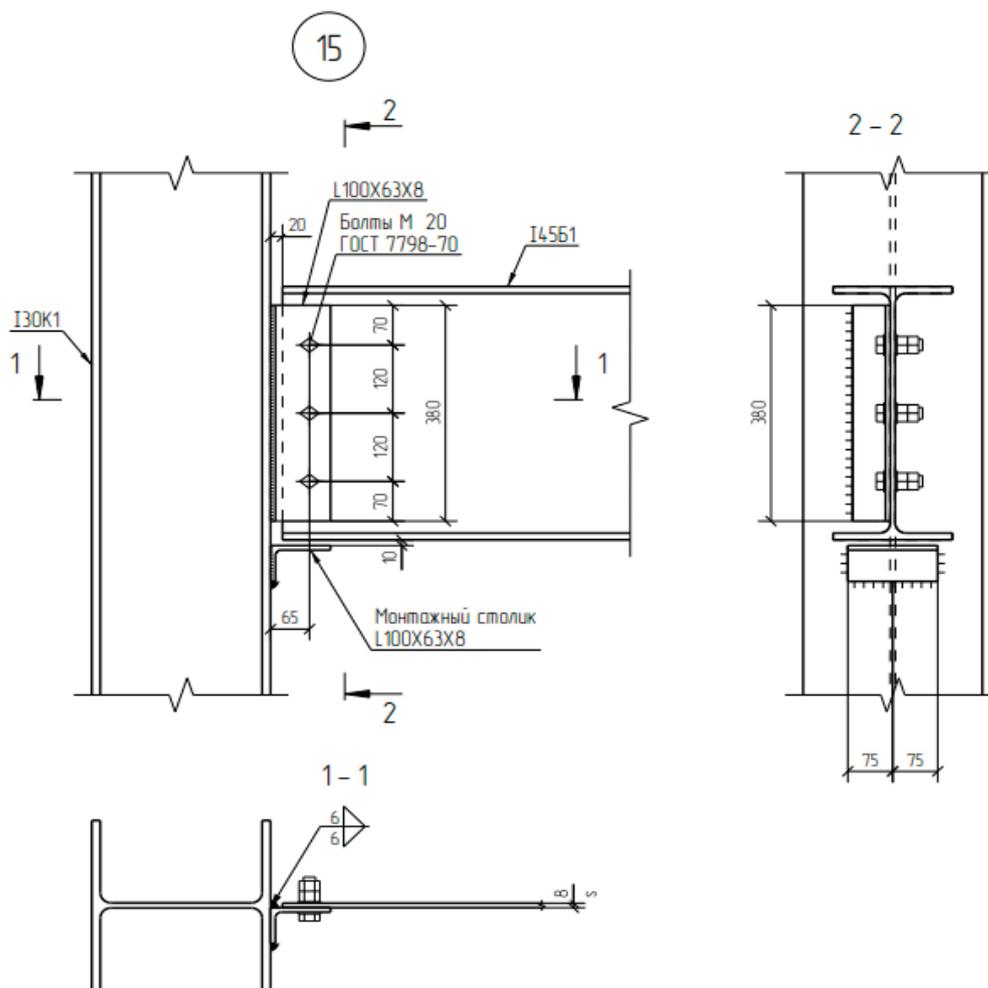


Рис. 4. Геометрические характеристики узла

Коэффициент использования элементов узла будет определяться по формуле (1).

$$K = \frac{X}{X_{max}} \cdot 100\% \tag{1}$$

где X — усилия или напряжения, возникающие в элементе;

X_{max} — максимальные усилия или напряжения, которые может вынести элемент.

Расчетные формулы:

а) Несущая способность болтов для варианта узла А (крепление балки к полке колонны без учета действия изгибающего момента на болты) вычисляется по формуле (2):

$$Q_{пр}^b = n \cdot N_b \cdot 0,9 \tag{2}$$

где $N_b = 94 \text{ кН}$ — меньшее значение несущей способности болта на срез или смятие (п.14.2.9 [2]: $R_{bs} = 94 \text{ кН} < R_{bp} = 144 \text{ кН}$);

$n = 3$ — количество болтов;

$$Q_{пр}^b = 3 \cdot 94 \cdot 0,9 = 254 \text{ кН}$$

Таким образом, коэффициент использования болтов равен:

$$K = \frac{138}{254} \cdot 100\% = 54\%$$

б) Несущая способность стенки балки на срез определяется по формуле (3):

$$\frac{Q_{пр} \cdot S_x \cdot \alpha}{I \cdot s} \leq R_s \tag{3}$$

где $Q_{пр} = 138 \text{ кН}$ — опорная реакция в балке;

$S_x = 725,060 \text{ см}^3$ — статический момент балки 45Б1;

$$\alpha = \frac{a}{a-d} = \frac{12}{12-2,3} = 1,24 \text{ — коэффициент, учитывающий отверстия в стенке балки (п. 8.2.1 [2])}$$

$a = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см}$ — шаг отверстий в одном вертикальном ряду болтов;

$d = 20 + 3 = 23 \text{ мм} = 2,3 \text{ см}$ — диаметр отверстий под болты;

$I = 28697,348 \text{ см}^4$ — момент инерции сечения балки 45Б1;

$s = 8 \text{ мм} = 0,8 \text{ см}$ — толщина стенки двутавра;

$$R_s = 145 \text{ МПа} = 14,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \text{ — расчетное сопротивление стали срезу/сдвигу (табл. 2 [2]);}$$

$$\frac{138 \cdot 725,060 \cdot 1,24}{28697,348 \cdot 0,8} = 5,4 \leq R_s = 14,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Таким образом, коэффициент использования стенки балки на срез равен:

$$K = \frac{5,4}{14,5} \cdot 100\% = 37\%$$

в) Несущая способность уголка на срез определяется по формуле (4):

$$\frac{1,5 \cdot Q_{\text{нр}}}{l \cdot t} \leq R_s \cdot 0,9 \quad (4)$$

где $l = 380 \text{ мм} = 38 \text{ см}$ — длина уголка L100x68x8;

$t = 8 \text{ мм} = 0,8 \text{ см}$ — толщина уголка L100x68x8;

$$\frac{1,5 \cdot 138}{38 \cdot 0,8} = 6,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 14,5 \cdot 0,9 = 13,05 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Таким образом, коэффициент использования уголка на срез равен:

$$K = \frac{6,8}{13,05} \cdot 100\% = 52\%$$

г) Несущая способность швов крепления уголка к колонне определяется по формуле (5):

$$\sqrt{\left(\frac{Q_{\text{нр}}}{l_w \cdot k_f \cdot \beta_f} \right)^2 + \left(\frac{Q_{\text{нр}} \cdot e \cdot 6}{l_w^2 \cdot k_f \cdot \beta_f} \right)^2} \leq R_{wf} \cdot 0,8 \quad (5)$$

где $l_w = l - 1 \text{ см} = 37 \text{ см}$ — шов крепления уголка к колонне;

$k_f = 6 \text{ мм} = 0,6 \text{ см}$ — катет сварного шва крепления уголка к колонне;

$\beta_f = 0,7$ — коэффициент, принятый по табл. 39 [2];

$e = 65 \text{ мм} = 6,5 \text{ см}$ — расстояние от полки колонны до ряда болтов;

$$R_{wf} = 215 \text{ МПа} = 21,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \text{ — расчетное сопротивление металла шва (табл. Г. 2 [2]).}$$

$$\sqrt{\left(\frac{138}{37 \cdot 0,6 \cdot 0,7} \right)^2 + \left(\frac{138 \cdot 6,5 \cdot 6}{37^2 \cdot 0,6 \cdot 0,7} \right)^2} = 12,9 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 21,5 \cdot 0,8 = 17,2 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Таким образом, коэффициент использования сварных швов равен:

$$K = \frac{12,9}{17,2} \cdot 100\% = 75\%$$

Выполним расчет данного узла методом конечных элементов. Расчет будет произведен в программном комплексе IDEA StatiCa 21.1.3.1398.

Общий вид узла представлен на рисунке 5.

Окно настроек для расчета узла методом конечных элементов представлено на рисунке 6.

Результаты расчета узла МКЭ представлены на рисунках 7–9.

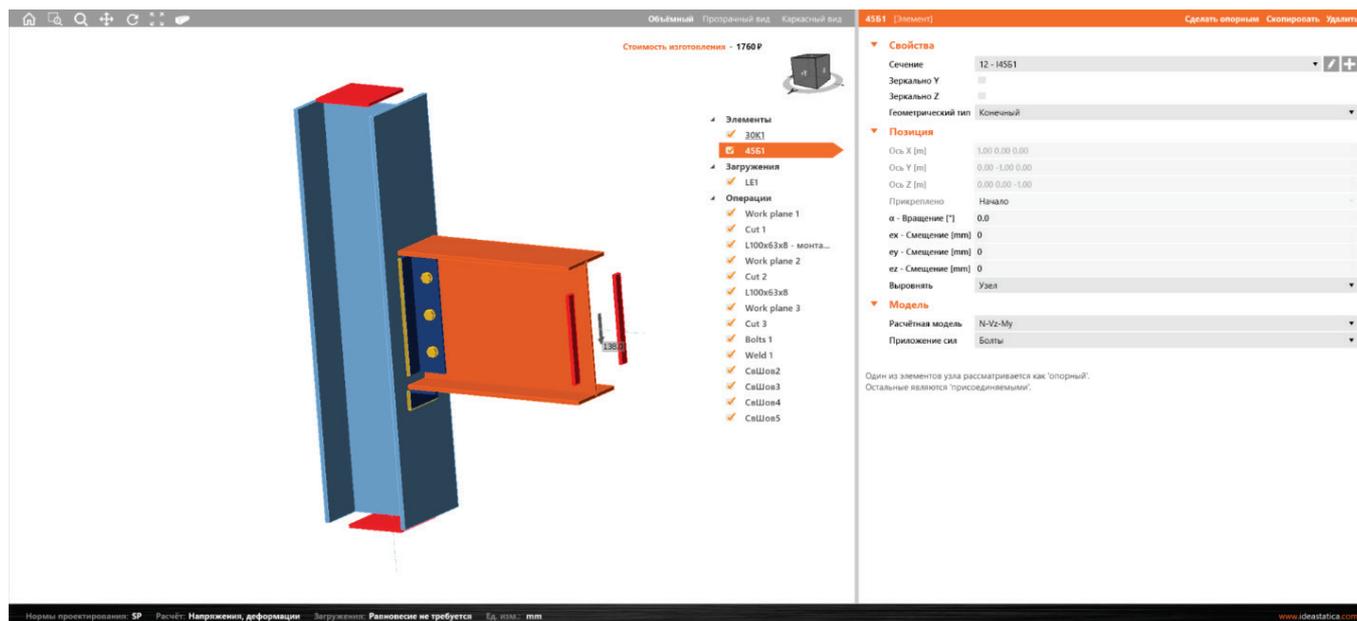


Рис. 5. Общий вид узла в ПК IDEA StatiCa

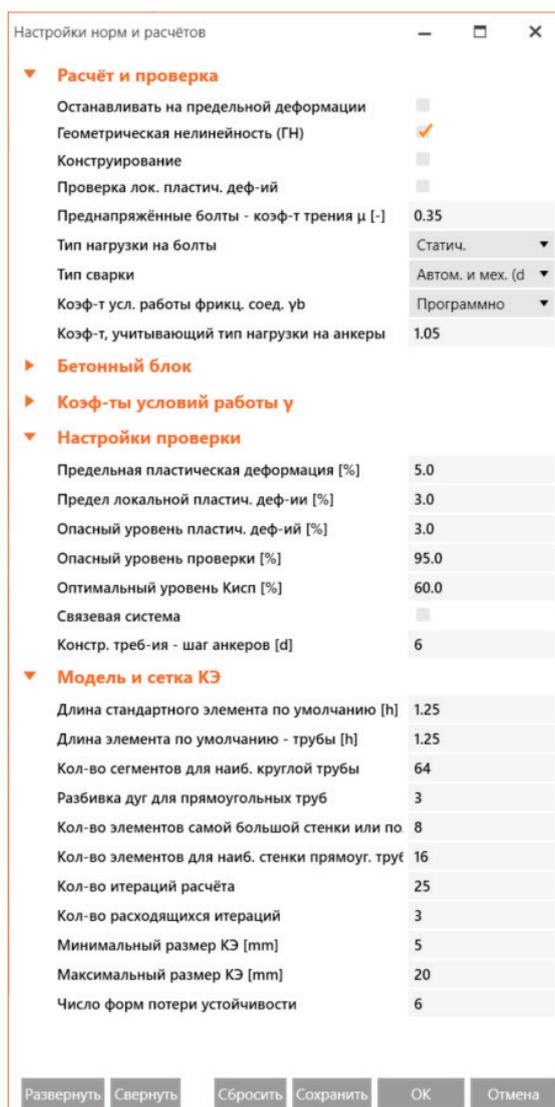


Рис. 6. Окно настроек для расчета узла МКЭ

Расчет ✓ 100.0%
 Пластины ✓ 0.0 < 5.0%
 Болты ✓ 66.0 < 100%
 Сварные швы ✓ 94.7 < 100%
 Устойчивость 12.77

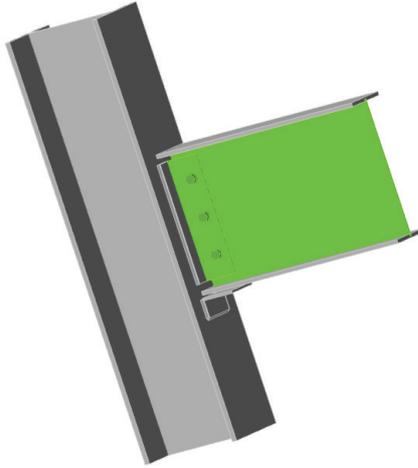


Рис. 7. Общая проверка узла

Расчет ✓ 100.0%
 Пластины ✓ 0.0 < 5.0%
 Болты ✓ 66.0 < 100%
 Сварные швы ✓ 94.7 < 100%
 Устойчивость 12.77

Стоимость изготовления - 1760 P

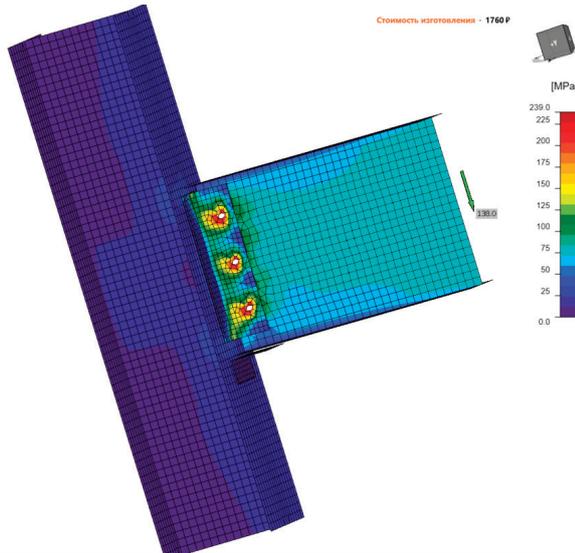


Рис. 8. Эквивалентные напряжения, возникающие в узле

Расчет ✓ 100.0%
 Пластины ✓ 0.0 < 5.0%
 Болты ✓ 66.0 < 100%
 Сварные швы ✓ 94.7 < 100%
 Устойчивость 12.77

Стоимость изготовления - 1760 P

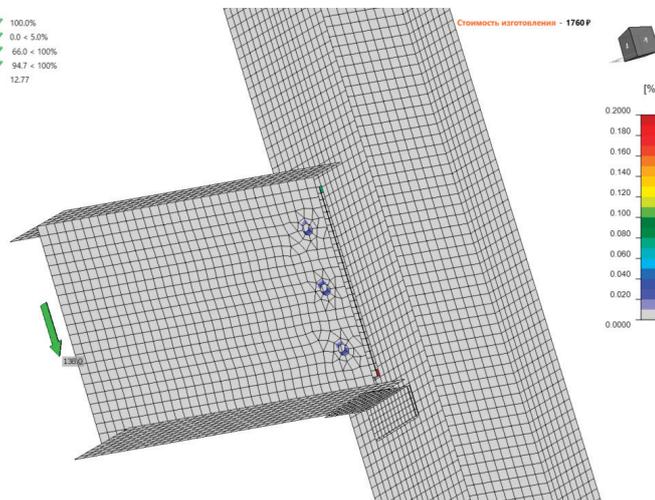


Рис. 9. Пластические деформации, возникающие в элементах узла

Сравнение результатов расчета шарнирного узла по серии и МКЭ

В таблице 1 представлены коэффициенты использования элементов узла, полученные при расчете по серии [1] и методом конечных элементов.

Таблица 1. Коэффициенты использования элементов узла

№ п/п	Параметр	Коэффициент использования	
		По серии [1]	МКЭ
1	Болты	54%	66%
2	Стенка балки на срез	37%	-
3	Уголок на срез	52%	-
4	Швы крепления уголка к колонне	75%	95%

Коэффициент использования болтов по серии [1] и МКЭ отличается на 12%. На рисунке 9 видно, что происходит локальное смятие стенки балки вокруг отверстия под болты из-за чего коэффициент использования может быть немного завышен.

Коэффициент использования сварных швов по серии [1] и МКЭ отличается на 20%. На рисунке 9 видно, что на концах сварного шва возникают локальные напряжения, что повышает их коэффициент использования при расчете МКЭ. Однако на рисунке 8 видно, что эквивалентные напряжения во всех элементах узла далеки от предельных значений.

В программе нет отдельной проверки элементов на срез, так как в каждом конечном элементе узла вычисляются нормальные, касательные и локальные напряжения, которые в последствие выводятся в результате расчета в виде сетки напряжений. Тем не менее на рисунке 8 видно, что напряжения как в балке, так и в уголке далеки от предельных, что говорит о высокой несущей способности стенки балки и уголка на заданную нагрузку.

Заключение

В результате сравнительного анализа расчета шарнирного узла примыкания балки к полке колонны по серии [1] и методом конечных элементов было выявлено, что коэффициенты использования элементов узла при расчете по серии ниже, чем при расчете МКЭ. Однако такое отличие может возникать из-за того, что программа учитывает не только главные, но и локальные напряжения, возникающие в узле.

Путем сравнения методики расчета узла соединения балки с колонной, описанной в серии [1], с «испытаниями» данного узла методом конечных элементов можно определить методику расчета, которая будет максимально приближена к «реальной работе» узла.

Литература:

1. Серия 2.440–2 Выпуск 1. «Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыкания ригелей к колоннам».
2. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81*» (с Поправкой, с Изменениями № 1).
3. СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования».
4. Steel Construction Manual (American Institute of Steel Construction).
5. Joints in Steel Construction (EUROCODE3).
6. ГОСТ Р 57837–2017. «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия».
7. ГОСТ 32931–2015. «Трубы стальные профильные для металлоконструкций. Технические условия».
8. ГОСТ 8510–86. «Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент».
9. ГОСТ 7798–70. «Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры».

Объекты культурного наследия: повышение качества городских территорий

Фиалкова Ангелина Константиновна, студент магистратуры
Научный руководитель: Безирганов Михаил Германович, профессор
Уральский государственный архитектурно-художественный университет (г. Екатеринбург)

Сохранение объектов культурного наследия и одновременное освобождение места для нового строительства может оказаться деликатным балансирующим действием. В этой статье рассматриваются сложные взаимосвязи между этими двумя противоречивыми положениями, и подчеркивается важность поиска гармоничного решения, учитывающего как прошлое, так и будущее.

Ключевые слова: культурное наследие, город, городские территории, сохранение, развитие, качество, улучшение, общество.

Введение

Культурное наследие — это социальный и экономический, духовный и культурный капитал невозместимой ценности. Наравне с богатствами природы — это, несомненно, одно из главных оснований национального самоуважения и признания сообщества всего мира [1].

Объект культурного наследия (ОКН) — это памятники истории и культуры. Они — объекты недвижимого имущества со связанными с ними произведениями искусства и иными предметами материальной культуры, появившихся в результате исторических событий, представляющие собой ценность с точки зрения истории, архитектуры, градостроительства, экономики и иных наук [1].

Сохранение и развитие объектов культурного наследия является важной задачей для обеспечения качества городской среды. В современном, быстро меняющемся мире данные постройки играют решающую роль в сохранении истории и демонстрации красоты архитектуры разного времени.

Целью данной статьи является рассмотрение методов и инструментов повышения качества городских территорий за счет сохранения и развития объектов культурного наследия.

Актуальность

Большинство российских городов были образованы благодаря промышленным предприятиям. Ранее они строились на перифериях, но с процессом разрастания территорий многие из них оказались в черте городов.

В связи с тем, что такие постройки послужили началом развития городского округа, они несут большое историко-культурное значение для населения и имеют статус культурного наследия.

Объекты культурного наследия находятся под охраной государства. В случае если этот объект имел в прошлом промышленную направленность, он может находиться на закрытой территории действующего предприятия. В таком случае к нему нет доступа населения, он может быть скрыт в глубине промышленной зоны и приходить в упадок с течением времени.

Таким образом, можно сделать вывод, что такие территории нуждаются в сохранении и открытии их территорий для горожан.

Проблематика

Рассмотрим пример на территории города Екатеринбурга.

Верх-Исетский металлургический завод — одно из самых старых предприятий города. На сегодня это единственное предприятие, основанное в XVIII веке и сохранившееся до наших дней. На его территории располагаются объекты культурного наследия, но все они скрыты от глаз, т.к. завод все еще функционирует и девствует пропускная система.

В таком случае остро встает вопрос: как сохранить объекты культурного наследия и улучшить качество территории.

Методы сохранения и развития объектов культурного наследия

Для решения данной проблемы необходимо провести реновацию объектов и территории.

Реновация (лат. *renovatio* — «обновление») — процесс улучшения, реконструкции, реставрации без разрушения целостности структуры. В гражданском строительстве — инновационный процесс в сфере основного капитала, при котором изменяется функциональное назначение объектов реконструкции [3].

Современные технологии, инфраструктура и инновации являются катализаторами роста, улучшения качества жизни и стимулирования экономического развития. Реновация позволит нам оставаться конкурентоспособными в глобализованном мире и адаптироваться к меняющимся временам.

Кроме того, реновация может помочь нам оживить исторические места и сделать их более доступными для общественности. Интегрируя технологии и инновационные решения, мы можем улучшить впечатления посетителей и гарантировать, что наше культурное наследие останется актуальным и привлекательным для будущих поколений.

Анализируя мировой и отечественный опыт реновации объектов культурного наследия можно выявить несколько методов, которые улучшают качество городских территорий:

- сохранение объектов культурного наследия, реставрация и внедрение в них нового функционала;
- благоустройство территории, создание новых рекреационных зон для привлечения городского населения;
- строительство новых объектов рядом с культурным наследием, подчеркивающих их архитектурные стили и историческую значимость для города;

— пристройка нового объема к культурному наследию для переосмысления облика и подчеркивания течения времени.

Данные методы позволят дать объектам «вторую жизнь», повысят осведомленность о важности этих объектов и просвещения общественности о необходимости сохранения культурного наследия, подтолкнут к изучению исторической значимости определенных мест.

После проведения реновации важно обеспечить сохранность значимости объектов и территорий, привлекая местные сообщества к усилиям по сохранению, мы можем гарантировать, что эти объекты будут уважаться и охраняться.

Кроме того, внедрение строгих законов и правил по сохранению может помочь предотвратить разрушение и упадок объектов культурного наследия. Это влечет за собой ограничение застройки в окрестностях, обеспечение соблюдения законов против вандализма и грабежей, а также внедрение практики устойчивого туризма.

Также в восстановлении и поддержании объектов культурного наследия имеют решающее значение инвестиции для их

долгосрочного сохранения. Это может включать проведение регулярных оценок, ремонтных работ и обновлений, чтобы гарантировать, что объекты останутся структурно надежными и доступными для общественности.

Заключение

В заключение, сохранение культурного наследия и реновация идут рука об руку в обеспечении устойчивого будущего. Цена наше прошлое и используя возможности будущего, мы можем создать гармоничный баланс, который сохранит наше культурное наследие и одновременно будет способствовать прогрессу.

Культурное наследие имеет не только огромную эмоциональную ценность, но и имеет экономические выгоды. Туристов со всего мира привлекают места с богатым историческим и культурным наследием, способствующие развитию местной экономики и созданию рабочих мест. Защищая наше культурное наследие, мы инвестируем в устойчивый туризм и экономический рост.

Литература:

1. Федеральный закон «Об объектах культурного наследия народов Российской Федерации» от 25.06.2002 N73-ФЗ
2. А. Н. Асаул, Ю. Н. Казаков, В. И. Ипанов «Реконструкция и реставрация объектов недвижимости» // Учебник Под редакцией д.э.н., профессора А. Н. Асаула.— СПб.: Гуманистика, 2005.— 288с.
3. Голубка М. «Ностальгия по индустриальному духу городов. Реновация заводов и фабрик» // Сайт PRAGMATIKA — 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://pragmatika.media/nostalgija-po-industrialnomu-duhu-gorodov-renovacija-zavodov-i-fabrik/>
4. Горин Е. А., Осеевский М. Э. Инновационная реновация территорий как социально-экономическая основа общественного развития: опыт Гамбурга // Инновации.— 2013.— № 10 (180).— С. 83–85.

Молодой ученый

Международный научный журнал
№ 24 (523) / 2024

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

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

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

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

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

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

Номер подписан в печать 26.06.2024. Дата выхода в свет: 03.07.2024.

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

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

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

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

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.