

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)



Современные проблемы развития Европейского Севера

Материалы
Всероссийской научно-практической конференции

(25-27 мая 2022 года)

Ухта
УГТУ
2022

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Современные проблемы развития Европейского Севера

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(25-27 мая 2022 года)

УДК [5+6](061.3)

ББК 94 я5

К 65

Конференция Всероссийская научно-практическая (25-27 мая 2022 г.; Ухта).

К 65

Современные проблемы развития Европейского Севера: материалы конференции /
под редакцией Р. В. Агинеи. – Ухта: УГТУ, 2022. – 112 с.: ил. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-6045346-7-0

В сборнике представлены доклады II Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы развития Европейского Севера», проведённой Ухтинским государственным техническим университетом 25-27 мая 2022 года.

Рассмотрены актуальные проблемы, отражающие широкий спектр научных направлений. В сборнике представлены доклады по следующим темам: проблемы, связанные с эксплуатацией и обслуживанием, перспективами развития и внедрения результатов фундаментальных и прикладных исследований в области транспортно-технологических машин и комплексов; проблемы в области механики деформируемого твёрдого тела, физики конденсированного состояния, а также способы решения инженерно-прикладных задач с применением основных законов механики; актуальные вопросы архитектурной реконструкции городов и строительных технологий; проблемы создания и эксплуатации объектов электроэнергетических сетей и обеспечения надёжности работы и повышения эффективности электроустановок, технико-технологических решений по метрологическому обеспечению производственных процессов; вопросы обеспечения комплексной безопасности, геодезии, бережного природопользования.

УДК [5+6](061.3)

ББК 94 я5

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, профессор Р. В. Агинеи (гл. редактор); Е. В. Тетеревлёва; канд. техн. наук В.Л. Савич; канд. техн. наук Е. В. Нор; доцент, канд. техн. наук Е. В. Михайленко; канд. техн. наук И. Д. Киборт; доцент, канд. техн. наук М. А. Засовская (научный секретарь); Я. Н. Кузьменко (секретарь).

Материалы, помещённые в настоящий сборник, даны в авторской редакции с минимальными правками.

Техническое редактирование и компьютерная вёрстка: В. В. Конева

© Ухтинский государственный технический университет, 2022

ISBN 978-5-6045346-7-0

План 2022 г., позиция 004(н).

Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman. Формат 60×84 1/16.

Уч.-изд. л. 5,9. Заказ № 372.

Ухтинский государственный технический университет. 169300,
Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И МЕТРОЛОГИЯ	5
Методика синтеза системы управления инфокоммуникационной сетью на основе оптимальных значений обобщенного показателя качества <i>Базарова А. М.</i>	5
Анализ и разработка системы электроснабжения объектов магистрального трубопровода с использованием ВИЭ и гибридным накопителем электрической энергии <i>Голиков И. Ю.</i> <i>Научный руководитель – Шичев П. С.</i>	8
Разработка энергосберегающих технологий для шахтного способа добычи нефти <i>Каганяк Д. С.</i>	12
Применение резистивного датчика в системах учета воды <i>Лиджиев Б. С., Мучкинова Л. И., Отев К. С.</i>	19
Исследование влияния потребителей, формирующие гармоники напряжения, на электрическую систему <i>Логинов М. А.</i>	22
Разработка системы векторного бездатчикового управления асинхронным двигателем на базе рекуррентной нейросети <i>Митрофанов Н. А.</i>	24
Перспективы развития систем накопления энергии <i>Петрушкин П. В.</i>	27
Возмущения фазово-эквивалентных матричных потенциалов <i>Семьяшкина Е. И.</i>	30
Исследование влияния высокочастотных источников питания на сеть <i>Хухарев Д. Р.</i>	32
Энергосберегающая технология получения металлического германия <i>Кадомцева А. В., Томилев В. О., Пискунова М. С.</i>	35
Метрология, стандартизация и обеспечение качества химического анализа <i>Кадомцева А. В., Томилев В. О., Пискунова М. С.</i>	37
Перспективы использования ЭМП в системах привода нефте-газоперекачивающих установок <i>Рожкин В. Д.</i> <i>Научный руководитель - Щетинин Е. В.</i>	40
СЕКЦИЯ 2. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ	47
Факторы, формирующие усталость материалов <i>Истомина С. Н., Балин В. А.</i> <i>Научный руководитель – Савич В. Л.</i>	47
Описание коррозионно-диффузионных процессов трубопроводов и оценка скорости распространения локальной коррозии в зависимости от напряженно-деформированного состояния металла труб <i>Чувашов А. А., Попова Л. В., Рылько Н. М.</i>	50
СЕКЦИЯ 3. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ.....	53

Создание завершеного цикла получения рабочего раствора ферромагнитных наночастиц для глубокой очистки воды от органического загрязнения <i>Ивенина И. В.</i>	53
Оценка влияния водоотлива шахтных вод угольного разреза Юнь-Яга на гидрологические показатели водоемов на территории разреза <i>Баранова Р. Р., Чихалина В. В.</i> <i>Научный руководитель - Бутов А. В.</i>	55
Применение метода АББ на примере объекта хранения сжиженных углеводородных газов <i>Матонина Ю. С., Молева Е. С., Климова И. В., Севостьянова О. П.</i>	58
Обоснование методов кадастровой оценки земельных участков недропользования <i>Пильник Ю. Н., Рекова Е. В.</i>	63
Нормативное регулирование и изменение законодательства в области охраны труда в 2022 году <i>Поликарпова М. В., Нор Е. В.</i>	66
Анализ вырубки лесов в рамках показателя эколого-хозяйственного баланса Республики Коми <i>Саприн С. В., Дроздова А. Р.</i>	70
Применение метода анализа барьеров безопасности (АББ) при моделировании развития пожаров в лесных массивах <i>Севостьянова О. П., Климова И. В.</i>	73
СЕКЦИЯ 4. ТЕХНОЛОГИИ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН.....	76
Совершенствование технологического процесса снятия силовых агрегатов автомобилей <i>Гурьянов С. Г.</i>	76
Исследование таксационных показателей парковых насаждений г. Ухты Республики Коми <i>Коломинова М. В.</i>	79
Проектирование лесовозных автомобильных дорог с использованием геоинформационных систем <i>Меньшиков С. В.</i>	82
Перспективы развития переработки отходов лесопиления в Южных районах Республики Коми <i>Попов С. Е., Король С. А.</i>	84
Теоретические основы обработки почвы дисковыми покровосдирателями <i>Цыпук А. М., Родионов А. В., Пекки Л. П.</i>	87
Теоретические основы выбора оборудования для рубок ухода за молодняками <i>Цыпук А. М., Родионов А. В., Пекки Л. П.</i>	90
Конструкция гусеничных лент <i>Чемшикова Ю. М., Тимохова О. М.</i>	92
СЕКЦИЯ 5. АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО.....	95
Эффективность применения твердых промышленных отходов в строительстве <i>Веряскина Е. М.</i>	95
Автономные источники теплоснабжения <i>Афанасьев А. В., Иванова Е. С.</i>	98
Использования мелкозернистых бетонов на местном сырье для обустройства месторождений Севера <i>Майорова Н. С.</i>	104
Упругое взаимодействие вертикально нагруженной сваи с неоднородным грунтом <i>Девальтовский Е. Э., Скучина Е. В.</i>	108
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	112

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И МЕТРОЛОГИЯ

УДК 621.391

Методика синтеза системы управления инфокоммуникационной сетью на основе оптимальных значений обобщенного показателя качества

Базарова А. М.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В настоящее время основная тенденция развития операторов отрасли телекоммуникаций заключается в расширении спектра новых услуг. В тоже время создание и предоставление новых услуг приводит к росту и усложнению сетевой инфраструктуры, а также существенному увеличению информационных потоков. В результате чего, от современных инфокоммуникационных сетей (ИКС) требуется обработка все больших объемов информации при жестких требованиях к получению результатов. Это приводит к тому, что ИКС характеризуется сложной последовательностью принятия решений для большинства выполняемых задач, имеет высокий уровень интеграции элементов, которые входят в ее состав [1].

С учетом вышеизложенного, особое значение для проектирования, производства и эксплуатации ИКС приобретает оценка и обеспечение заданных показателей качества их работы вследствие выполнения все более ответственных функций и увеличения потока данных. Управления ИКС с учетом жестких требований к показателям качества является сложным, структурированным процессом, который зависит от многих факторов. Кроме того, обеспечение надежности и возможность устранения неисправности ИКС должны происходить таким образом, чтобы это не влияло на качество предоставления информационных услуг потребителю [2].

В тоже время уровень существующей, в настоящее время, системы управления ИКС не отвечает современным требованиям, не позволяет оперативно получать информацию нужного качества для принятия обоснованных решений по управлению объектами, обмену информацией между субъектами системы управления, а также не предоставляет возможности оперативно реагировать на ситуации, возникающие в сетях.

Таким образом, гарантирование заданных параметров качества в процессе управления ИКС является комплексной научно-технической проблемой, необходимость решения которой и обуславливает выбор темы данной статьи.

В России и других странах мира в настоящее время достаточно интенсивно проводятся исследования в области информационных сетей. Задачам обеспечения их функциональной устойчивости посвящены труды таких ученых, как Базарбай А., Караманов Ж., Уразбаев Е., Смайлов Н., Calvin Blackburn; Stanton, J. M.; Mueller, Peter; Lou, Der-Chyuan; Huang, Xinyi.

Классификация и анализ существующих методов аудита и мониторинга информационных потоков в ИКС, формирование критериев оценки качества ИКС нашли свое отражение в работах Коцыняка М.А., Лауты О.С., Нечепуренко А.П., Nakazawa, J.; Takahashi, K.; Amiri, R.; Amiri; Elkeelany, O.

Вопросы, касающиеся совершенствования надежности ИКС, подробно рассмотрены Климановым В.П., Предко А.В., Ибрагимовым Б.Г., Ганифаевым Р.А.; Ogawa, T.; Suzuki, S.; Ito, Y.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд проблемных вопросов в данной предметной плоскости остается открытым и не до конца исследованным. В частности, особого внимания заслуживает разработка методики построения системы управления ИКС, которая будет способна повысить достоверность управляющей информации, минимизировать ее задержки, что в результате будет способствовать повышению показателей качества работы сети в целом.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей синтеза методики управления ИКС на основе оптимальных значений обобщенного показателя качества.

Процесс обеспечения эффективности системы управления (СУ) ИКС относится к классу задач исследования сложных систем [3]. Традиционно эффективность сложной системы оценивается в следующей последовательности: установление показателей и (или) критериев

эффективности; определение их числовых значений; обоснование решения о результативности работы системы. Оценивание эффективности СУ может быть осуществлено по качеству выполнения задач без нее и с ней, по уровню выполнения системой заданных функций, путем сравнения эффективности разных аналогов [4].

Изучение существующих в настоящее время подходов показывает, что в большинстве случаев разработка и анализ качества СУ ИКС осуществляется по однокритериальным моделям, что, очевидно, не позволяет учитывать весь спектр противоречивых требований к системе и приводит к снижению качества конечных результатов и выводов.

В связи с указанным актуальной является задача усовершенствования научно-методического аппарата построения СУ ИКС с использованием многокритериальных подходов.

Поэтому рассмотрим более подробно методику синтеза СУ ИКС на основе оптимальных значений обобщенного показателя качества.

Этап 1. Определение исходных величин и функций. В рамках данного этапа необходимо выбрать частные показатели качества работы системы. По мнению автора, к таким показателям целесообразно отнести следующие:

- объем управляющей информации, при которой СУ адаптивна к прогнозируемым и непрогнозируемым факторам;
- заданная величина задержки информации в ИКС;
- достоверность информации в СУ;
- надежность ИКС;
- стоимость системы управления ИКС.

Таким образом, обобщенный показатель качества имеет следующий вид:

$$K_p = C_1 K_1 + C_2 K_2 + C_3 K_3 + C_4 K_4 + C_5 K_5$$

$$K_i = \frac{K_i}{K_{i0}}, i = m$$

$$\sum_{i=1}^m C_i = 1, C_i > 0 \quad i = 1, m$$

где, K_{i0} – некоторое опорное значение показателя качества;

C_i – весовые коэффициенты, определяемые экспертной оценкой.

Будем считать оптимальной систему управления, обеспечивающую выполнение таких условий:

$$K_p = \min_{S \in M_A} f_p(K_1, \dots, K_i, \dots, K_m)$$

$$K_i = K_i(S) \quad i = 1 \dots m$$

$$K_i \leq K_{im} \quad i = 1 \dots m$$

где K_{im} – максимально возможное значение показателя качества.

Под $K_{1m}, K_{2m}, K_{3m}, K_{4m}, K_{5m}$ подразумеваются следующие показатели качества СУ:

K_{1m} – суммарный максимально допустимый объем управляющей информации (пропускная способность каналов СУ);

K_{2m} – максимальная величина задержки управляющей информации, при которой СУ в реальном масштабе времени контролирует необходимые параметры сети;

K_{3m} – максимальная величина вероятности ошибки каналов передачи информации СУ;

K_{4m} – минимальная величина надежности ИКС;

K_{5m} – максимальная величина стоимости системы управления.

Из множества вариантов построения СУ необходимо выбрать самый подходящий. Качество работы самой ИКС характеризуется пятью основными показателями K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 .

где K_1 – заданная пропускная способность каналов СУ;

K_2 – вероятность ошибки передаваемой информации;

K_3 – задержка управляющей информации;
 K_4 – коэффициент простоя инфокоммуникационной сети;
 K_5 – стоимость СУ.

Пять показателей качества взаимно противоречивы. Минимаксный критерий представим в следующем виде:

$$K_p = \min_{S \in M_{CP}} f_p(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5)$$

где $K_i = (S)$

$$f_p = [C_1 K_1; C_2 K_2; C_3 K_3; C_4 f(K_3)] = \min \left[C_1 \frac{K_1}{K_{1m}}; C_2 \frac{K_2}{K_{2m}}; C_3 \frac{f(K_2)}{K_{3m}}; C_4 \frac{f(K_3)}{K_{4m}} \right]$$

где

$$K_4 = f(K_3); K_3 = f(K_2)$$

При этом необходимо рассмотреть допустимые варианты смены от минимально возможных до максимальных значений, а затем выбрать оптимальные.

Для решения этой задачи следует определить максимальные и минимальные значения коэффициентов K_i . Выберем, также, шаг ΔK_i , т.е. изменения показателей качества от $K_i \min$ до $K_i \max$. Весовые коэффициенты C_i составляют $C_1 = 0,3$; $C_2 = 0,2$; $C_3 = 0,3$; $C_4 = 0,1$; $C_5 = 0,1$.

Эти коэффициенты выбраны при условии, что наиболее важна необходимость минимизации задержки управляющей информации, тогда как пропускная способность каналов и вероятность ошибки имеют примерно одинаковые приоритеты. Стоимость же выбирается минимально возможной, однако необходимой для выполнения остальных требований к качеству системы, поэтому их вес минимальный.

Этап 2. Нахождение величин по исходным данным.

Исходя из вышеприведенного, обобщенный критерий оптимальности можно представить в следующем виде:

$$f_p = \min \left(C_1 \frac{K_{1min} + \Delta K_{j1}}{K_{1m}}; C_2 \frac{K_{2min} + \Delta K_{j2}}{K_{2m}}; C_3 \frac{K_{3min} + \Delta K_{j3}}{K_{3m}}; C_4 \frac{K_{4min} + \Delta K_{j4}}{K_{4m}}; C_5 \frac{K_{5min} + \Delta K_{j5}}{K_{5m}} \right)$$

где

$$\frac{K_{4min} + \Delta K_{j4}}{K_{4m}} = f \left(\frac{K_{3min} + \Delta K_{j3}}{K_{3m}} \right)$$

Учитывая вышеизложенное, оптимальной будет система, где S_i и K_i будут минимальные.

Таким образом, подводя итоги, можно отметить следующее. Предложенная в статье методика синтеза позволяет построить оптимальную СУ программно-конфигурированной ИКС для заданных технических характеристик на основе оптимальных значений обобщенного показателя качества.

Библиографический список:

1. Успенский М.И. Вклад составляющих в надежность функционирования информационной сети СМНР // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2021. № 3. С. 103-121.
2. Довгий С., Сторожук М., Сторожук Н. Методика оценки надежности сетей связи // Первая миля. 2020. № 5 (90). С. 44-49.
3. Monajemi, Sadaf Information reliability in complex multitask networks // Future generation computer systems. 2018. Volume 83; pp 485-495.
4. Chen, Shin-Guang A permutation-and-backtrack approach for reliability evaluation in multistate information networks // Applied mathematics and computation. 2020. Volume 373.

Анализ и разработка системы электроснабжения объектов магистрального трубопровода с использованием ВИЭ и гибридным накопителем электрической энергии

Голиков И. Ю.

Научный руководитель – Шичев П. С.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В настоящий момент большинство объектов на линейной части магистрального нефтепровода и газопровода получают питание от централизованной системы энергоснабжения.

Энергоснабжение линейных потребителей магистрального трубопровода осуществляется от вдольтрассовой линии электропередачи напряжением 10 кВ, проходящей по нитке трубопровода и запитанной от распределительных устройств двух соседних нефтеперекачивающих станций (НПС) и компрессорных станции (КС) или от сторонних источников питания (сетей региональных энергетических компаний), расположенных в районе вдольтрассового потребителя. [4]

Затраты на подведение, электроснабжение и обслуживание удаленных объектов на магистральном трубопроводе имеют значительную часть. Помимо протяженных воздушных линий электропередач, которые необходимо обслуживать, необходимо так же преобразовать подводимое напряжение в необходимое для установок.

Сокращение затрат на энергоресурсы при эксплуатации магистральных нефтепроводов и обеспечение их бесперебойной и эффективной работы - важные задачи. Основными вариантами их решения являются мероприятия энергосберегающего характера, оптимизация размещения энергообъектов и переход на частичное или полное энергоснабжение от собственного источника энергии [1].

В качестве одного из вариантов оптимизационных мероприятий рассматривается применение ветрогенераторов малой мощности для автономного электроснабжения линейных объектов с небольшой нагрузкой электроприемников, например:

– станции катодной защиты (электрохимическая защита).

Применение альтернативных источников энергии позволит уменьшить затраты на электроэнергию, снизит затраты на реконструкцию и обслуживание ВЛ и улучшит экологическую политику.

Расчет будет выполняться для объекта, расположенного в реальном месте размещения нефтепровода Уса-Ухта, в зоне эксплуатации НПС «Сыня», Республика Коми. Рассматриваемым объектом является станция электрохимической защиты.

В качестве источников постоянного тока для катодной защиты на СКЗ в основном используются преобразователи, которые питаются от сети 220 В промышленной частоты.

Чаще всего на объектах нефтепровода и газопровода используют следующие станции катодной защиты: В-ОПЕ-МЗ «Энергомера», «Элкон -3000» НПК «Вектор», «УКЗТ-3,0», НГК-ИПКЗ-Евро, АСКГ-ТМ, ИСТ-1000. [3]

Расчетная мощность потребителей рассматриваемого объекта составляет 3 кВт. Мощности, входящих в него потребителей приведены на рисунке 1.

Потребление электроэнергии примерно одинаковое в течении года. Более высокое электропотребление в летне-осеннее время, объясняется теплой погодой и высокой погодной активностью, такой как дожди, из-за этого СКЗ работает при более высоких токах и напряжениях, уравнивая потенциал.

Так как, для ВИЭ, необходимы аккумуляторные батареи, следует предусмотреть укрытие в виде блок бокса, в котором, будут размещаться шкафы с АБ, станция катодной защиты, пожарная сигнализация, охранная сигнализация, освещение и отопление.

Таким образом, суммарная мощность объекта будет составлять 8,24 кВт.

На линейной трассе между нефтеперекачивающими станциями «Уса» и «Сыня», примерные координаты объекта 55 км нефтепровода «Уса-Ухта»,

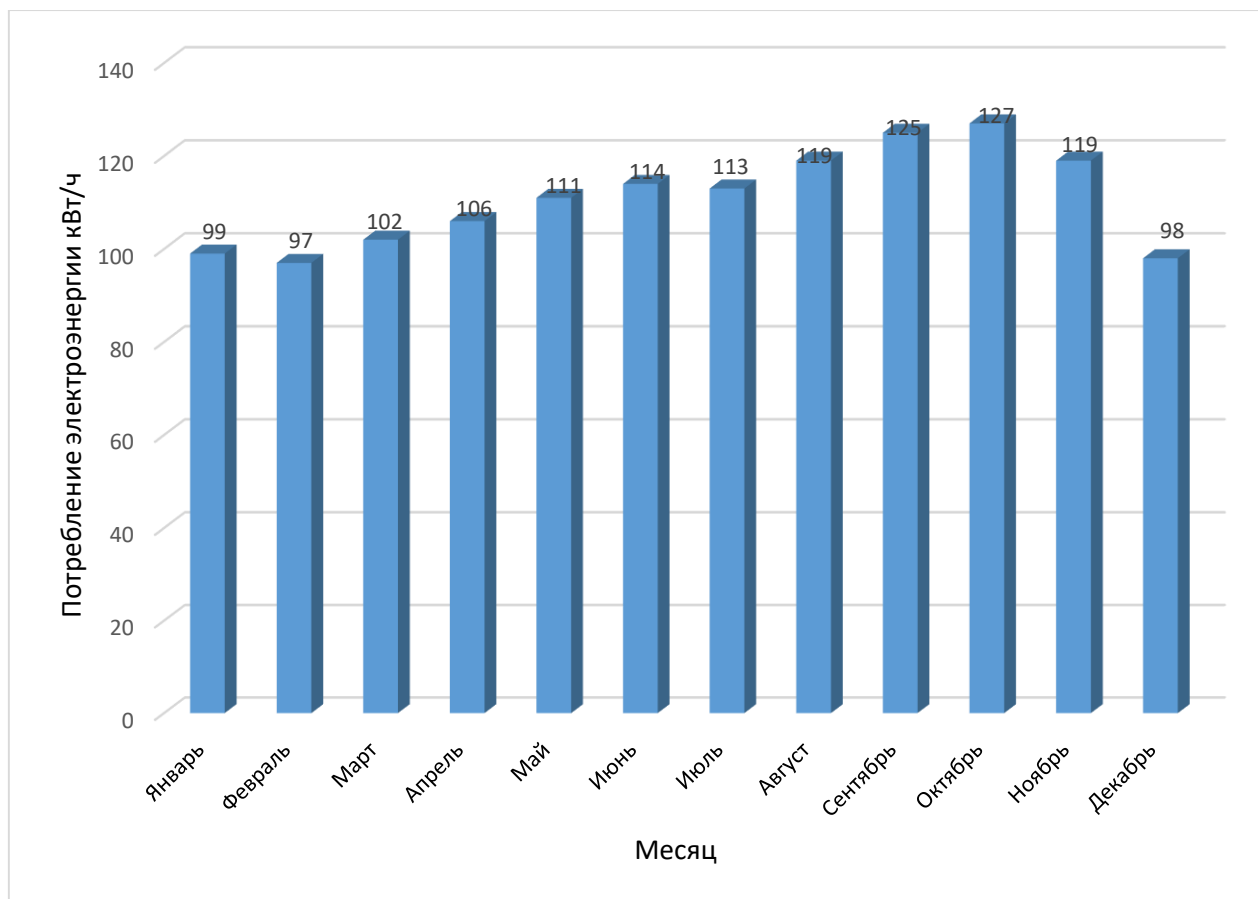


Рисунок 1 - Годовой график потребления электроэнергии СКЗ

Широта 65,8845434, Долгота 58,0358847.

Рядом с нефтепроводом проходит линия 220 кВ «Сыня-Усинская ТЭЦ», подстанция ПС «Сыня» 220/35/10 которая преобразует 220 кВ в необходимые 10 кВ, находится рядом с НПС «Сыня». Так как, подстанция находится далеко от рассматриваемого объекта, и протяженность ВЛ 10 кВ составляет более 63 км, становится целесообразным применение ВИЭ на линейной части магистрального нефтепровода.

Для оценки ветроэнергетического потенциала воспользуемся сервисом Nasa Power Data Access Viewer. Рядом с объектом находится метеостанция, расположенная в Усть-Усе, которое имеет название: Северное УГМС [2].

График средней скорости ветра по месяцам с 2011 года по 2021 год представлен на рисунке 2. Среднее значение за 10 лет равно 3,51 м/с

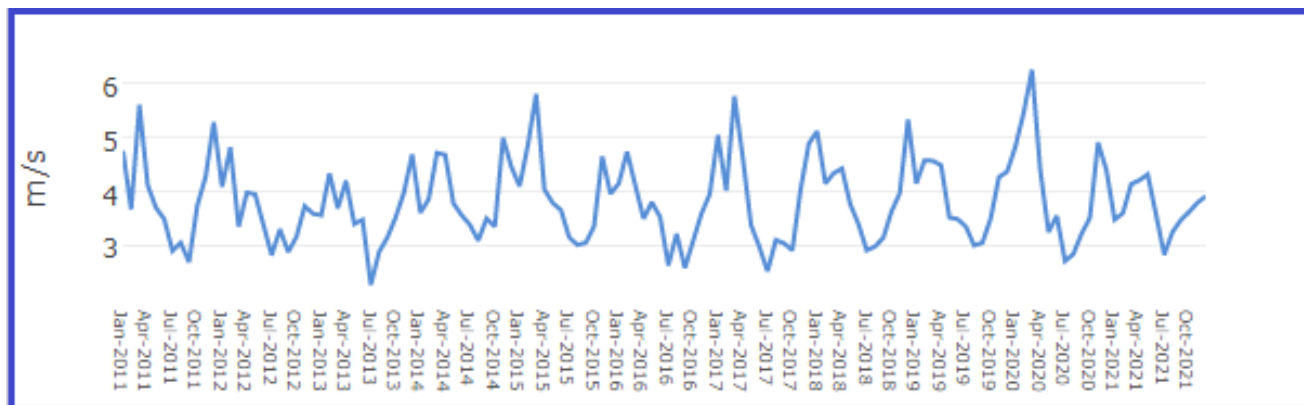


Рисунок 2 - Средняя по месяцам скорость ветра с 2011 по 2021 год.

Согласно документам ПАО «Транснефть», а именно ОР-03.100.50-КТН-027-18, установка ВЭУ целесообразна в районах со средней скоростью ветра за зимний период от 3,0

м/с и более. В нашем случае, средняя скорость ветра за зимний период превышает 3,0 м/с, и составляет 4,97 м/с. Использование ВЭС целесообразно.

Установка солнечных панелей целесообразна в районах с суммарной солнечной радиацией (прямой и рассеянной) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе от 4000 МДж/м² (1111 кВт/ч*м²) и более.

В нашем случае, суммарная солнечная радиация составляет 542,02 кВт/ч*м², что почти в два раза меньше необходимого. Реализация солнечного потенциала исключается из рассмотрения.

Для расчета скорости воздушного потока на высоте башни ВЭУ используется следующая формула:

$$V_{h1} = K_p \cdot V_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^m, \text{ м/с.} \quad (1)$$

Где V_0 - скорость ветра, измеренная вблизи земной поверхности на высоте h_0 ; h_1 , м – высота башни; m – показатель степени

K_p - коэффициент, учитывающий рельеф местности:

Мощность ВЭУ рассчитывается:

$$N_{h1} = 0,5 \cdot \rho \cdot F_{BK} \cdot V_{h1}^3 \cdot \eta_{ВЭУ}, \text{ Вт.} \quad (2)$$

где: ρ - плотность воздуха (при нормальных условиях $\rho = 1,226 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$);

F_{BK} - площадь поперечного сечения воздушного потока (ометаемая площадь ветроколеса);

V_{h1} - скорость ветра на высоте h_1 ;

$\eta_{ВЭУ}$ - КПД ВЭУ (45-48%).

По результатам расчетов, ветрогенератор с мощностью 3 кВт сможет воспроизводить, примерно 153,9 Вт электроэнергии. Был рассчитан коэффициент использования установленной мощности ветрогенератора среди разным моделей и мощностей. По результатам расчетов самый наилучший вариант получен у ВЭУ 5/7 KW-48V LOW WIND который составляет 10%.

Выработка энергии от ветра происходит не всегда, бывают безветренные дни, и в данном случае, аккумуляторов будет мало, для поддержания в работоспособности СКЗ. Необходимо использовать ДЭС. В расчетах по усредненным показателям мощность традиционного источника выбирается из максимума нагрузки, учитывая нормальную загрузку на дизельный генератор 70%. Была выбрана модель ДЭС: ТСС АД-12С-230, мощность 12 кВт.

При использовании АБ неравномерность распределения энергии от возобновляемого источника будет минимальной и включение дизельного генератора будет происходить реже. В производстве ветровой энергии преобладают короткие и резкие колебания мощности. Это достаточно быстро выводит из строя накопитель малой энергоемкости за счет большого количества циклов заряда и разряда. Для таких ситуаций используем ионисторы или суперконденсаторы, которые установлены в комбинации с обычными аккумуляторами. Для изготовления этих элементов применяется технология, основанная на использовании эффекта образования двойного электрического слоя. Этим они выгодно отличаются от батарей и аккумуляторов.

Система электроснабжения ВИЭ представлена на рисунке 3.

При недостаточной выработке мощности ветрогенератора силовой модуль запускает ДЭС, при увеличении генерации мощности ветрогенератора ДЭС отключается. АВР переключает сеть ветрогенератор-ДЭС. Во время работы дизель-генератора гибридные аккумуляторы заряжаются. Блок управления питанием с источником бесперебойного питания обеспечивает питание нагрузок

от ветрогенератора через выпрямительно-инверторный преобразователь с накоплением избыточного электричества в батареях. В периоды отсутствия ветра питание нагрузок осуществляется с гибридных аккумуляторных батарей, при разряде которых включается ДЭС и блок бокс питается от него. В то же время, ДЭС питает аккумуляторы через контроллеры заряда. Установка дополнительных балластных нагрузок не требуется.

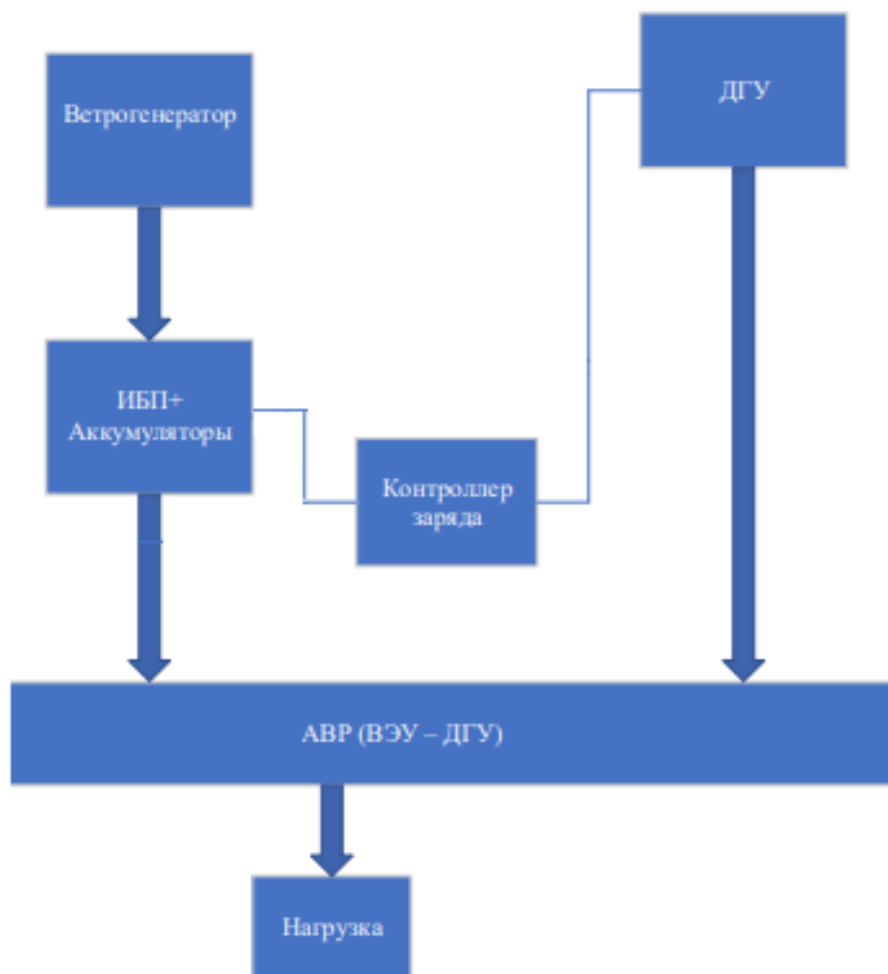


Рисунок 3 – Система электроснабжения

В ходе экономического анализа, удалось получить экономический эффект от внедрения ВИЭ на линейной части магистрального нефтепровода. При сравнении реконструкции ВЛ-10 кв, трансформаторной подстанции, и использовании ВИЭ, доход составит более 1 млн. рублей.

Библиографический список:

1. Лукутин, Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 120 с.
2. Nasa Power Data Access Viewer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения 15.05.2022).
3. Малая возобновляемая энергетика на северо-западе Арктики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/malaya-vozobnovlyaemaya-energetika-na-severo-zapade-arktiki/viewer> (дата обращения 15.05.2022).
4. О.А. Туровин, Е.Н. Огнев, А.Е. Кочнев Альтернативные источники электроснабжения нефтяных объектов компании, 2017, № 1, с. 2 (4), с. 69-74.

Разработка энергосберегающих технологий для шахтного способа добычи нефти

Каганяк Д. С.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В настоящее время вопросы, связанные с повышением энергоэффективности технологических процессов нефтедобычи, стали особенно актуальными. Это обусловлено завершением эпохи высоких цен на углеводородное сырье, падением мировых цен на нефть, а также постоянным ростом тарифов на электроэнергию.

Основным способом механизированной добычи нефти при скважинной добыче нефти является использование скважинных электровинтовых насосов (ЭВН) с приводом от погружных электродвигателей (ПЭД).

Однако механизированная эксплуатация скважин является самым энергоемким из технологических процессов нефтедобычи. Хотя электродвигатели скважинных насосов и имеют небольшую мощность (от 5 до 250 кВт), большое количество скважин и рассредоточенность на огромных территориях делают их основными потребителями электроэнергии.

Среди получивших распространение способов скважинной добычи использование ЭВН является одним из самых энергозатратных. Таким образом, затраты на электроэнергию сейчас составляют значительную часть в себестоимости добываемой нефти, а во многих случаях и определяют рентабельность эксплуатации отдельных скважин и месторождений в целом.

На рисунке 1.1 приводится усредненная диаграмма потребления электроэнергии, из которой видно, что, несмотря на небольшие мощности, основными потребителями являются электроприводы скважинных насосов (56,7%) ввиду их многочисленности [10]. Из этих 56,7% большая часть приходится на скважинные установки ЭВН, так как именно они в настоящее время являются доминирующим способом нефтедобычи на отечественных месторождениях.

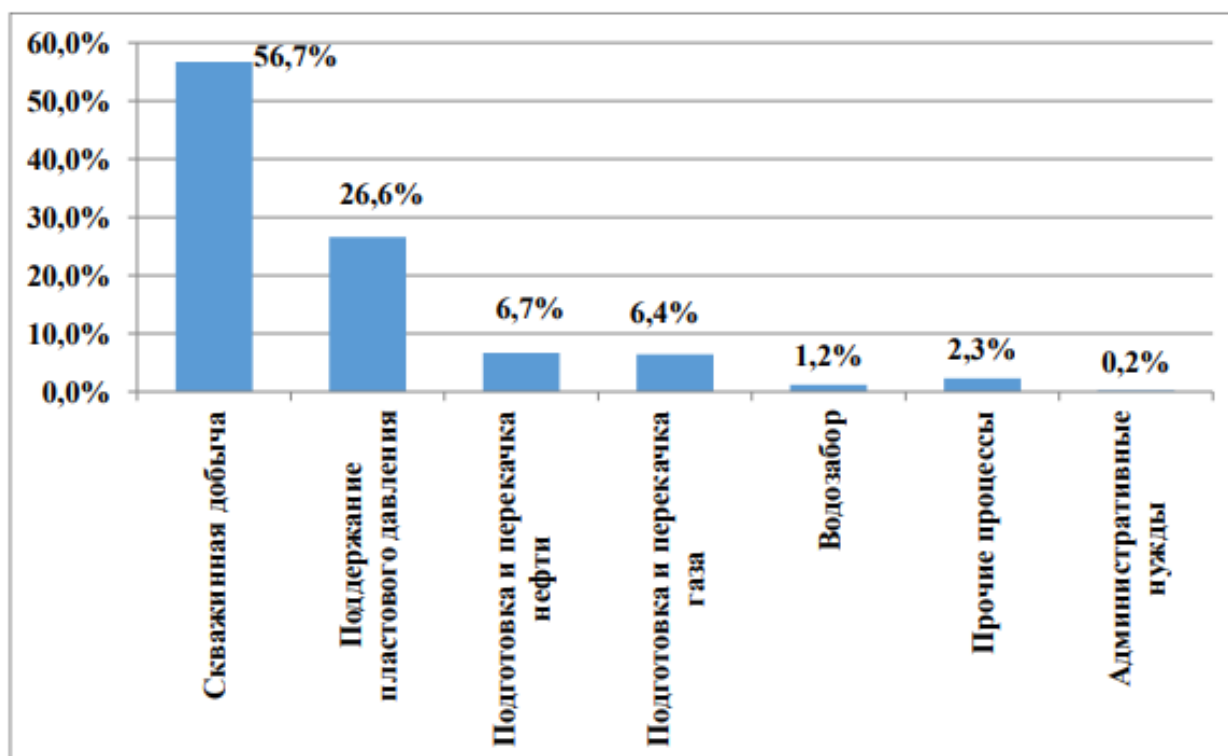


Рисунок 1.1 – Диаграмма потребления электроэнергии различными технологическими процессами на НГДП

Это доказывает целесообразность разработки энергосберегающих оптимизационных мероприятий именно для погружных электровинтовых насосов. Обеспечить наибольший эффект энергосбережения позволяют современные адаптивные системы управления электроприводами скважинных насосов, которые способны вести эксплуатацию в режимах максимальных КПД

насосов и электродвигателей, приводить отбор продукции в соответствие с притоком жидкости из пласта, исключить работу в аварийных условиях.

Теоретическая часть.

Электротехнический комплекс УЭВН включает в себя: источник питания (шины комплектно-трансформаторной подстанции (КТТП) 10/0,4 кВ); станцию управления, питающий трансформатор марки ТМПН, кабельную линию (КЛ), погружной асинхронный электродвигатель и внутрискважинный компенсатор реактивной мощности (рис. 1).

Питание кустов нефтяных скважин, оборудованных УЭВН, как правило, осуществляется по линии электропередач от понижающей подстанции 35/6 кВ до комплектных трансформаторных подстанций блочного модульного исполнения с трансформаторами марки ТМГ мощностью 630 кВА и 1000 кВА. По статистическим данным, полученным в ходе проектирования нефтедобывающих объектов, трансформаторы выбираются с большим запасом — коэффициент загрузки менее 50 %. Исходя из этого, трансформатор, установленный на КТП, незначительно влияет на характер процессов в системе и его можно рассматривать как идеальный источник, без потерь напряжения и мощности [20].

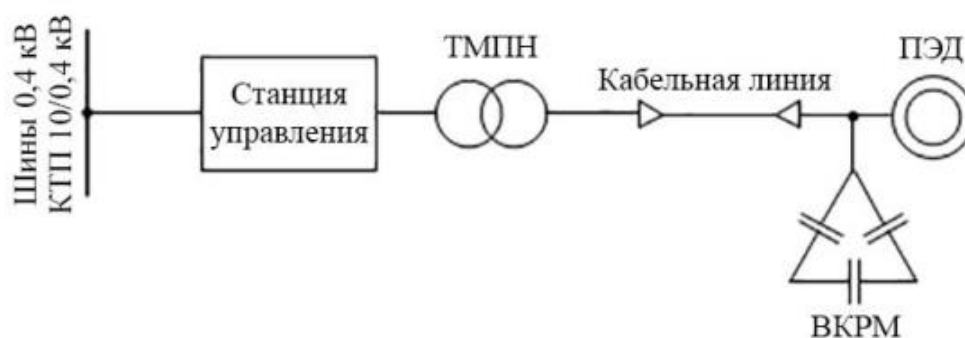


Рисунок 1 - Однолинейная схема электротехнического комплекса УЭВН

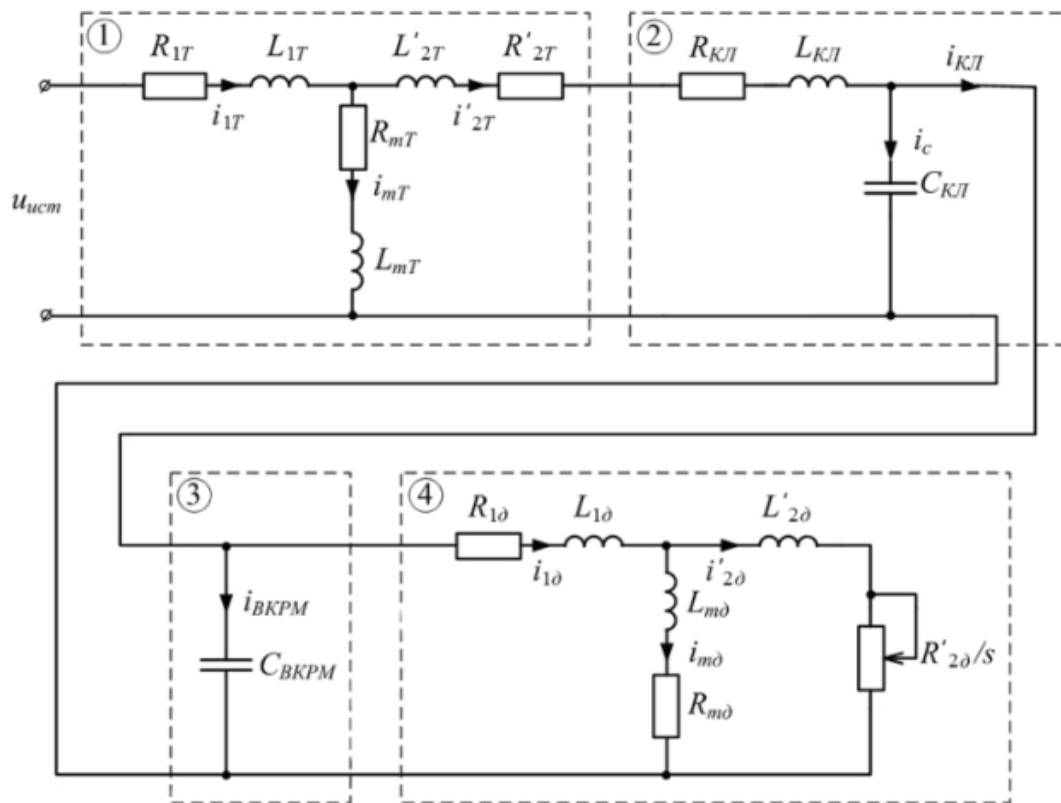


Рисунок 2 - Схема замещения ЭТК УЭВН

Коэффициент полезного действия современных станций управления УЭВН находится в пределах от 93 до 98 % и зависит от многих конструктивных параметров, например, наличие преобразователя частоты, входных и выходных фильтров [5].

В связи с незначительным влиянием станции управления и трансформатора, установленного на КТП, на энергетические показатели электротехнического комплекса УЭВН принято допущение, что данные элементы комплекса представляют в совокупности идеальный источник синусоидального напряжения без электрических потерь.

Разработанная схема замещения электротехнического комплекса УЭВН с учетом принятых допущений представлена на рис. 2, где 1 — питающий трансформатор; 2 — кабельная линия; 3 — внутрискважинный компенсатор реактивной мощности; 4 — погружной асинхронный электродвигатель; u, i — напряжение и ток соответствующих ветвей; R, L, C — активное сопротивление, индуктивность, емкость соответствующих элементов.

В общем случае активная мощность, потребляемая УЭВН, расходуется на подъем жидкости из скважины на поверхность и активные потери в элементах электротехнического комплекса. Потребляемую активную мощность можно определить следующим образом:

$$P = P_g + \sum \Delta P = P_g + \Delta P_T + \Delta P_{\text{КЛ}} + \Delta P_{g'}$$

Где P_g - активная мощность, потребляемая погружным электродвигателем, кВт; ΔP_T , $\Delta P_{\text{КЛ}}$, ΔP_g - потери активной мощности в трансформаторе, кабельной линии, погружном электродвигателе соответственно, кВт.

Потери в питающем трансформаторе.

Питающий трансформатор предназначен для поддержания номинального уровня напряжения на ПЭД, в котором за счет наличия ступеней регулирования обеспечивается необходимый коэффициент трансформации. Основные потери активной мощности складываются из потерь в обмотках трансформатора в «меди» — потери короткого замыкания и в магнитопроводе в «стали» — потери холостого хода. Так как ток холостого хода трансформаторов марки ТМПН составляет менее 2 % от номинального значения, а полное сопротивление ветви намагничивания на несколько порядков больше полных сопротивлений первичной и вторичной обмоток $Z_{\text{мТ}} > Z_{1\text{T}} \approx Z_{2\text{T}}$, то ветвь намагничивания можно исключить из схемы замещения трансформатора. Тогда эквивалентные активное и реактивное сопротивления питающего трансформатора определяются по выражениям:

$$R'_{\text{эКТ}} = R_{1\text{T}} + R'_{2\text{T}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot U_{\text{ВН.НОМ}}^2 \cdot 10^3}{S_{\text{НОМ}}^2};$$

$$X'_{\text{эКТ}} = X_{1\text{T}} + X'_{2\text{T}} = \frac{u_{\text{к}} \% \cdot U_{\text{ВН.НОМ}}^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}},$$

где $\Delta P_{\text{к}}$ — потери короткого замыкания, кВт; $U_{\text{ВН.НОМ}}$ — номинальное напряжение высшей ступени трансформатора, кВ; $S_{\text{НОМ}}$ — полная мощность трансформатора, кВА; $u_{\text{к}}\%$ — напряжение короткого замыкания, %.

Потери активной мощности в питающем трансформаторе определяются по

$$\Delta P_T = 3 \cdot (i_{1\text{T}}^2 \cdot R_{1\text{T}} + i_{2\text{T}}^2 \cdot R'_{2\text{T}}).$$

Потери в кабельной линии. Кабельная линия предназначена для передачи электрической энергии от питающего трансформатора к погружному асинхронному электродвигателю. Кабельная линия состоит из основного питающего кабеля и соединенного с ним кабеля-удлинителя.

Активное и реактивное сопротивления токопроводящих жил кабелей определяются по выражениям:

$$R_{к\lambda} = 10^3 \cdot \rho \cdot \left(\frac{l_1}{S_1} + \frac{l_2}{S_2} \right) \cdot [1 + 0,004 \cdot (T - 20)]$$

$$x_{к\lambda} = x_0 \cdot (l_1 + l_2),$$

где ρ - удельное сопротивление проводника при 20 °С, Ом·мм² /м; l_1, l_2 — длина основного кабеля и кабеля-удлинителя соответственно, км; S_1, S_2 — сечение токопроводящей жилы основного кабеля и кабеля-удлинителя соответственно, мм² ; T — температура токопроводящих жил кабелей, °С; x_0 — погонное индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом/км. За расчетную температуру токопроводящих жил кабелей принимается температура наиболее нагретого участка кабельной линии. Если сечение токопроводящих жил основного кабеля и кабеля-удлинителя отличаются не более чем на один порядок (например, 16 и 10 мм²), то активное сопротивление жилы кабельной линии рассчитывается как для основного кабеля [5].

Ввиду того что погонная емкость используемого при обустройстве нефтяных скважин кабеля марки КПБП составляет 0,1 мкФ/км, а емкостное сопротивление на основной частоте 50 Гц равно 31,847 кОм/км и на порядок выше активного и индуктивного сопротивления, то ее можно не учитывать при расчетах. Принятое допущение не сильно повлияет точность определения потребляемой активной мощности ЭТК УЭВН.

Тогда потери активной мощности в кабельной линии определяются по выражению:

$$\Delta P_{к\lambda} = 3 \cdot i_{1к\lambda}^2 \cdot R_{к\lambda}.$$

Потери в погружном асинхронном электродвигателе. Погружные асинхронные электродвигатели предназначены для передачи энергии электровинтным насосам, регулирования их подачи и напора. Максимальная энергоэффективность эксплуатации данных электродвигателей достигается при номинальной выходной мощности на валу ПЭД в диапазоне от 65 до 95 % [5]. Снижение нагрузки ПЭД до 50 % от номинала приводит к снижению коэффициента полезного действия на 3–5 % и к резкому снижению коэффициента мощности с 0,92 до 0,45, что увеличивает реактивные потери в ЭТК УЭВН.

Для определения параметров электрической схемы погружного асинхронного электродвигателя произведем замену схемы замещения электродвигателя (рис. 2), эквивалентным сопротивлением Z_g , отражающим диапазон номинальных мощностей электродвигателей от 16 до 100 кВт, с учетом электрических и механических потерь.

Тогда полная потребляемая мощность равна:

$$S_g = \frac{P_{г.ном}}{\cos \phi_g \cdot \eta_g},$$

Где $P_{д.ном}$ – номинальная мощность ПЭД, кВт; $\cos \phi_d$ - коэффициент мощности ПЭД; η_d – коэффициент полезного действия ПЭД.

Эквивалентное сопротивление:

$$Z_g = \frac{10^3 \cdot m \cdot U_{г.ном}^2}{S_g},$$

Где $U_{г.ном}$ – номинальное напряжение ПЭД, кВ; m – число фаз, $m=3$.

Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности.

Внутрискважинные компенсаторы реактивной мощности предназначены для поддержания высокого коэффициента мощности сети на уровне 0,95–0,98 в точке подключения — на зажимах ПЭД.

Анализ энергетических параметров работы УЭВН показал, что среднее значение коэффициента мощности погружных асинхронных электродвигателей составляет 0,735. Данное

обстоятельство связано с тем, что средний коэффициент загрузки ПЭД составляет 0,65. Поэтому для расчета необходимой мощности внутрискважинного компенсатора коэффициент мощности ПЭД принимается $\cos\phi_g=0,735$.

Тогда необходимую мощность внутрискважинного компенсатора предлагается определять по выражению:

$$Q_{ВКРМ} = P_{г.ном} \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_c} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_g} - 1} \right) =$$

$$= P_{г.ном} \left(\sqrt{\frac{1}{0,95^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{0,735^2} - 1} \right) = -0,59 \cdot P_{г.ном} .$$

Реактивное емкостное сопротивление ВКРМ определяется по выражению:

$$X_{ВКРМ} = \frac{10^3 \cdot U_{ВКРМ}^2}{Q_{ВКРМ}},$$

Где $U_{ВКРМ}$ - напряжение на ВКРМ, кВ.

Схема замещения для расчета потребляемой электрической мощности ЭТК УЭВН с учетом принятых допущений приведена на рис. 3.

Предлагается показатель энергоэффективности при использовании внутрискважинных компенсаторов определить как:

$$\mathcal{E}_p = 1 - \frac{P_{нов}}{P_{план}},$$

Где $P_{план}$, $P_{нов}$ — активные плановая и полученная мощность соответственно, кВт.

Результаты эксперимента.

Исследуемый электротехнический комплекс УЭВН оснащен трансформатором ТМПН-160/3, паспортные данные которого приведены в табл.1.

Приведенные эквивалентные значения активных и реактивных сопротивлений питающего трансформатора к номинальному напряжению ПЭД 1,25 кВ, согласно выражениям (2) и (3), равны

$$R'_{экт} = \frac{2,65 \cdot 1,25^2 \cdot 10^3}{160^2} = 0,162 \text{ (Ом)},$$

$$X'_{экт} = \frac{5,5 \cdot 1,25^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 160} = 0,537 \text{ (Ом)}.$$

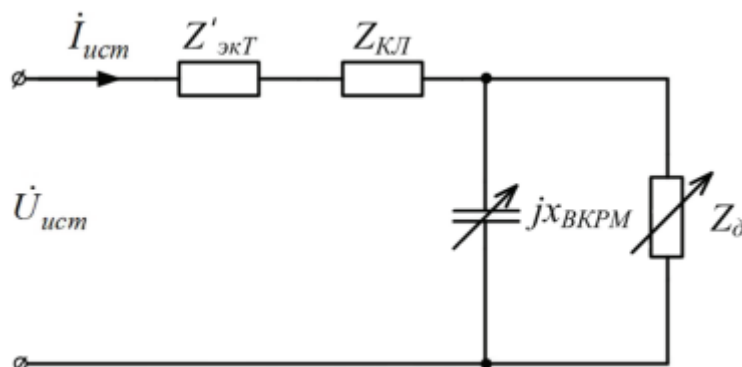


Рисунок 3 - Расчетная схема замещения ЭТК УЭВН

Таблица 1 - Основные технические характеристики трансформатора ТМПН-160/3

Мощность, кВА	Сочетание напряжений, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение к.з., %	Ток холостого хода, %
	ВН	СН		холостого хода	короткого замыкания		
160	1,25	0,4	Ун/У-0	0,44	2,65	5,5	1,7

Таблица 2 - Расчетные параметры кабельной линии

Длина кабеля, м	Удельное сопротивление проводника при 20 °С, Ом×мм ² /м	Погонное индуктивное сопротивление проводника при 50 Гц, Ом/км	Активное сопротивление токопроводящей жилы при 70 °С, Ом				Реактивное сопротивление проводника, Ом
			S _{жл} = 16 мм ²	S _{жл} = 21,5 мм ²	S _{жл} = 25 мм ²	S _{жл} = 35 мм ²	
1000	0,0172	0,0757	1,290	0,959	0,826	0,590	0,076
1500	0,0172	0,0757	1,935	1,440	1,238	0,885	0,114
2000	0,0172	0,0757	2,581	1,920	1,651	1,179	0,151
2500	0,0172	0,0757	3,225	2,400	2,064	1,474	0,189
3000	0,0172	0,0757	3,870	2,880	2,477	1,769	0,227
3500	0,0172	0,0757	4,515	3,360	2,890	2,064	0,265

В связи с увеличением доли трудноизвлекаемых запасов углеводородов в настоящее время длина кабельных линий, питающих УЭВН, может достигать 3500 м, а температуры пластовых жидкостей — до 150 °С. Для построения семейства характеристик, отображающих потери активной мощности в токопроводящих жилах кабелей, в зависимости от выбранной номинальной мощности электродвигателя, зададимся несколькими значениями сечений и длин кабельных линий. В качестве питающего кабеля выбран кабель марки КПБП с медными жилами. Исходные данные для исследования и результаты расчетов сопротивлений кабельных линий представлены в табл. 2. На рис.4 представлены графики функций энергоэффективности при использовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности в зависимости от мощности ПЭД с учетом потерь активной мощности в питающем трансформаторе и кабельной линии.

Величина коэффициента реактивной мощности погружного электродвигателя принята $\text{tg}\phi_{\text{д}} = 0,923$ при требуемом коэффициенте реактивной мощности сети в точке подключения ВКРМ $\text{tg}\phi_{\text{с}} = 0,33$. Выбор мощности компенсирующего устройства производился с учетом задания необходимых компенсационных токов в соответствии с выражением (10).

Анализ графиков (рис. 4) показал, что расчетное значение энергоэффективности $\mathcal{E}_{\text{р}}$ при использовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности варьируется от 0,6 до 15,8 % в зависимости от мощности погружного электродвигателя, длины и сечения кабельной линии. Установлено, что с увеличением длины питающего кабеля расчетное значение энергоэффективности возрастает и, наоборот, с увеличением сечения кабельной линии значение энергоэффективности снижается при той же мощности ПЭД и длине кабельной линии. Например, для УЭВН, оснащенной погружным электродвигателем мощностью 60 кВт и внутрискважинным компенсатором мощностью 35,4 квар снижение потерь активной мощности в кабельной линией длиной 2000 м сечением токопроводящей жилы 16 мм² составило 5,3 кВт, а энергоэффективность составила 7,4 %.

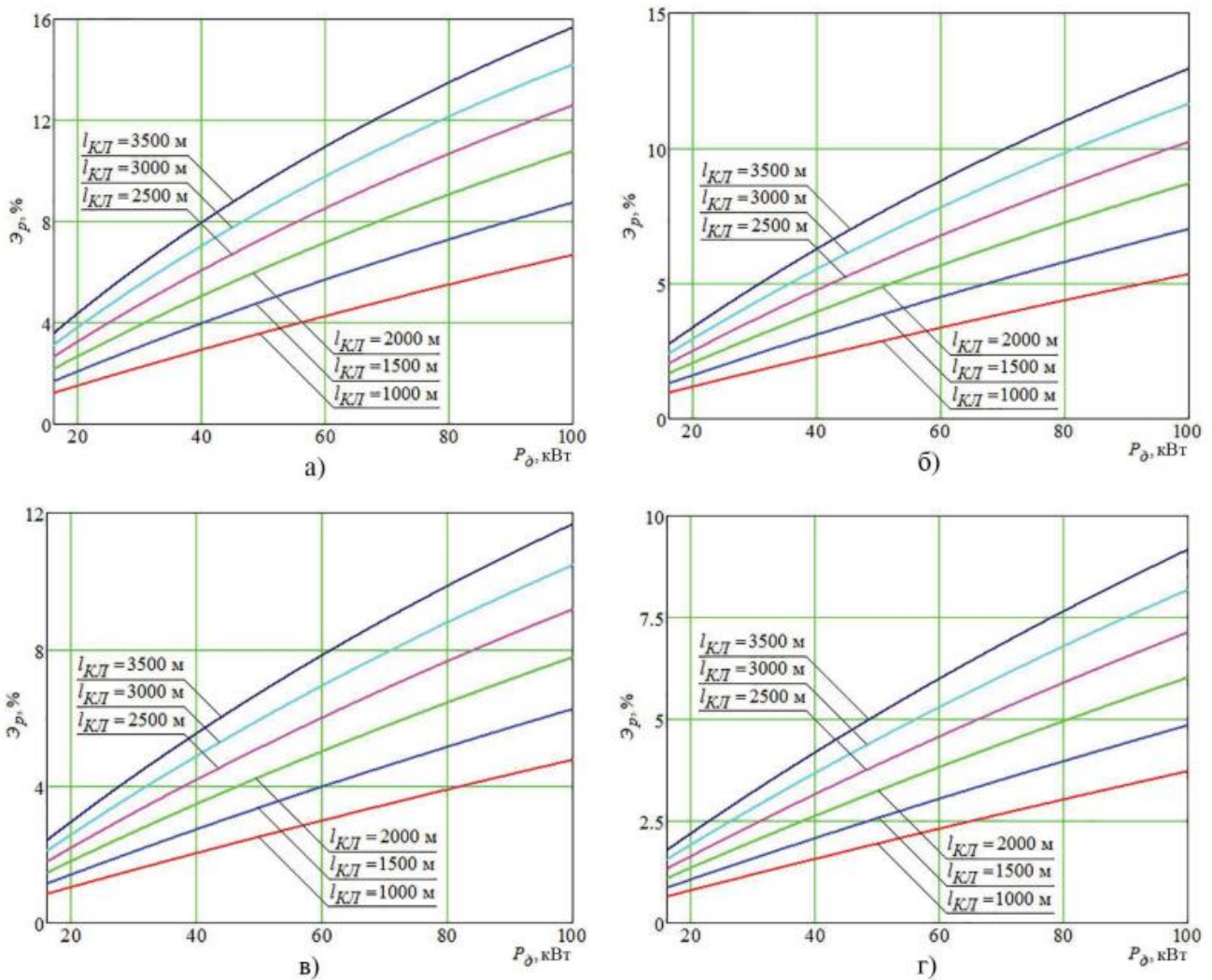


Рисунок 4 - Графики функций энергоэффективности \mathcal{E}_p

Выводы. Использование технологии внутрискважинной компенсации реактивной мощности, с точки зрения повышения энергоэффективности механизированной добычи нефти установками электровинтовых насосов, является целесообразным. Расчетный показатель энергоэффективности \mathcal{E}_p при внутрискважинной компенсации реактивной мощности варьируется от 0,6 до 15,8 % в зависимости от мощности погружного электродвигателя, длины и сечения кабельной линии

Библиографический список:

1. Абрамович, Б. Н. Электроснабжение нефтегазовых предприятий: Учебное пособие / Б. Н. Абрамович, Ю. А. Сычев, Д. В. Устинов. – СПб.: СанктПетербургский государственный горный институт, 2008. – 81 с.
2. Абрамович, Б. Н. Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов / Б. Н. Абрамович // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 9. – С. 104-106.
3. Ануфриев, С. Н. Опыт эксплуатации УЭЦН в условиях повышенного содержания мехпримесей / С. Н. Ануфриев, С. В. Погорелов // Производственнотехнический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». – 2010. – № 2. – С. 66-72.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 12-е изд., исправ. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2016. – 701 с.
5. Боловин, Е. В. Метод идентификации параметров погружных асинхронных электродвигателей установок электроприводных центробежных насосов для добычи нефти / Е. В. Боловин, А. С. Глазырин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 1. – С. 123-131.

6. Букреев, В. Г. Стратегия управления электротехническим комплексом механизированной добычи нефти на основе экономического критерия / В. Г. Букреев, Н. Ю. Сипайлова, В. А. Сипайлов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 3. – С. 75-84

УДК 681.518

Применение резистивного датчика в системах учета воды

Лиджиев Б. С., Мучкинова Л. И., Отев К. С.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Одной из наиболее эффективных процедур стимулирования водосбережения является индивидуальное измерение. Кроме того, использование интеллектуальных счетчиков в бытовом и коммерческом секторе водопотребления модернизировало и усложнило сбор данных. Этот интеллектуальный учет остается на ранней стадии развития по сравнению с его использованием в других секторах (например, в энергетике и нефтеиндустрии). Принимая во внимание масштаб водного сектора, необходимо, чтобы дополнительные исследования способствовали развитию технологий счетчиков воды.

Датчик изгиба (рис. 1) состоит из одного тонкого слоя, состоящего из пластиковой подложки, покрытой резистивным материалом (краска на основе углерода/полимера), который меняет свою электропроводность при изгибе [1]. На практике изменение сопротивления датчика зависит от радиуса кривизны или углового отклонения датчика. В первом случае чем меньше радиус кривизны, тем сильнее изменяется сопротивление. Во втором случае чем больше угловой прогиб, тем больше изменение сопротивления.

На рис. 1 показаны два примера резистивных датчиков длиной 56 мм с различными покрытиями (рис. 1а с полиэфирным покрытием и рис. 1б с полиимидным), оба из которых были рассмотрены в данной работе. В последние годы тонкопленочные резистивные датчики привлекают внимание исследователей для различных применений в самых различных областях. Одной из малоизученных областей применения гибких датчиков является измерение расхода. Будучи легкими, прочными и недорогими, такие датчики легко адаптируются к гидравлическим системам автономных объектов (жилых, коммерческих или смешанных). Некоторые исследования уже показали осуществимость такого типа применения, например, [2], где авторы сообщили о способе контроля потока воды в трубопроводах с помощью гибкой резистивной пленки.



А – датчик изгиба из полиэстера, Б – полиимидный датчик изгиба

Рисунок 1 – 56 мм датчики сопротивления изгибу

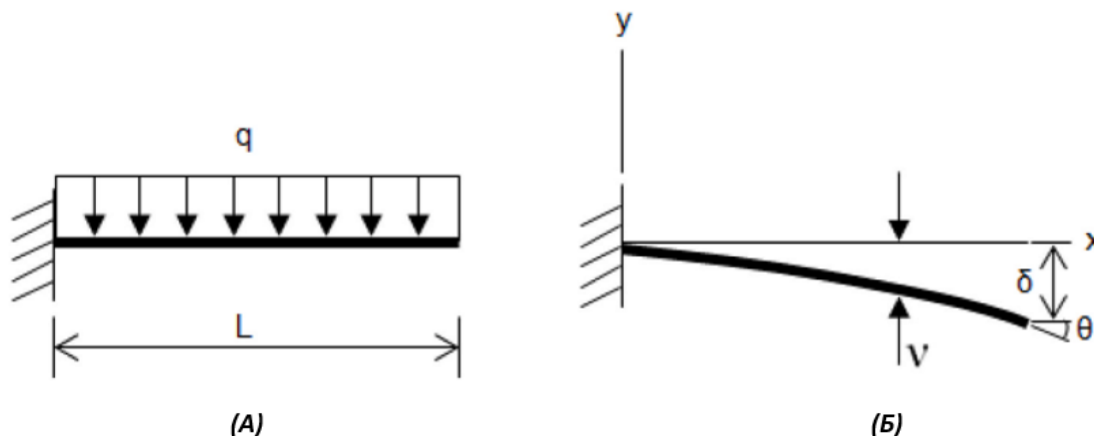
Рассматривая консольную балку, на которую действует равномерно распределенная нагрузка q , как показано на рис. 2а, прогиб v представляет собой смещение любой точки на оси балки в направлении оси y (рис. 2б). Когда балка изгибается, сгибание и вращение происходят в каждой точке вдоль балки. Угол поворота θ оси луча представляет собой угол между осью x и

касательной к кривой отклонения [3]. Максимальный прогиб δ и максимальный угол поворота θ приходятся на свободный конец балки (рис. 2б), а θ можно рассчитать, используя выражение:

$$\Theta = \frac{qL^3}{6EI} \quad (1)$$

где L — длина балки;

EI — изгибная жесткость, определяемая выражением произведение модуля упругости E материала балки на момент инерции I .



А – консольная балка, подвергнутая равномерной нагрузке; Б – прогиб консольной балки

Рисунок 2 – Прогиб датчика

Объект, погруженный в жидкость, испытывает результирующую силу от касательных напряжений и перепадов давления, создаваемых движением жидкости. Сила сопротивления F_A является составляющей этой равнодействующей силы в направлении потока и рассчитывается по:

$$F_A = \frac{C_D \rho v^2 A}{2} \quad (2)$$

где C_D — коэффициент сопротивления;

ρ — массовая плотность жидкости;

v — скорость потока;

A — площадь объекта, перпендикулярная потоку.

Всякий раз, когда тела имеют заостренные концы, они вызывают отрыв потока жидкости в острых углах, а коэффициент сопротивления зависит только от геометрии для чисел Рейнольдса Re больше 10^3 . В работе число Рейнольдса было рассчитано для различных скоростей, и все были больше 10^3 . Таким образом, на основании [2] и размеров датчика изгиба был определен коэффициент сопротивления $C_D = 2,05$.

Приращение относительного сопротивления датчика изгиба, согласно Сюй и соавт. [2], относительное приращение сопротивления гибкого резистивного датчика пропорционально связано с его углом отклонения, и вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K\Theta \quad (3)$$

где R_0 — номинальное сопротивление датчика изгиба (без приложения силы);

ΔR — разница между сопротивлением датчика изгиба и номинальным сопротивлением;

K — коэффициент отклонения;

Θ — угол отклонения.

Объектом исследования выступили два датчика изгиба фирмы Flexpoint. Оба используемых датчика имели длину 56,00 мм, ширину 8,00 мм и толщину 0,13 мм, но с

разными покрытиями — один из полиэстера, а другой из полиимида. В ходе работы была обнаружена корреляция между сопротивлением датчика изгиба и скоростью потока. Датчик считался аналогом консольной балки, на которую действует равномерно распределенная нагрузка q , как показано на рис. 2а. В этом случае нагрузка представляет собой результат силы сопротивления, испытываемой датчиком, погруженным в проточную воду, деленную на длину датчика. Тогда, объединяя (1) и (2), максимальный угол отклонения определяется выражением:

$$\Theta = \frac{C_D \rho v^2 A}{2L} \cdot \frac{L^3}{6EI} \quad (4)$$

Чтобы получить связь между относительным изменением сопротивления датчика изгиба и скоростью потока, (4) было заменено в (3), тогда:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{C_D \rho v^2 A}{2L} \cdot \frac{L^3}{6EI} \quad (5)$$

Упростив выражение получаем:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K' v^2 \quad (6)$$

где K' – скорректированный коэффициент отклонения, определяемый выражением:

$$K' = K \frac{C_D \rho A L^2}{12EI} \quad (7)$$

Скорректированный коэффициент был получен с помощью MS Excel из линейной регрессии между приращением относительного сопротивления и квадратом скорости потока.

Для того чтобы связать сопротивление датчика изгиба с углом поворота, был проведен упрощенный характеристический тест. Построен испытательный стенд, состоящий из датчика изгиба Flexpoint, цифрового мультиметра Pro HD DT-9205A, компонента подвижной части для изгиба датчика изгиба, фиксированной опоры для удержания датчика и направления компонента подвижной части и транспортира для измерения угла кривизны датчика.

После проверки связи между средним сопротивлением датчика изгиба и его кривизной были найдены необходимые параметры для корреляции сопротивления датчика изгиба со скоростью течения воды в трубе. Относительное изменение сопротивления датчика изгиба из выражения (6) было рассчитано непосредственно из значений характеристического теста, а квадрат скорости был рассчитан путем выделения переменной v^2 из выражения (4). Таким образом, уравнение для скорости было получено в зависимости от параметров потока и датчика:

$$v^2 = \frac{12EI\Theta}{C_D \rho A L^2} \quad (8)$$

Таким образом, работе получена математическая модель, описывающая зависимость сопротивление датчика изгиба от скорости потока воды в трубопроводе. В качестве предложения для будущей работы ожидается компьютерное моделирование резистивного датчика изгиба с использованием программного обеспечения ANSYS SpaceClaim, а также стендовые исследования на участке гидравлических испытаний, чтобы экспериментально продемонстрировать его возможности для измерения расхода воды в автономных установках.

Библиографический список:

1. Волков, Ю. В. Датчики для измерений при производстве электрической и тепловой энергии: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2019. – 89 с.: ил. 64.
2. Суй и др., На пути к мониторингу скорости потока воды с высоким разрешением с использованием плоской гибкой тонкой чувствительной сенсорной пленки (MRSF) миллиметрового размера, Water Res. X4, 2019.
3. Дж. Фрайден, Современные датчики: справочник / Техносфера, Москва, 2005. – 592 с.

Исследование влияния потребителей, формирующие гармоники напряжения, на электрическую систему

Логинов М. А.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Новейшие электротехнические комплексы нефтегазодобывающих предприятий характеризуются существенным распределением нелинейной нагрузки (НН) в виде систем частотно-регулируемого электропривода технологических комплексов предприятия. По части несинусоидальности напряжения и тока это негативно сказывается на уровне качества электроэнергии, что создает дополнительные потери энергии. Так присутствие высших гармоник приводит к дополнительным потерям в электрических машинах (асинхронных электродвигателях). Такие потери составляют около 20

% от общих потерь электроэнергии предприятия.

На погрешность электроизмерительных приборов непосредственно оказывают влияние гармоник напряжения (тока). Действительно, при эксплуатации счетчиков нередко возникают погрешности измерения активной и реактивной электроэнергии. При несинусоидальных токах и напряжениях счетчики электроэнергии имеют значительную погрешность, достигающую 12- 15 % [1].

В настоящее время применение гибридных фильтрокомпенсирующих устройств является целесообразным. ГФУ состоит из активных и пассивных фильтров и сочетает в себе достоинств как пассивных, так и активных фильтров:

1. Снижение установленной мощности силовой части активного фильтра, который является наиболее дорогим элементом ГФУ, следовательно, уменьшение массы и габаритов, а так же стоимости ГФУ.

2. В сравнении с одиночными пассивными фильтрами ГФУ обладают повышенной эффективностью компенсации уровня ВГС при изменении параметров и режимов функционирования нелинейной нагрузки.

3. Наличие активного фильтра позволяет снизить появление резонансных явлений.

4. При изменении параметров нелинейной нагрузки происходит адаптация активной части, обеспечивающая эффективную компенсацию ВГС.

5. ГФУ может использоваться в системах электроснабжения с установленными пассивными фильтрами. Здесь активный фильтр производит управление характеристиками пассивных устройств [2].

Способы компенсации ВГС исходя из вида активной части:

1. При помощи управляемого источника тока происходит компенсация ВГС (параллельная компенсация).

2. При помощи управляемого источника напряжения компенсация ВГС происходит за счет применения последовательного активного фильтра, на характер потребления высших гармоник нелинейной нагрузкой (последовательная компенсация) [3].

Выражение ниже описывает математическую модель гибридного ФКУ:

$$u_c(t) \square \square u_c(t) \square u_m(t) \square \square u(t) \square u(t).$$

Фазовые преобразования и фазовая синхронизация основных параметров производит управление системы активной частью (параллельно – активный фильтр) гибридного ФКУ [4].

На основании полученных токов возникают импульсы управления силовыми ключами инвертора активного фильтра. Токи дают информацию о наличии высших гармоник тока. Параллельный активный фильтр в составе гибридного ФКУ компенсирует эти токи.

Принцип работы большинства гибридных ФКУ заключается в осуществлении и создании автономными инверторами токов (напряжений), изменяющие частотные параметры фильтра для повышения эффективности компенсации ВГС в СЭС. Автономные инверторы реализуются на управляемых преобразователях постоянного и переменного тока с импульсной

модуляцией. На практике гибридные ФКУ, в которых активная часть соединяется параллельно пассивной части используются чаще всего.

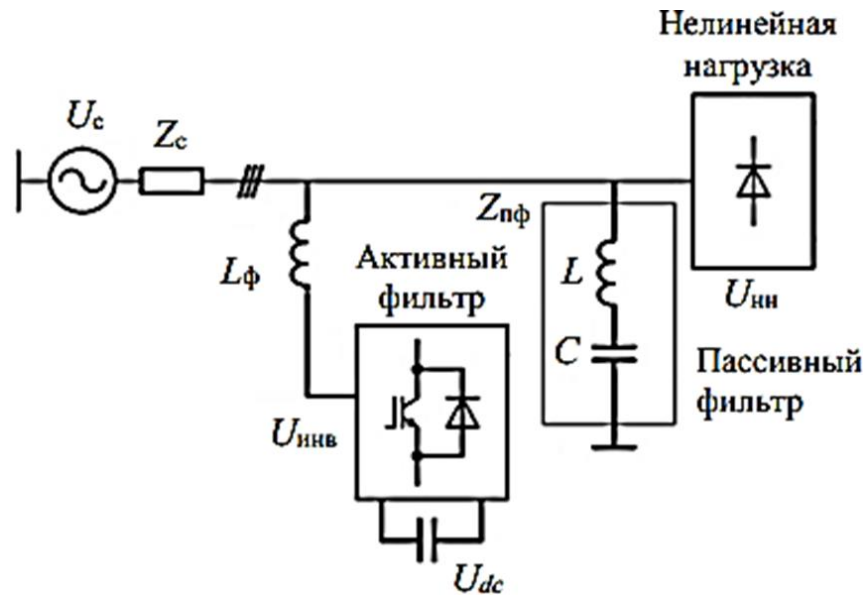


Рисунок 2 – Структура гибридного ФКУ

Была разработана компьютерная имитационная модель гибридного ФКУ в программе Simulink Matlab (рисунок 3). В данной модели учитывались параметры и характеристики системы электроснабжения промышленного предприятия.

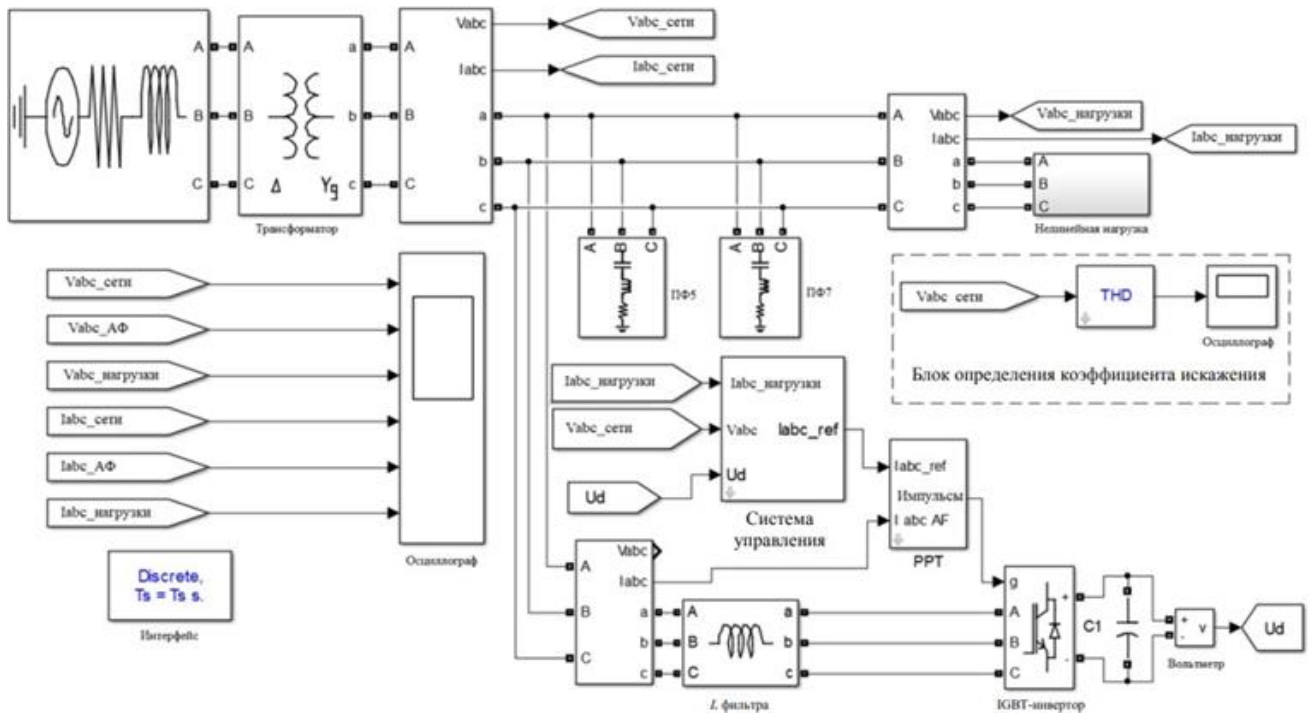


Рисунок 3 – Имитационная модель системы электроснабжения с гибридным ФКУ

При выполнении моделирования в программной среде Simulink Matlab были получены степени снижения коэффициентов, характеризующие наличие высших гармоник в сети до и после применения гибридного ФКУ.

Степень снижения определяется по формулам:

$$\Delta THD_{U(1)} = \frac{THD_{U(1)} - THD_{U(2)}}{THD_{U(1)}} \cdot 100\%.$$

где, THD_{U1} , THD_H - коэффициенты до применения ФКУ; THD_{U2} , THD_{I2} - коэффициенты после применения ФКУ.

При сравнении трёх вариантов математических моделей гибридных ФКУ, был выбран самый оптимальный для для компрессорной станции. Структура такого устройства состоит из параллельного активного и пассивного фильтров, которые соединены в параллель.

По результатам экономического расчёта удалось получить экономический эффект от внедрения гибридных фильтрокомпенсирующих установок на производственный объект. Срок окупаемости гибридного ФКУ приблизительно 5 лет.

Библиографический список:

1. Моделирование влияния величины нелинейной нагрузки на качество электроэнергии промышленных электротехнических систем / М. С. Ершов, М. Ю. Чернев, П. Ю. Барбасов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017.
2. Зимин, Роман Юрьевич Повышение качества электроэнергии в электротехнических комплексах предприятий нефтедобычи гибридными фильтрокомпенсирующими устройствами : Санкт-Петербург 2020
3. Руди Д. Ю., Антонов А. И., Вишнягов М. Г., Горелов С. В., Зубанов Д. А., Руппель А. А., Руппель Е. Ю. Исследование высших гармоник в электрических сетях низкого напряжения // Омский научный вестник. 2018.
4. Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети [Текст] : пат. 198721 Рос. Федерация : МПК H02J 3/01 23.07.2020.

УДК 621.314

Разработка системы векторного бездатчикового управления асинхронным двигателем на базе рекуррентной нейросети

Митрофанов Н. А.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

На сегодняшний день системы векторного бездатчикового управления (СВБУ) получают все большее распространение среди регулируемых асинхронных электроприводов промышленного оборудования. Целесообразность применения СВБУ вместо датчиковых систем определяется исходя из предъявляемых требований регулирования, среды эксплуатации, вида регулируемого электропривода.

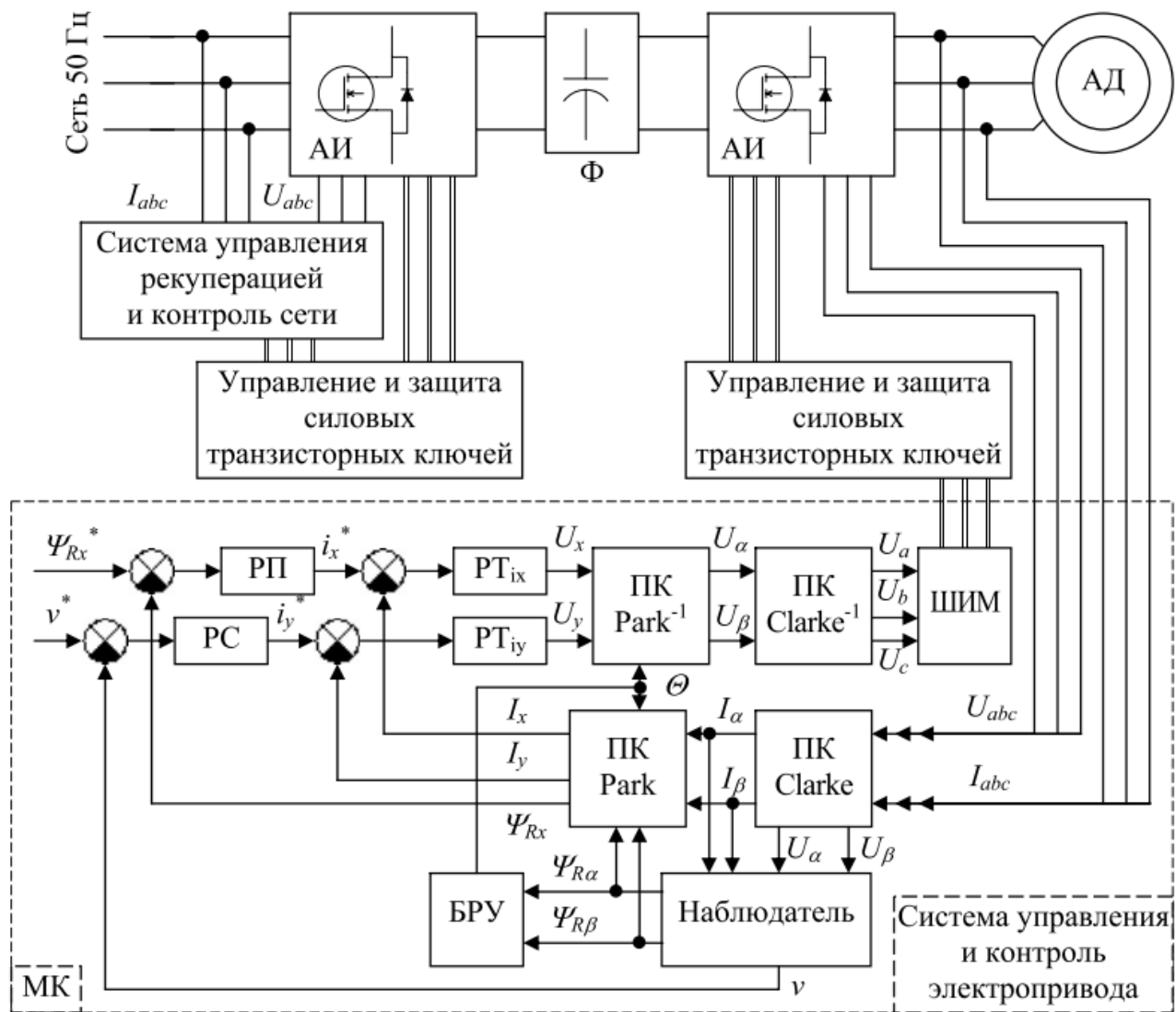
СВБУ АД строится в системе координат, ориентированной по вектору потокосцепления ротора, по принципу подчиненного регулирования проекций тока с независимым регулированием потокосцепления ротора и скорости вращения ротора асинхронного двигателя. В общем случае СВБУ асинхронным двигателем имеет вид, представленный на рисунке 1.

Основным звеном в системе СВБУ, отличающим бездатчиковые системы от систем с датчиком, является наблюдатель, который производит оценку потокосцеплений и угловой скорости (угла поворота вала) АД на основе сигналов напряжений и тока, поступающих с соответствующих датчиков, регистрирующих значения электрических величин статорных обмоток.

За последние 10 лет значительно возрос интерес научного общества к использованию нейросетевых структур в электроприводе. В частности, в работах [1, 2, 3] представлены разработки СВБУ асинхронными двигателями на основе нейросетевых наблюдателей потокосцепления и скорости. Анализируя представленные публикации были отмечены следующие недостатки, характерные для направления развития нейросетей как объекта СВБУ:

- относительно высокая ошибка регулирования как в статических, так и в динамических режимах работы; [4]
- низкая точность на околонулевых скоростях;
- низкая надежность вследствие наличия переключающих структур.

Учитывая вышеуказанные недостатки, возникла необходимость в разработке СВБУ с нейросетевым наблюдателем, отвечающим возложенным на него требованиям.



Ф – фильтр звена постоянного тока; РП – регулятор потокосцепления; РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; ПК – преобразователь координат; ШИМ – широтно-импульсный модулятор; БРУ – блок расчета угла поворота системы координат

Рисунок 1 – Структурная схема СВБУ асинхронным двигателем

За основу разрабатываемой СВБУ была взята модель СВУ асинхронным двигателем в двухфазной системе координат. Наличие СВУ позволило снять тренировочные данные, необходимые для обучения нейросетевого наблюдателя. В качестве нейросетевого наблюдателя была выбрана нейросеть на основе модели нелинейной авторегрессии с экзогенными входами (Nonlinear Autoregressive with Exogenous inputs – NARX).

Уравнение, описывающее динамику структуры NARX выглядит следующим образом:

$$y(k+1) = \varphi \{ u(k), u(k-1), \dots, u(k-d_u), y(k), y(k-1), \dots, y(k-d_y) \}.$$

Применение обратных связей в структуре нейросети делает возможным ее описание в виде множества состояний, что позволяет использовать структуры NARX в моделировании и нелинейной идентификации.

Тренировка нейросети производилась методом Байесовской регуляризации. Структурная схема полученного нейросетевого наблюдателя отображена на рисунке 2.

Для подтверждения эффективности разработанного наблюдателя было произведено имитационное моделирование СВБУ в MATLAB. Имитационная модель СВБУ с нейросетевым наблюдателем изображена на рисунке 3

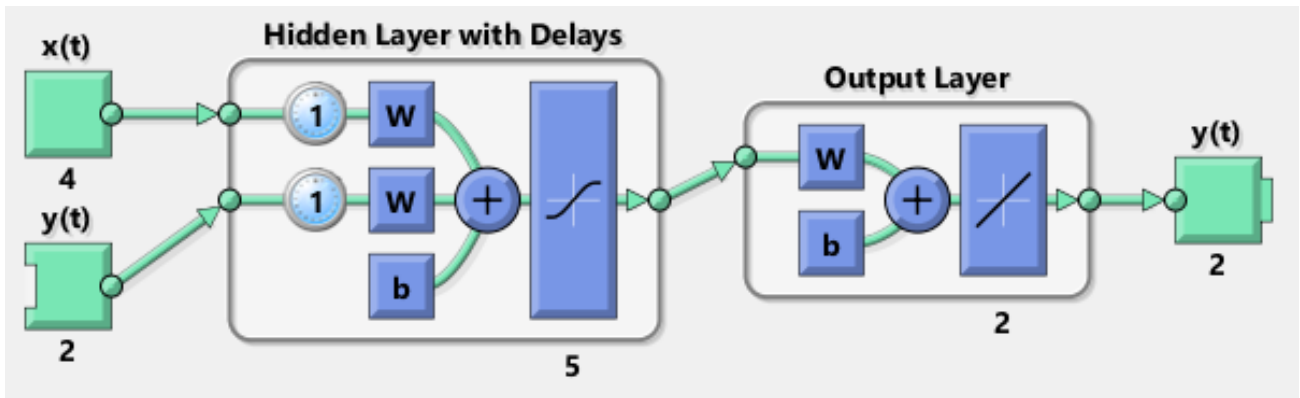


Рисунок 2 – Структурная схема нейросетевого наблюдателя

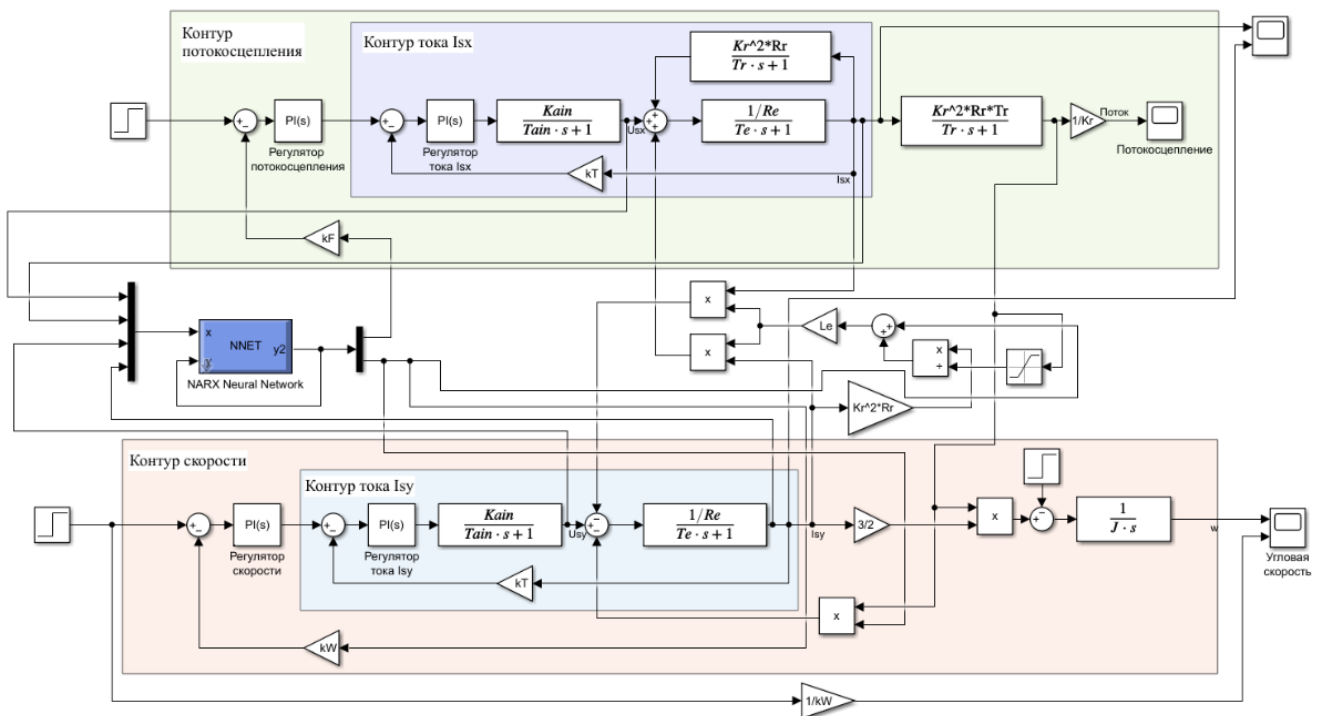


Рисунок 3 – Структурная схема СВБУ с нейросетевым наблюдателем

Результатом моделирования стали переходные характеристики по угловой скорости с набросом нагрузки (Рисунок 4).

Исходя из полученных результатов, разработанная система успешно обрабатывает задающие и возмущающие воздействия. Также установившаяся ошибка по угловой скорости находится в диапазоне 10%, что является допустимым для большинства бездатчиковых электроприводов.

В сравнении с СВУ разработанная система обладает большим перерегулированием и колебанием значением угловой скорости. Эти явления объясняются расхождением между фактической и прогнозируемой угловой скоростью, что говорит о неточном предсказывании нейросетевым наблюдателем угловой скорости.

В качестве дальнейшей разработки по этому направлению целесообразно исследовать зависимость количества нейронов в скрытом слое и слое обратной связи. В процессе разработки была предпринята попытка исследования, после которой были сделаны выводы о невозможности моделирования серии экспериментов вследствие технических ограничений вычислительного оборудования, используемого для построения модели.

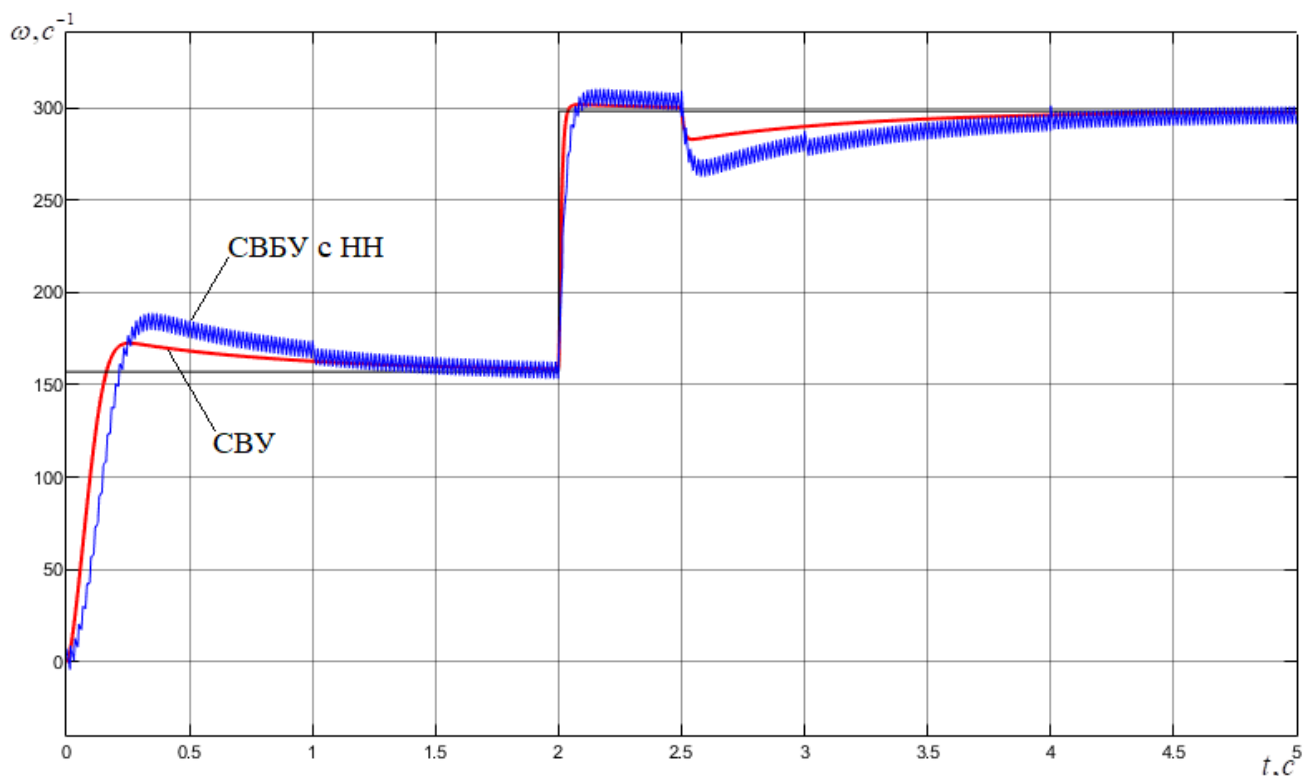


Рисунок 4 – Результаты моделирования разработанной СВБУ

Библиографический список:

1. Исаков, А. С. Адаптивный наблюдатель состояний асинхронного двигателя в бездатчиковой системе векторного управления / А. С. Исаков. — Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. — 2008. — № 47. — С. 126-131.
2. Краснов, Д. В. Управление механическими объектами с бездатчиковыми электроприводами / Д. В. Краснов // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. — 2019. — С. 220-225.
3. Шеломкова, Л. В. Система векторного бездатчикового управления асинхронным двигателем с переключаемой структурой / Л. В. Шеломкова, Д. И. Алямкин. — Текст : непосредственный // Электричество. — 2008. — № 5. — С. 30-35.
4. Митрофанов Н.А. Перспективы развития систем векторного бездатчикового управления асинхронными двигателями на основе нейросетевых структур // Студенческий: электрон. научн. журн. 2022. № 15(185). URL: <https://sibac.info/journal/student/185/248496> (дата обращения: 19.05.2022).

УДК 620.9

Перспективы развития систем накопления энергии

Петрушкин П. В.

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

В наше время все страны мира обеспокоены экологией. Мировые лидеры стремятся в каждой отрасли производства модернизировать технологии так, чтобы они приносили наименьший вред окружающей среде.

В области электроэнергетики активно развиваются возобновляемые источники энергии, а вместе с ними и Устройства накопления энергии – системы, которые хранят энергию в различных формах, позволяющие заготовить энергию в моменты «дешёвой» энергии и тратить её в пики нагрузок.

Накопители энергии можно классифицировать следующим образом [ЭлектроЭнергетика]:

1. Механические. Принцип действия накопителей этого типа основан на преобразовании энергии из одного вида в другой. Кинетическая энергия превращается в потенциальную и наоборот. К механическим накопителям энергии относятся: гидроаккумулирующие электростанции, энергия сжатого воздуха, супермаховики.

2. Химические. Литиевые, никелевые, свинцово-кислотные – всевозможные аккумуляторы. Преимущество химических накопителей состоит в том, что они способны выдавать электричество в требуемых параметрах, но срок эксплуатации накопителей данного вида сильно ограничен. К ним относятся аккумуляторные батареи и топливные элементы.

3. Электрические. Копят энергию с помощью поляризации раствора электролита. К накопителям данного типа относятся суперконденсаторы, сверхпроводниковые магнитные аккумуляторы и конденсаторы.

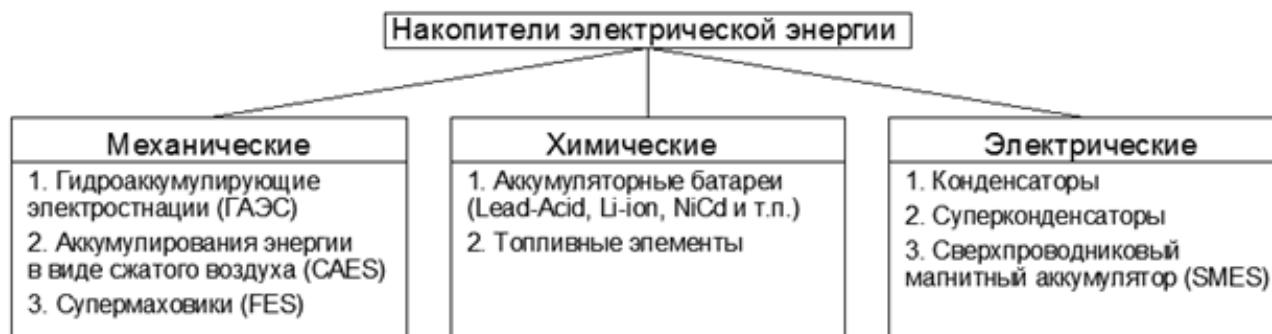


Рисунок 1 - Накопители энергии

Такое разнообразие накопителей энергии позволяет использовать наиболее выгодную Систему накопления энергии (Далее – СНЭ) в зависимости от требований. Потребитель сможет выбрать нужный ему накопитель, а не подстраиваться под недостатки накопителя. Также такое многообразие даёт возможность производителю найти наиболее выгодный для него вид СНЭ и заниматься его производством.

Системы накопления энергии осуществляют множество функций для энергосистемы [Посыпанко; Чаусов]. Они способны регулировать частоту сети, выравнять графики нагрузок, предотвращать падения напряжения, увеличить пропускную способность линий электропередач и многое другое. СНЭ повысят надёжность энергетической системы, а также приостановят рост цен на электроэнергию – выгодные условия как для потребителя, так и для производителя.

Россия – страна, богатая природными ресурсами с развитым топливно-энергетическим комплексом. В качестве примера, РФ входит в 10 стран, обладающими запасами лития-важного компонента для аккумуляторных батарей. Единая энергетическая система (Далее – ЕЭС) позволяет объединять энергосистемы регионов огромного государства, что обеспечивает бесперебойность питания и управление электроэнергией с запада на восток, с востока на запад. Учитывая расположение страны в 11 часовых поясах, данная технология управления энергией даёт преимущества по сравнению с энергосистемами других государств. Например, когда в Москве все только просыпаются, потребление электроэнергии находится в пиковой и полупиковой областях суточного графика нагрузки, в то время как в Новосибирске уже день и все на работе – потребление приходится на базовую нагрузку. Введу разности часовых поясов собственные максимумы отдельных энергосистем не совпадают, тем самым повышают «базу» ЕЭС и плотность графика нагрузки. Потребление электричества утром и вечером в разы превышает потребление ночью и днём, поэтому выгодно энергию, которую никто не потребляет в восточной части страны, передать западной, где жители нуждаются в повышенном потреблении электроэнергии. Но несмотря на такие преимущества ЕЭС России, существует возможность её улучшения- внедрение СНЭ. Для получения более детальной информации о развитии отрасли СНЭ, стоит обратиться к новостям.

Ассоциация развития возобновляемой энергетики [АРВЭ] сообщает о том, что на конец 2021 года в 19 регионах России введены в работу 31 накопитель. 15 накопителей ёмкостью более 1 МВт*ч, являются разработкой «РОСНАНО», и 16 – «Росатома». СНЭ обеспечат бесперебойное электроснабжение социально-значимых объектов: детских садов, школ, больниц и т.д. Инновационная система реализована на базе современной литий-ионной аккумуляторной батареи ёмкостью от 40 до 82 кВт*ч, оснащённой полупроводниковым преобразователем мощностью от 10 до 60 кВт.

22 марта 2022 года введена в эксплуатацию первая в России установка «Коммерческой диспетчеризации» [rosatom.ru] интегратора Росатома по системам накопления энергии ООО «РЭНЕРА» на площадке АО «ЗиО-Подольск». Проект представляет собой СНЭ на основе литий-ионных аккумуляторов, применяемые для повышения операционной эффективности и надёжности энергосистемы. Каждый накопитель индивидуален и проектируется под потребности предприятия, устанавливается на его территории.

ООО «РЭНЕРА» и Правительство Калининградской области подписали соглашение о реализации инвестиционного проекта производства литий-ионных аккумуляторных ячеек и СНЭ [rosatom.ru]. Договор позволит производить продукцию, соответствующую высоким мировым стандартам. Конец строительства запланирован на 2026 год.

Все последние новости о СНЭ свидетельствуют о том, что и государство, и компании, и потребители- все заинтересованы в развитии отношений между собой и отрасли в целом. Отставание нашей страны от западных в области применения накопителей энергии можно рассмотреть, как преимущество. У нас появляется возможность опереться на чужой опыт и сделать свои выводы. Россия сможет в ближайшие 10-15 лет стать одним из ведущих производителей СНЭ, а также эффективно применять их в энергосистеме, что позволит развить ЕЭС России, Топливо-энергетический комплекс и, как следствие, экономику страны в целом.

Библиографический список:

1. «В 19 регионах России введены в работу накопители энергии» (АРВЭ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rreda.ru/novosti/tpost/3gskmaslr1-v-19-regionah-rossii-vvedeni-v-rabotu-na>
2. «Виды накопителей и способы "упаковки" электроэнергии» (ЭлектроЭнергетика) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/eenergy/vidy-nakopitelei-i-sposoby-upakovki-elektroenergii-5f368e3b1671f158ddbc79d0>
3. «На предприятии Росатома ввели в промышленную эксплуатацию первую в России установку "Коммерческой диспетчеризации на базе накопителей электроэнергии"» (rosatom.ru) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/journalist/arkhiv-novostey/na-predpriyatii-rosatoma-vveli-v-promyshlennuyu-ekspluatatsiyu-pervuyu-ustanovku-kommercheskiy-dispe/>
4. Посыпанко Н., Баранов М., Костюк Р. Накопители энергии в России: Инъекция устойчивого развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: [vygon consulting storage.pdf](#)
5. «Росатом построит завод по производству литий-ионных ячеек и систем накопления энергии в Калининградской области» (rosatom.ru) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/journalist/news/rosatom-postroit-zavod-po-proizvodstvu-litii-ionnykh-yacheek-i-sistem-nakopleniya-energii-v-kalining/>
6. Чаусов И., Бурдин И., Ряпин И., Добровольские Ю., Корев Д. Рынок систем накопления электроэнергии в России: Потенциал развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.csr.ru/upload/iblock/d11/d1165e0f8aa6d8909cf45408b0f188d2.pdf>

Возмущения фазово-эквивалентных матричных потенциалов

Семяшкина Е. И.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Как известно, одним из результатов исследования скалярной обратной задачи рассеяния является существование так называемых фазово-эквивалентных потенциалов. В скалярном случае семейства фазово-эквивалентных потенциалов были исследованы Йостом и Коном [1], а также Холмбергом [2], но в матричном случае здесь возникают новые проблемы.

В работе [3] рассмотрена задача рассеяния для системы радиальных уравнений Шредингера с матричным потенциалом, и условием

$$-Y'' + V(x)Y = k^2 Y, \quad 0 < x < \infty. \quad (1)$$

В дополнение к (1) также рассмотрено тильда-уравнение

$$-\tilde{Z}'' + \tilde{Z}V(x) = k^2 \tilde{Z}, \quad 0 < x < \infty. \quad (2)$$

Матричные решения $E(x, k)$, $\tilde{E}(x, k)$ уравнений (1), (2) с асимптотикой вида $E(x, k) \sim e^{ikx}I$; $\tilde{E}(x, k) \sim e^{ikx}I$, $\text{Im} k \geq 0$, $x \rightarrow \infty$, где I – единичная матрица, названы решением и тильда-решением Йоста, а величины $E(k) = E(0, k)$ и $\tilde{E}(k) = \tilde{E}(0, k)$ названы матрицей-функцией и тильда-матрицей-функцией Йоста соответственно.

В работе [3] введены ряд понятий, обобщающих для матричных потенциалов и задач известное для скалярной задачи понятие фазовой эквивалентности, а именно понятия: фазовой эквивалентности, когда задачам рассеяния отвечают одновременно одинаковые матрицы и одинаковые тильда-матрицы Йоста; фазовой полуквивалентности или фазовой тильда-полуквивалентности, когда задачам отвечают одинаковые матрицы Йоста или одинаковые тильда-матрицы Йоста.

Если задача фазово-эквивалентна (ФЭ) эрмитовой задаче, то такая задача называется квазиэрмитовой, если же задача фазово-полуквивалентна (ФП) или фазово-тильда-полуквивалентна (ФТП) эрмитовой, то – полуэрмитовой. В скалярном случае понятия задач ФЭ, ФП и ФТП совпадают, и поэтому совпадают понятия квазиэрмитовых и полуэрмитовых задач.

Наряду с решениями Йоста рассмотрены растущие решения, которые образуют с и, соответственно, с фундаментальные системы при. Матричное решение построено и исследовано в монографии З.С. Аграновича и В.А. Марченко [4], решение построено аналогично [3]. Для каждого решения можно выбрать аналитическими по k при (скалярный случай рассмотрел В.Е. Лянце [5]).

Матрица рассеяния данной задачи (1) имеет вид. Как известно, в эрмитовом случае полюса матрицы при просты. Таким образом, полуэрмитовым или квазиэрмитовым задачам соответствуют матрицы и, которые могут иметь только простые полюса при (как показано в [3, Лемма 1.1]).

Матрицы где назовем нормировочными матрицами указанной задачи (1).

Данными рассеяния задачи (1) с простыми полюсами и без спектральных особенностей назовем набор величин

$$\{S(k), k \in \mathbf{R}; k_j^2, Z_j, j = 1, \dots, p\}. \quad (3)$$

Для полуэрмитовых задач унитарна,

Большая часть работы [3] посвящена изучению свойств данных рассеяния (ДР) квази- и полуэрмитовых задач, а также получены необходимые и достаточные условия фазовой полуквивалентности или тильда-полуквивалентности двух полуэрмитовых матричных потенциалов. Все это позволило для введенных классов неэрмитовых (а именно,

полуэрмитовых) задач рассмотреть вопрос о возмущениях матричных потенциалов, вызванные заданными возмущениями нормировочных матриц [5].

Теорема. Пусть полуэрмитовым потенциалам $V_1(x)$ и $V_2(x)$ отвечают одинаковые S -матрицы, а объединение множеств собственных чисел соответствующих задач рассеяния есть $\{k_j^2\}_{j=1}^p$. Тогда для разности этих потенциалов справедлива формула

$$V_2(x) - V_1(x) = 2 \frac{d}{dx} \sum_{j=1}^p E_2(x, k_j) (Z_j^{(2)} - Z_j^{(1)}) \tilde{E}_1(x, k_j), \quad (4)$$

где $Z_j^{(s)}$ ($j = 1, \dots, p; s = 1, 2$) – нормировочные матрицы задач с потенциалами $V_s(x)$; $E_s(x, k)$, $\tilde{E}_s(x, k)$ – соответствующие решения Йоста. При $s = 1$ и 2 они связаны вырожденным оператором преобразования типа Левина:

$$E_2(x, k) = E_1(x, k) - \sum_{j=1}^p E_2(x, k_j) (Z_j^{(2)} - Z_j^{(1)}) \int_x^\infty \tilde{E}_1(t, k_j) E_1(t, k) dt, \quad \text{Im } k \geq 0. \quad (5)$$

где матрицы-функции $E_2(x, k_j)$ удовлетворяют системе линейных алгебраических уравнений при каждом $x \geq 0$:

$$\sum_{j=1}^p E_2(x, k_j) \{I \delta_{lj} + (Z_j^{(2)} - Z_j^{(1)}) \int_x^\infty \tilde{E}_1(t, k_j) E_1(t, k_l) dt\} = E_1(x, k_l), \quad l = 1, \dots, p. \quad (6)$$

Доказательство теоремы. Аналогично скалярному вещественному случаю для разности ядер операторов преобразования, отвечающих потенциалам V_1 , V_2 с одинаковыми S -матрицами, справедлива формула

$$K_1(x, y) - K_2(x, y) = -\varphi(x, y) - \int_x^y \varphi(x, t) K_1(t, y) dt, \quad (7)$$

где $\varphi(x, y) = \sum_{j=1}^p E_2(x, k_j) (Z_j^{(2)} - Z_j^{(1)}) \tilde{E}_1(y, k_j)$. Полагая в (7) $y = x$ и дифференцируя по x ,

приходим, с учетом $V(x) = -2 \frac{d}{dx} K(x, x)$ [4], к (4). Соотношение типа (5) для случая одного собственного числа $k_1^2 < 0$ ($p = 1$) с учетом (4) и интегрального представления вронскиана содержится в [4, лемма 6.2.1]. Равенство (5) получается последовательным применением этой леммы с использованием (4). Система (6) получается из (5) при $k = k_1, \dots, k_p$. Теорема доказана.

Библиографический список:

1. Jost R., Kohn W. Construction of potential from phase shift // Phys. Rev. – 1952. – V. 87. – P. 977.
2. Holmberg B. A remark on the uniqueness of the potential determined from the asymptotic phase // Nuovo Cimento. – 1952. – V. 9, №7. – P. 597-604.
3. Бондаренко Е.И., Рофе-Бекетов Ф.С. Фазово-эквивалентные матричные потенциалы // Электромагнитные волны и электронные системы. (Рубрика: Новые математические методы.) – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 6-24.
4. Агранович З.С., Марченко В.А. Обратная задача теории рассеяния. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1960.
5. Бондаренко Е.И. Возмущения нормировочных матриц обратной задачи рассеяния // Матем. физика, анализ, геометрия. – 2002. – Т. 9, № 1. – С. 3-17.

Хухарев Д. Р.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта. Россия

Высокочастотные источники питания (ВИП) по сравнению с другими источниками вторичного электропитания имеют более высокие массогабаритные характеристики, низкие затраты на производство, высокий КПД, широкие возможности по регулированию номинальных выходных значений. Тем не менее ВИП, как и другие схемы и системы, имеет преимущества в одной области за счет недостаточно хорошей работы в других областях. В частности, речь идет о пульсирующем характере, потребляемого ВИП тока, представляющий собой несинусоидальный периодический сигнал.

Анализ причин нелинейности ВИП

При работе ВИП форма потребляемого им тока представляет собой несинусоидальные импульсы. Такое потребление обусловлено наличием в составе ВИП сетевого двухполупериодного вентильного выпрямителя. Дважды за период ВИП импульсами тока подзаряжает высоковольтный конденсатор до пиковых значений напряжения питания. Такое потребление приводит к появлению коротких импульсов потребляемого тока и искажению питающего напряжения (рисунок 1).

Искаженная форма напряжения содержит основную выходную составляющую напряжения, а также 3-ю, 5-ю, 7-ю, 9-ю и высшие гармоники напряжения.

Определение энергетические характеристики ВИП состоит из нескольких процедур – расчета полной мощности и всех ее характерных составляющих и нахождения коэффициентов, некоторых относительных показателей, характеризующих качество проходящих в ВИП энергопроцессов.

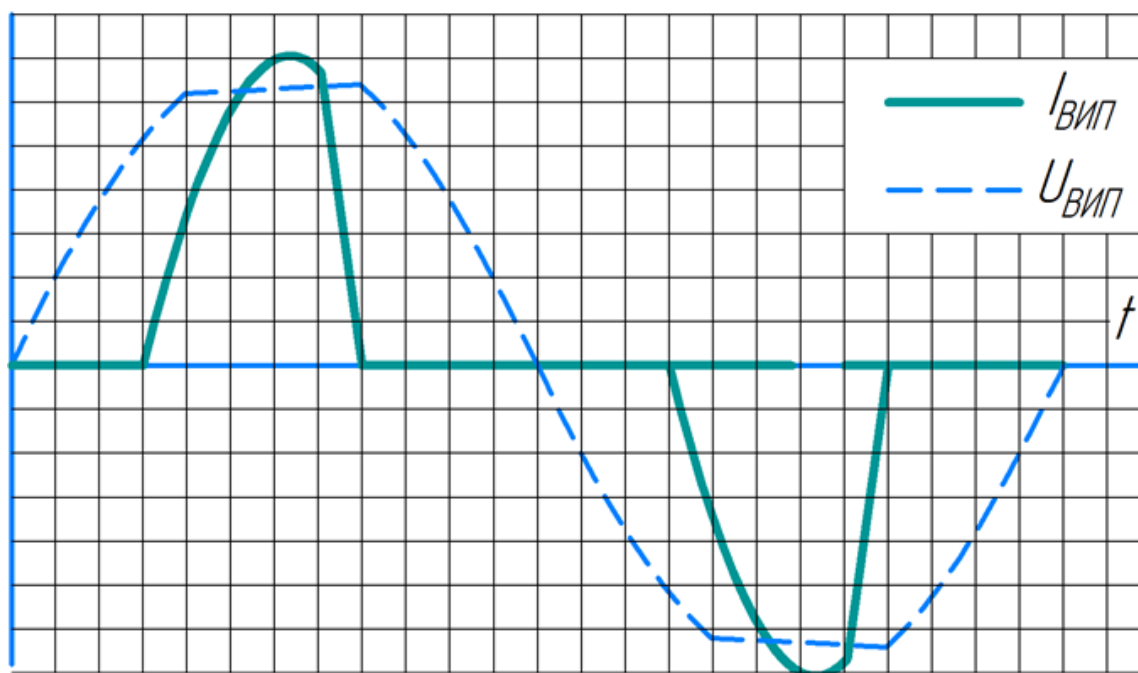


Рисунок 1 – Импульсная форма тока и искаженная форма напряжения при использовании ВИП

Полная мощность при работе сети на ВИП может быть представлена в виде:

$$S = U_{rms} \cdot I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2 + H^2} ;$$

где U_{rms}, I_{rms} - действующие значения напряжения и тока источника питания;

P - активная мощность;

Q - реактивная мощность;

T - мощность искажения;

H - мощность несимметрии.

В симметричном преобразователе в установившемся режиме работы, полная мощность связана со своими составляющими следующим выражением:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}.$$

Основным энергетическим показателем для различных типов преобразователей электрической энергии является коэффициент мощности K_M , определяющийся отношением активной мощности, потребляемой из сети, к полной мощности (определяется только первыми гармониками тока и напряжения) [1]:

$$K_M = \frac{P_{(1)}}{S} = \frac{P_{(1)} \cdot S_{(1)}}{S_{(1)} \cdot S} = \cos(\varphi) \cdot K_H;$$

где $P_{(1)}$ - активная мощность первой гармоники;

S - полная мощность;

$S_{(1)}$ - полная мощность первой гармоники.

В выражении коэффициента мощности имеются две составляющие $\cos(\varphi)$ и K_H , которые называются коэффициентами сдвига и искажения соответственно:

$$K_H = \frac{I_{\phi(1)}}{I_{\phi}};$$

где $I_{\phi(1)}$ - действующее значение первой гармоники сетевого тока;

I_{ϕ} - действующее значение полного тока сети;

В зарубежной литературе вместо коэффициента искажения K_H используют понятие THD – Total Harmonic distortion – Суммарное Гармоническое Искажение, определяющееся выражением:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2} I_{(k)}^2}}{I_{(1)}} \cdot 100, (\%);$$

где $I_{(k)}$ и $I_{(1)}$ - амплитудные или действующие значения k -й и 1-й гармоники тока.

Моделирование ВИП в программном комплексе MATLAB/Simulink и экспериментальные исследования

В связи с нелинейностью ВИП для определения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) была разработана модель серийно выпускаемого ВИП WX DC24116 в программном комплексе MATLAB с использованием приложения Simulink и библиотеки SimPowerSystems. Модель состоит из силового блока и блока измерения ПКЭ (рисунок 2)

Созданная модель позволил определить основные ПКЭ потребляемой ВИП электроэнергии, проанализировать гармонический состав тока и напряжения.

По результатам экспериментальных исследований сделано заключение, что разработанная в пакете MATLAB/Simulink модель ВИП адекватна реальной системе и с достаточной для инженерных расчетов точностью отражает процессы в ней (рисунок 3,4). Данные моделирования и эксперимента характеризуются хорошим совпадением с погрешностью в пределах 15%-20%.

В экспериментальных исследованиях для измерения ПКЭ использовался анализатор качества электроэнергии FLUKE 435 – II, в качестве лабораторной сети использовался РЕТОМ – 21.

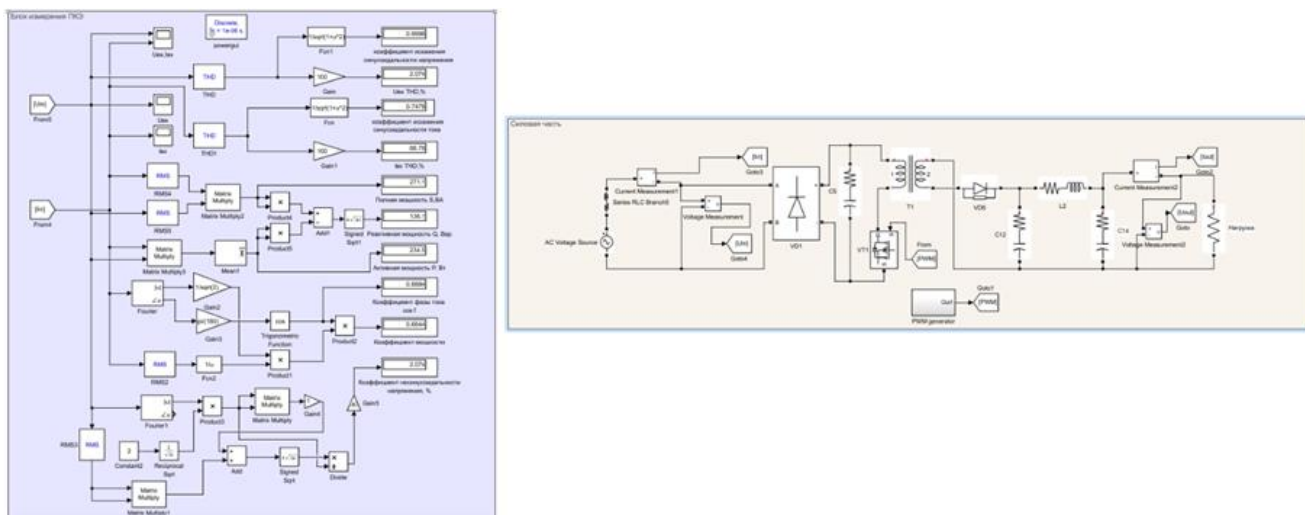
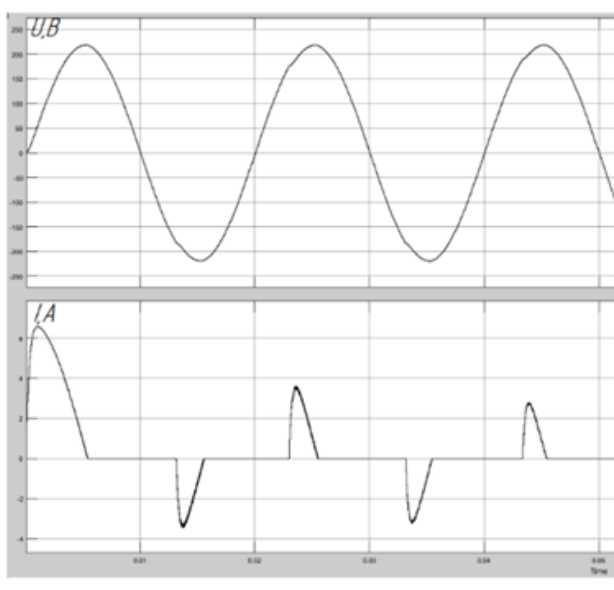


Рисунок 2 – Модель ВИП в пакете MATLAB/Simulink



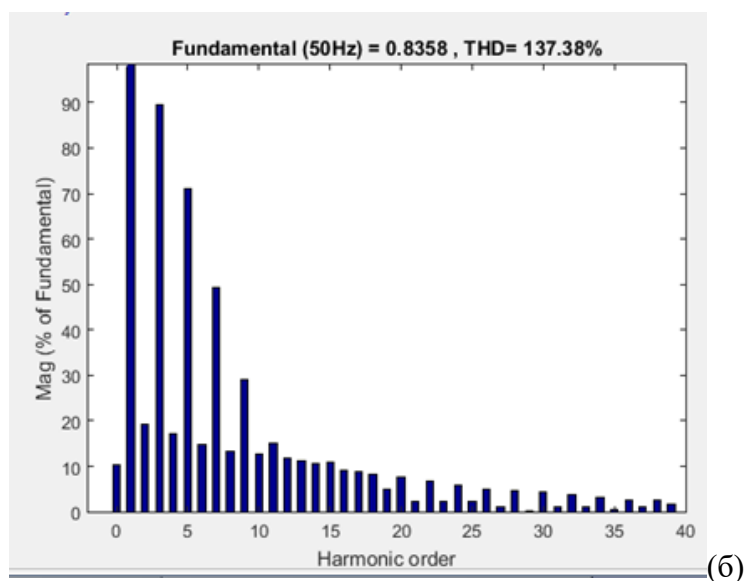
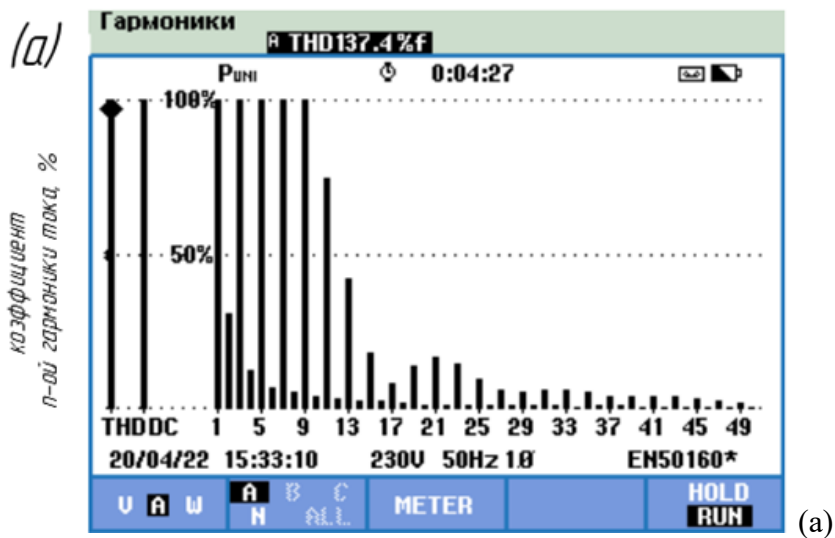
(a)



(б)

(а) эксперимент, (б) моделирование.

Рисунок 3 – Напряжение и ток в цепи высокочастотного источника питания



(а) эксперимент, (б) моделирование.

Рисунок 4 гармонический состав тока высокочастотного источника питания

Библиографический список:

1. ГОСТ 32144 - 2013. Электромагнитная совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014 – 07 – 01, М.: Стандартинформ, 2014. 19 с.

УДК 621.389

Энергосберегающая технология получения металлического германия

Кадомцева А. В., Томилов В. О., Пискунова М. С.

*Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России,
г. Нижний Новгород, Россия*

Целью настоящей работы является разработка эффективного метода получения наночастиц германия, пригодных в субмикро- и нанопластики, а также для создания новых функциональных фотонных материалов, для элементов солнечных батарей, а также в других отраслях промышленности.

Предлагаемая методика имеет потенциальную технологическую реализацию и может позволить существенно уменьшить толщину полупроводниковых солнечных элементов при сохранении требуемых свойств, что снизит их стоимость.

Сейчас германий находит широкое применение в микро- и нанoeлектронике, фотовольтаике, а также в современной полупроводниковой промышленности. Мировое потребление германия увеличивается с каждым годом, стоимость германия находится на высоком уровне (Германий металлический — 1200 USD/кг. Германия диоксид — 840 USD/кг). Таким образом, остро стоит вопрос о снижении стоимости металлического германия, а также увеличение промышленной и экологической безопасности его производства [1].

В настоящее время существует несколько методов получения наночастиц германия.

Германий получают с применением нескольких технологий. Традиционные методы осаждения германия на подложку включают химическое осаждение из паровой фазы (CVD-метод) дигермана, германа и осаждение из паровой фазы германа в плазме (13.56 МГц). В качестве прекурсоров используют герман или дигерман, разбавленные водородом. Кроме того, известны работы по получению германия реакцией диспропорционирования дийодида германия (GeI_2). Недостатками указанных методов получения германия являются токсичность и нестабильность германа и дигермана, а йод является химически активным элементом.

Для изучения кинетики каталитического восстановления тетрахлорида германия водородом была использована экспериментальная установка, подробное описание которой приведено в работе [2]. Процесс каталитического восстановления тетрахлорида германия включает в себя следующие основные стадии: осушка компонентов парогазовой смеси, приготовление реакционной парогазовой смеси, химическое взаимодействие реагентов парогазовой смеси в реакторе, хроматографический и хромато-масс-спек-трометрический анализы полученного синтез-газа, обезвреживание продуктов синтез-газа.

В ходе настоящей работы предложен каталитический метод восстановления тетрахлорида германия водородом, позволяющий снизить температуру с 973К до 423К, а также сократить количество стадий получения германия, а также процесс получения катализатора [3].

В ходе эксперимента температура реактора варьировалась в интервале от 423 до 1073К. Нагрев осуществлялся электронагревателем подключенным к пропорционально-интегрально-дифференциальному регулятору для поддержания выбранного температурного режима.

Тетрахлорид германия подавался в реактор путем барботирования водорода через тетрахлорид германия. В работе использовался тетрахлорид германия (99.999 %) и водород (99.9999 %) с примесями воды и кислорода на уровне 0.1 и 15 ppm, соответственно. Блок подготовки газов обеспечивает возможность установки расходов газа-носителя (от 5 до 75 мл/мин) в двух линиях при установлении рабочего давления 0.3МПа (3.0 кгс/см²), водорода (от 5 до 75 мл/мин); при установлении рабочего давления 0.1МПа (1.0 кгс/см²), воздуха (от 20 до 600 мл/мин); при установлении рабочего давления 0.15МПа (1.5 кгс/см²).

Система накопления, предназначенная для сбора продуктов реакции, состоит из накопительного баллона, помещенного в криостат, где в качестве хладагента используется жидкий азот. Накопительный баллон снабжен системой экстренного сброса продуктов, системой отбора проб и подсоединен к вакуумной системе. Вакуумная система служит для скачивания продуктов реакций из отдельных узлов системы. Кассетный фильтр, заполнен абсорбентом (активированный уголь, гидроксид калия), разлагающий хлориды. В качестве системы отбора использовались ампулы для хроматографического анализа состава реакционной смеси.

В ходе работы, установлены кинетические характеристики восстановления GeCl_4 водородом в отсутствие катализатора: получена энергия активации и порядок реакции получения наночастиц германия + ($E_a=48.5\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$, $n=0$).

По данным газохроматографического анализа были получены зависимости изменения концентрации тетрахлорида германия от температуры.

Установлено, что восстановление тетрахлорида германия водородом на различных катализаторах протекает в разных температурных интервалах и с различной конверсией по тетрахлориду германия.

В ходе исследования определена скорость каталитического восстановления тетрахлорида германия водородом, найдены эффективная энергия активации в зависимости от природы катализатора. Установлено, что катализатор имеет кажущуюся энергию активации на 43 кДж·моль⁻¹ меньше в сравнении с некаталитическим способом проведения реакции. Предложена схема каталитического восстановления тетрахлорида германия водородом на поверхности катализатора, а также спектр применения [4-6].

Библиографический список:

1. Кадомцева А.В., Обьедков А.М., Семенов Н.М., Каверин Б.С., Гусев С.А. Получение и исследование влияния катализатора на основе зольных микросфер с покрытием из пиролитического вольфрама на процесс получения металлического германия. Журнал прикладной химии. 2016. Т.89. Вып.11. С.1428-1437. [Kadomtsev A.V., Ob'edkov A. M., Semenov N. M., Kaverin B.S., Gusev S. A. Synthesis of Catalyst Based on Sol Microspheres Coated with Pyrolytic Tungsten and Study of Its Influence on Production of Metallic Germanium. Russian Journal of Applied Chemistry, 2016, Vol. 89, No. 11, pp. 1795–1803. DOI: 10.1134/S1070427216110100. EID: 2-s2.0-85013641759]
2. Кадомцева А.В., Обьедков А.М. Восстановление GeCl₄ в присутствии катализатора на основе модифицированного NiCl₂. Неорганические материалы, 2017, том 53, № 12. DOI: 10.7868/S0002337X17120144. [Kadomtseva A. V., Ob'edkov A. M. Reduction of GeCl₄ in the
3. Presence of a Catalyst based on Modified NiCl₂. Inorganic Materials, 2017, Vol. 53, No. 12. p.1312-1318. DOI: 10.1134/S0020168517120056. EID: 2-s2.0-85035093292]
4. Кадомцева А.В., Обьедков А.М., Семенов Н.М., Каверин Б.С., Кремлев К.В., Гусев С.А., Юнин П.А. Сравнительный анализ катализаторов реакции получения германия при восстановлении тетрахлорида германия водородом. Неорганические материалы, 2018, Вып. 54, № 10. С. 1027–1032. DOI: 10.1134/S0002337X18100081. [Kadomtseva A.V., Ob'edkov A.M., Semenov N.M., Kaverin B.S.,
5. Kremlev K.V., Gusev S.A., Yunin P.A. A Comparative Analysis of Catalysts for the Preparation of Germanium through Hydrogen Reduction of Germanium Tetrachloride. Inorganic Materials, 2018, Vol. 54, No. 10. pp. 971–976. DOI: 10.1134/S0020168518100084]
6. Кадомцева А.В., Обьедков А.М., Засовская М.А. Влияние вольфрама на процесс восстановления тетрахлорида германия. Неорганические материалы, том 56, № 3, 2020, с. 241-246. DOI: 10.31857/S0002337X20030069 [Kadomtseva A.V., Ob'edkov A. M., Zasovskaya M. A. Inorganic Materials, 2020, Vol. 56, No. 3. pp. 229–234. Effect of Tungsten on the Germanium Tetrachloride Reduction Process. DOI: 10.1134/S0020168520030061]
7. Мочалов Г.М., Кузина О.В. Биологически активные координационные соединения германия, синтез и физико-химические свойства. Журнал органической химии, 2021, том 57, № 6, с. 788–801. DOI: 10.31857/S0514749221060021 [Kadomtseva A.V., Mochalov G. M., Kuzina O. V. Biologically Active Coordination Compounds of Germanium. Synthesis and Physicochemical Properties. Russian Journal of Organic Chemistry, 2021, Vol. 57, No. 6, pp. 879–888. DOI: 10.1134/S1070428021060026]
8. Кадомцева А.В., Зарубенко П.А., Логинова Л.Б. Роль иммобилизованных металлоорганических соединений в комплексном лечении гнойно-воспалительных процессов кожи и мягких тканей. Новости хирургии, 2021, выпуск 29 №3, с.334-346. DOI: 10.18484/2305-0047.2021.3.334

УДК 006.83

Метрология, стандартизация и обеспечение качества химического анализа

Кадомцева А. В., Томилов В. О., Пискунова М. С.

*Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России,
г. Нижний Новгород, Россия*

Качество химического анализа неразрывно связано с такими понятиями, как методика анализа, унификация, аттестация и стандартизация. По существу, современная методика анализа является видом программного обеспечения, которое позволяет проводить контроль качества конкретных видов веществ и материалов по химическому составу. Методика является

формализованным нормативным документом и реализуется на разных уровнях — в виде аттестованной методики, стандарта предприятия, унифицированной отраслевой методики, национального (государственного) и международного стандарта. Именно с помощью методик анализа потребитель, производители продукции, ученые получают важнейшую информацию о составе огромного многообразия веществ и материалов, достоверность которой обеспечивает возможность их конкретного применения, определяет стоимость продукции. Поэтому разработка и применение методик нуждаются в правовом регулировании как национального, так и международного уровня. В данной статье охарактеризованы особенности стандартизации аналитических методов на примере контроля качества металлургической продукции.

Большинство сертификационных испытаний и измерений основано на применении аналитических методов и приборов универсального назначения, предназначенных для косвенных измерений, требующих индивидуальной градуировки применительно к конкретной аналитической процедуре, устанавливаемой методикой химического анализа. Известны такие методы количественного и качественного анализа, как хроматография, спектрофотометрия, электрохимический анализ и др. Среди методов электрохимического анализа состава наиболее широкое распространение получил полярографический метод, известный также как инверсионный вольтамперометрический (ИВ) анализ. До последнего времени при создании МО приборов ИВ-анализа и стандартизации применяемых технических средств приходилось руководствоваться лишь общими подходами к регламентации метрологических характеристик (МХ) средств измерений (СИ) и показателей их метрологической надёжности (МН), сформулированными в ряде нормативных документов. Однако данные подходы нуждаются в конкретизации применительно к компьютерным вольтамперометрическим анализаторам.

В многогранной и сложной работе по обеспечению единства измерений в стране важнейшее место отводится разработке и аттестации методик измерений. Об этом достаточно наглядно свидетельствует тот факт, что в Закон Российской Федерации "Об обеспечении единства измерений" включена отдельная 9 статья, которая гласит: "Измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками выполнения измерений".

В связи с введением ГОСТ Р ИСО 5725-2002 внесены изменения в государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 8.563-96 "ГСИ. Методики выполнения измерений", определяющий порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений, включая методики количественного химического анализа (КХА). Согласно требованиям данного стандарта, организации должны иметь перечни документов на методики КХА, применяемые в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора в данной организации, а также планы отмены и пересмотра документов для методик КХА, не удовлетворяющих требованиям стандарта. Кроме того, в этих планах должно быть предусмотрено проведение аттестации и, в необходимых случаях, стандартизация методик КХА.

В шести стандартах ГОСТ Р ИСО 5725-2002 детально и конкретно (с примерами) изложены основные положения и определения показателей точности методов измерений и результатов измерений, способы экспериментальной оценки показателей точности и использования значений точности на практике. Следует обратить внимание на представленную в стандарте ГОСТ Р ИСО 5725 новую терминологию.

В соответствии с ГОСТ Р 5725-1-2002 - 5725-6-2002 в описании точности КХА используется три термина: прецизионность, правильность и точность.

Прецизионность - степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных установленных условиях. Эта характеристика зависит только от случайных факторов и не связана с истинным значением или принятым опорным значением.

Правильность - характеризует степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений к истинному или в случае его отсутствия к принятому опорному значению. Показателем правильности обычно является значение систематической погрешности.

Точность - степень близости результата анализа к истинному или принятому опорному значению.

Опорное значение - значение, которое служит в качестве согласованного. В качестве опорного значения может быть принято:

- теоретическое или научно установленное значение;
- аттестованное значение СО;
- аттестованное значение смеси (АС);
- математическое ожидание измеряемой характеристики, т.е. среднее значение

заданной совокупности результатов анализа.

На изменчивость результата химического анализа могут оказывать различные факторы: время (интервал времени между измерениями), калибровка, оператор, оборудование, параметры окружающей среды.

В зависимости от влияющих факторов прецизионность результатов анализа включает:

- прецизионность анализа в условиях повторяемости - условия при которых результаты анализа получают по одной и той же методике в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором с использованием одного и того же оборудования, практически одновременно (параллельные определения);

- прецизионность анализа в условиях воспроизводимости - условия при которых результаты анализа получают по одной и той же методике в разных лабораториях, варьируя различными факторами (разное время, оператор, условия окружающей среды);

- внутрилабораторную прецизионность анализа - условия при которых результаты анализа получают по одной и той же методике в одной и той же лаборатории при вариации различных факторов (время, оператор, разные партии реактивов и т.д.).

В соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009 методики, которые предназначены для использования в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора должны быть аттестованы и внесены в Федеральный реестр. Учреждениями, имеющими право на аттестацию, являются:

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии и сертификации (ВНИИМС),

Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ),

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) им. Менделеева (Центр исследования и контроля качества воды (ЦИКВ, г. С-Петербург),

Гидрохимический институт федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ЗАО "РОСА" (г. Москва).

За государственную регистрацию аттестованных методик и за соблюдением авторских прав организации-разработчика ответственность несет Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии и сертификации (ВНИИМС).

Методики, не используемые в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, аттестуются в порядке, установленном на предприятии. Если метрологическая служба предприятия аккредитована на право выполнения аттестации методик, то она может осуществлять метрологическую экспертизу методик, которые применяются в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора.

Библиографический список:

1. Карпов Ю.А., Барановская В.Б. Проблемы стандартизации методов химического анализа в металлургии. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019;85(1(II)):5-14. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-5-14>
2. Кадомцева А.В., Обьедков А.М., Семенов Н.М., Каверин Б.С., Гусев С.А. Получение и исследование влияния катализатора на основе зольных микросфер с покрытием из пиролитического вольфрама на процесс получения металлического германия. Журнал прикладной химии. 2016. Т.89. Вып.11. С.1428-1437. [Kadomtsev A.V., Ob'edkov A. M., Semenov N. M., Kaverin B.S., Gusev S. A. Synthesis of Catalyst Based on Sol Microspheres Coated with Pyrolytic Tungsten and Study of Its Influence on Production of Metallic Germanium. Russian Journal of Applied Chemistry, 2016, Vol. 89, No. 11, pp. 1795–1803. DOI: 10.1134/S1070427216110100. EID: 2-s2.0-85013641759]

3. Кадомцева А.В., Обьедков А.М. Восстановление GeCl_4 в присутствии катализатора на основе модифицированного NiCl_2 . Неорганические материалы, 2017, том 53, № 12. DOI: 10.7868/S0002337X17120144. [Kadomtseva A. V., Ob'edkov A. M. Reduction of GeCl_4 in the Presence of a Catalyst based on Modified NiCl_2 . Inorganic Materials, 2017, Vol. 53, No. 12. p.1312–1318. DOI: 10.1134/S0020168517120056. EID: 2-s2.0-85035093292]
4. Кадомцева А.В., Обьедков А.М., Семенов Н.М., Каверин Б.С., Кремлев К.В., Гусев С.А., Юнин П.А. Сравнительный анализ катализаторов реакции получения германия при восстановлении тетрахлорида германия водородом. Неорганические материалы, 2018, Вып. 54, № 10. С. 1027–1032. DOI: 10.1134/S0002337X18100081. [Kadomtseva A.V., Ob'edkov A.M., Semenov N.M., Kaverin B.S., Kremlev K.V., Gusev S.A., Yunin P.A. A Comparative Analysis of Catalysts for the Preparation of Germanium through Hydrogen Reduction of Germanium Tetrachloride. Inorganic Materials, 2018, Vol. 54, No. 10. pp. 971–976. DOI: 10.1134/S0020168518100084]
5. Кадомцева А.В., Обьедков А.М., Засовская М.А. Влияние вольфрама на процесс восстановления тетрахлорида германия. Неорганические материалы, том 56, № 3, 2020, с. 241–246. DOI: 10.31857/S0002337X20030069 [Kadomtseva A.V., Ob'edkov A. M., Zasovskaya M. A. Inorganic Materials, 2020, Vol. 56, No. 3. pp. 229–234. Effect of Tungsten on the Germanium Tetrachloride Reduction Process. DOI: 10.1134/S0020168520030061]
6. Мочалов Г.М., Кузина О.В. Биологически активные координационные соединения германия, синтез и физико-химические свойства. Журнал органической химии, 2021, том 57, № 6, с. 788–801. DOI: 10.31857/S0514749221060021 [Kadomtseva A.V., Mochalov G. M., Kuzina O. V. Biologically Active Coordination Compounds of Germanium. Synthesis and Physicochemical Properties. Russian Journal of Organic Chemistry, 2021, Vol. 57, No. 6, pp. 879–888. DOI: 10.1134/S1070428021060026]
7. Кадомцева А.В., Зарубенко П.А., Логинова Л.Б. Роль иммобилизованных металлоорганических соединений в комплексном лечении гнойно-воспалительных процессов кожи и мягких тканей. Новости хирургии, 2021, выпуск 29 №3, с.334-346. DOI: 10.18484/2305-0047.2021.3.334

УДК 621.313

Перспективы использования ЭМП в системах привода нефте-газоперекачивающих установок

Рожкин В. Д.

Научный руководитель - Щетинин Е. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В последнее время, всё сильнее обостряется проблема надежности подвижных узлов различных высокооборотистых электрических машин. Особенно актуальна данная тема в районах крайнего севера. Нефть и газ добываются и транспортируются мощными насосами и турбинами, которые приводят в движение электродвигатели мощностью до десятков мегаватт.

Электромагнитные подшипники – это управляемое электромагнитное устройство, удерживающее вращающиеся части электрической машины в заданном положении за счёт эффекта магнитной левитации. Сила магнитного притяжения или отталкивания, действующая на вал со стороны электромагнитов, управляется с помощью электронной системы управления.

Электронная система управления, включает в себя регулятор и усилитель мощности. Во время работы смещение ротора фиксируется датчиками положения. Далее сигнал отправляется в электронный блок управления, где обрабатывается таким образом, что магнитное поле возвращает вал в исходное положение путём изменения тока в электромагнитах. На случай отключения АМП, в конструкции предусмотрены страховочные механические подшипники, не задействованные в обычном режиме.

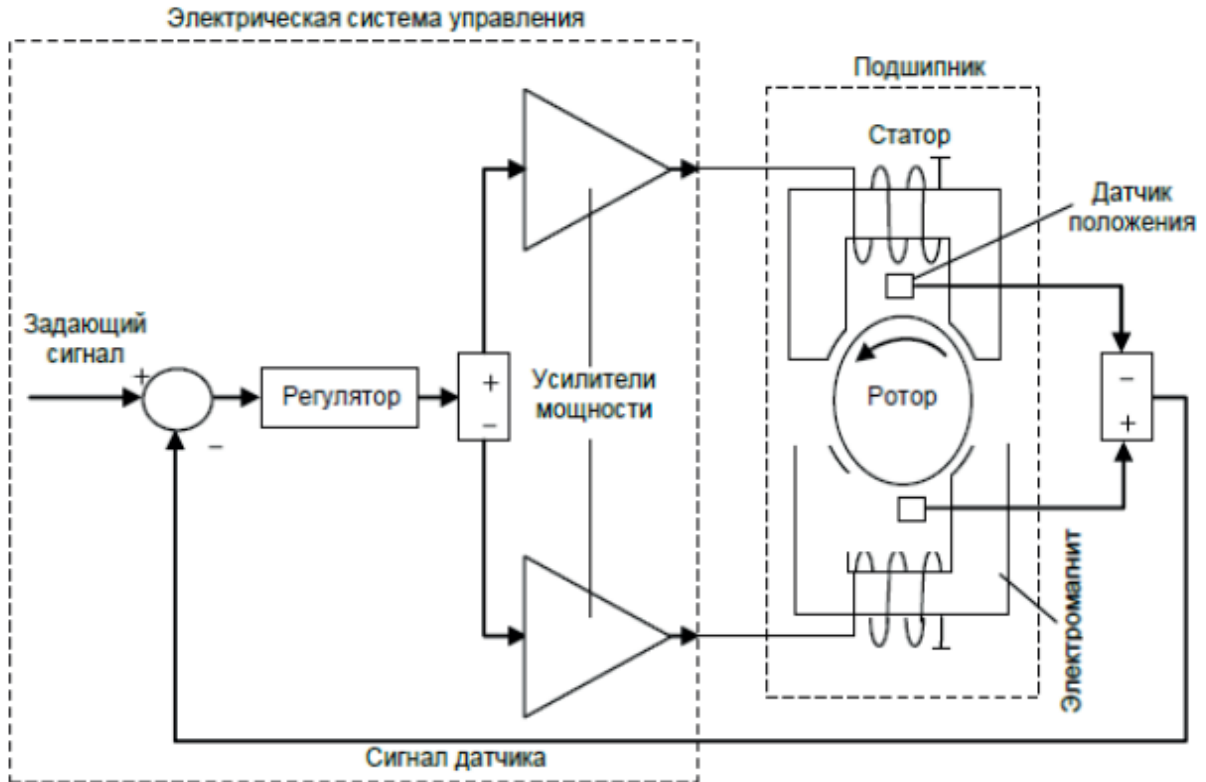
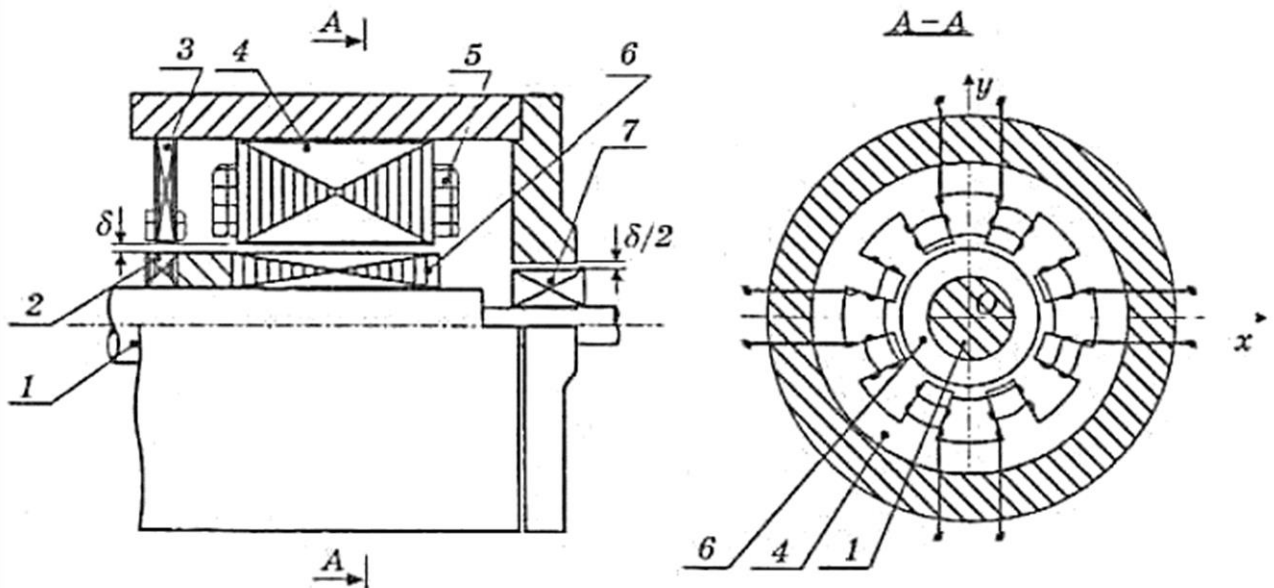


Рисунок 1 – Структура АМП

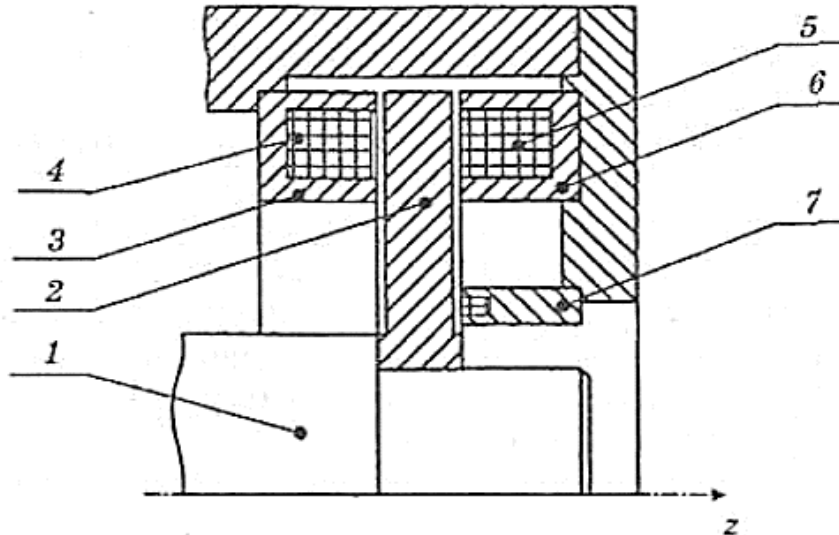
Конструктивно АМП делятся на 3 основных вида: радиальные; осевые; радиально-осевые. Но обычно для центрирования ротора электрических машин используют ЭМП двух видов:

- Радиальные (РМП), который обеспечивает центрирование по двум взаимно перпендикулярным поперечным осям, обычно Ox и Oy .
 - Осевой (ОМП), который ограничивает перемещение ротора в осевом направлении, обычно Oz .
- Типичные схемы конструкции РМП и ОМП представлены на рисунках:



(1 – ротор; 2 – мерительное кольцо датчика положения; 3 – статор датчика положения; 4 – статор; 5 – обмотки электромагнитов; 6 – цапфа; 7 – страховочный подшипник.)

Рисунок 2 – Строение радиального АМП



(1 – вал ротора; 2 – цапфа в виде ферромагнитного диска; 3, 6 – электромагниты; 4, 5 – обмотки электромагнитов; 7 – датчик перемещения по оси Oz .)

Рисунок 3 – Строение осевого АМП

ЭМП имеет, пять каналов управления: четыре на РМП и один на ОМП. Каждый канал управляется индивидуальным датчиком, имеющим одну степень свободы. Поэтому, в качестве объекта управления ротором, используется одностепенной магнитный подвес двухстороннего действия.

Система дифференциальных уравнений четвертого порядка для переменных i и y [1, с. 58], описывающая магнитный подвес двустороннего действия:

$$(2) \begin{cases} my'' = \frac{c_L}{2} \cdot \left[\frac{i_1^2}{(\delta - y)^2} - \frac{i_2^2}{(\delta + y)^2} \right] + Q; \\ \frac{c_L}{\delta - y} \cdot (i_1)^* + \frac{c_L}{(\delta - y)^2} \cdot i_1 y' + r i_1 = u_1; \\ \frac{c_L}{\delta + y} \cdot (i_2)^* - \frac{c_L}{(\delta + y)^2} \cdot i_2 y' + r i_2 = u_2. \end{cases}$$

Где:

$$(i_1)^* = \frac{di}{dt};$$

$c_L = \frac{\mu_0 n^2 A}{2}$ – конструктивный параметр;

y – перемещение ротора;

δ – зазор между электромагнитом и ротором;

$Q = mg$ – сила тяжести.

Если управление идёт по току, то система описывается первым уравнением системы (2), если по напряжению, то всей системой уравнений.

Все современные ЭГПА оснащаются ЭМП ротора двигателя и центробежными нагнетателями (ЦБН). Активные ЭМП, используя сухие уплотнения, позволяют отказаться от масляного хозяйства и аппаратов активного охлаждения (АВО) масла, что существенно упрощает конструкцию ЭГПА и делает его более простым в техническом обслуживании и ремонте. Из отечественных производителей наибольшего успеха в освоении технологий ЭМП добилась корпорация ВНИИЭМ. Согласно их исследованию [2, с. 17-19], можно обозначить, выявленные на практике преимущества ЭМП перед масляными подшипниками:

1. Из-за отсутствия трения КПД агрегата увеличивается, а затраты электроэнергии снижаются. Так же отсутствие трения позволяет повысить обороты компрессора до 20000 об/мин.

2. ЭМП уменьшают вероятность аварийных ситуаций. Более 70% нештатных ситуаций во время работы ЭГПА связаны с маслосистемой. ЭМП позволяет полностью от неё избавиться и работать по принципу «включил и забыл».

3. Системы с ЭМП доказали свою пригодность и надежность для удержания роторов электрических машин в состоянии левитации. Промышленная наработка отдельных агрегатов с ЭМП достигла 300 тыс. ч без аварийных ситуаций.

4. Первоначальные финансовые затраты на установку ЭМП окупаются в течении 2-3х лет и дальнейшие издержки на обслуживание агрегата значительно снижаются.

Обычно магнитный подвес устанавливают на ГПА с центробежными компрессорами следующих мощностей: 2,5; 6,3; 10; 12; 16; 25 МВт. Но все компрессоры отличаются друг от друга массой ротора, радиальными и осевыми статическими и динамическими нагрузками, действующими на ротор, причем они тем больше, чем больше мощность компрессора. Для этого были примерно посчитаны геометрические и весовые характеристики ЭМП для различных ГПА [3, с. 7-8]:

Было установлено, что для того, чтобы выдерживать нагрузки, действующие на ротор компрессора ГПА мощностью 2,5; 6,3 МВт, достаточно иметь блок управления с напряжением питания 110 В и максимальным током 30 А, а для компрессоров мощностью (10 – 25) МВт необходим блок управления с напряжением питания 220 В и максимальным током 30 А.

Во время работы синхронных машин неизбежно возникают нежелательные переходные процессы, вызываемые рядом причин. Самые частые из них – это запуск машины, изменение питающего её напряжения, наброс нагрузки на вал или экстренная остановка. В любом из перечисленных случаев, а также в ряде других ситуаций возникают паразитные качания вала и вибрации, точнее изменения электрического угла нагрузки. Что в свою очередь выводит электрическую машину из установившегося режима на определенное время.

Для конкретного примера был взят неявнополюсной турбинный двигатель серии СТД мощностью 2500 кВт, используемый на ГПА и НПС. Так же были взяты все его параметры и математическая модель [1, с. 33]. Было выполнено моделирование ситуаций пуска и наброса номинальной нагрузки на вал для демонстрации переходных процессов. Моделирование выполнялось в среде MATLAB и Simulink исходя из дифференциальной системы уравнений (1) [4, с. 22]:

$$(1) \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_d}{d\tau} = U_d - r \cdot i_d + \psi_q \cdot \omega; \\ \frac{d\psi_q}{d\tau} = U_q - r \cdot i_q + \psi_d \cdot \omega; \\ \frac{d\psi_f}{d\tau} = U_f - r_f \cdot i_f; \\ \frac{d\psi_{kd}}{d\tau} = -r_{kd} \cdot i_{kd}; \\ \frac{d\psi_{kq}}{d\tau} = -r_{kq} \cdot i_{kq}; \\ \frac{d\omega}{d\tau} = M_e - \frac{M_c}{H_j}; \\ \frac{d\theta}{d\tau} = \omega - 1, \end{array} \right.$$

где:

ψ_d, ψ_q, ψ_f – потокосцепление обмоток статора по осям d и q и обмотки возбуждения;

ψ_{kd}, ψ_{kq} – потокосцепление демферных контуров по осям d и q ;

U – напряжение на зажимах машины;

U_f – напряжение обмотки возбуждения;

i_d, i_q – токи по осям d и q ;

i_f – ток обмотки возбуждения;

θ – угол нагрузки двигателя;
 r_f – активное сопротивление обмотки возбуждения;
 r, r_{kd}, r_{kq} – активные сопротивления статора и демпферной обмотки по осям d и q ;
 M_e, M_c – механический и электромагнитный момент двигателя;
 ω – угловая скорость двигателя;
 H_j – механическая постоянная времени вращающихся масс, с;
 τ – синхронное время, с².

Параметры	Мощность компрессора, МВт					
	2,5	6,3	10	12	16	25
<i>Радиальный магнитный подшипник:</i>						
грузоподъемность, кН	3 – 5		5 – 10		10 – 20	20 – 30
наружный диаметр, мм	280	430			500	600
внутренний диаметр, мм	150	300			300	400
длина, мм	60	90			140 – 200	200 – 300
<i>Осевой магнитный подшипник:</i>						
грузоподъемность, кН	5 – 10		10 – 30			30 – 60
наружный диаметр, мм	280		460			460
внутренний диаметр, мм	130		300			170
длина, мм	60		90			90
<i>Аппаратура управления:</i>						
габариты, м			1,2×0,5×0,6		2,0×0,6×0,6	
мощность потребления, кВт			0,5 – 0,75		0,5 – 1,5	
напряжение питания, В	110	110	220			

Рисунок 4 – Характеристики ЭМП

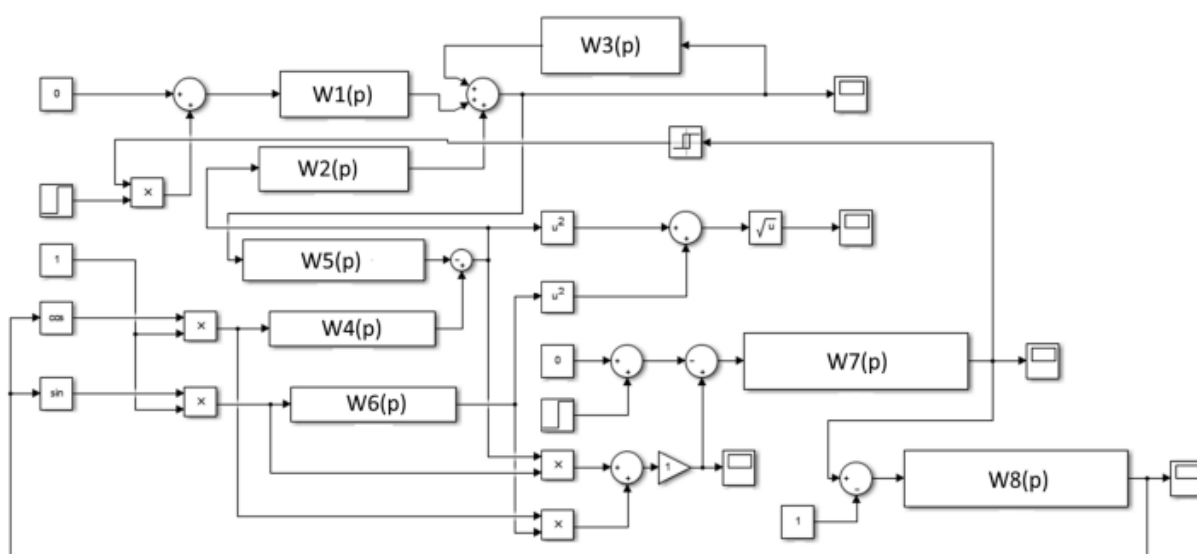


Рисунок 5 – Математическая модель СТД-2500/2/10

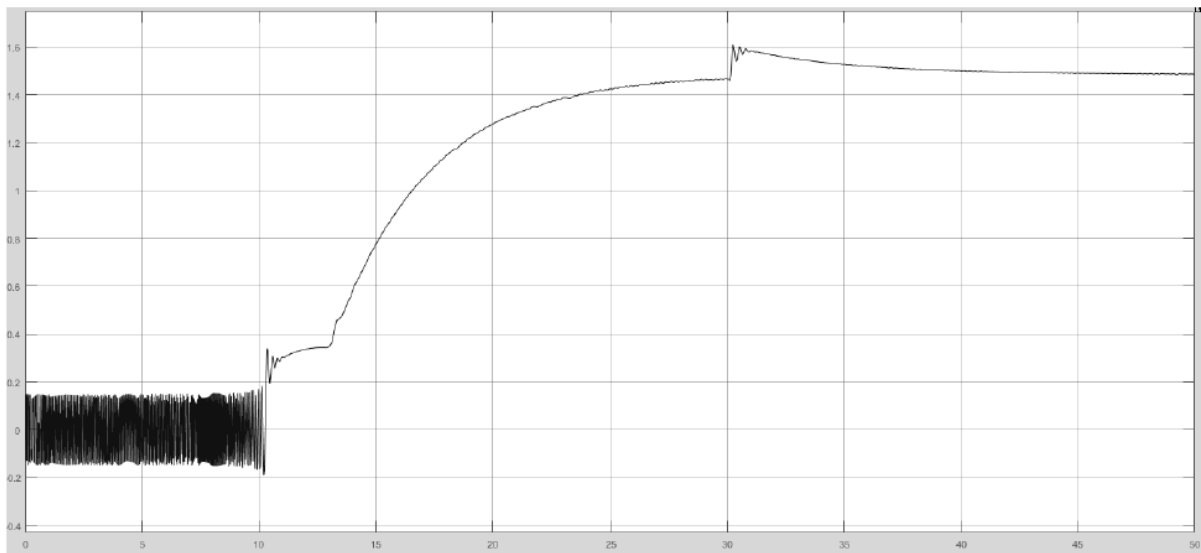


Рисунок 6 – Ток обмотки возбуждения при пуске и набросе номинальной нагрузки (x – с/дел, y – 0,2 о. е./дел)

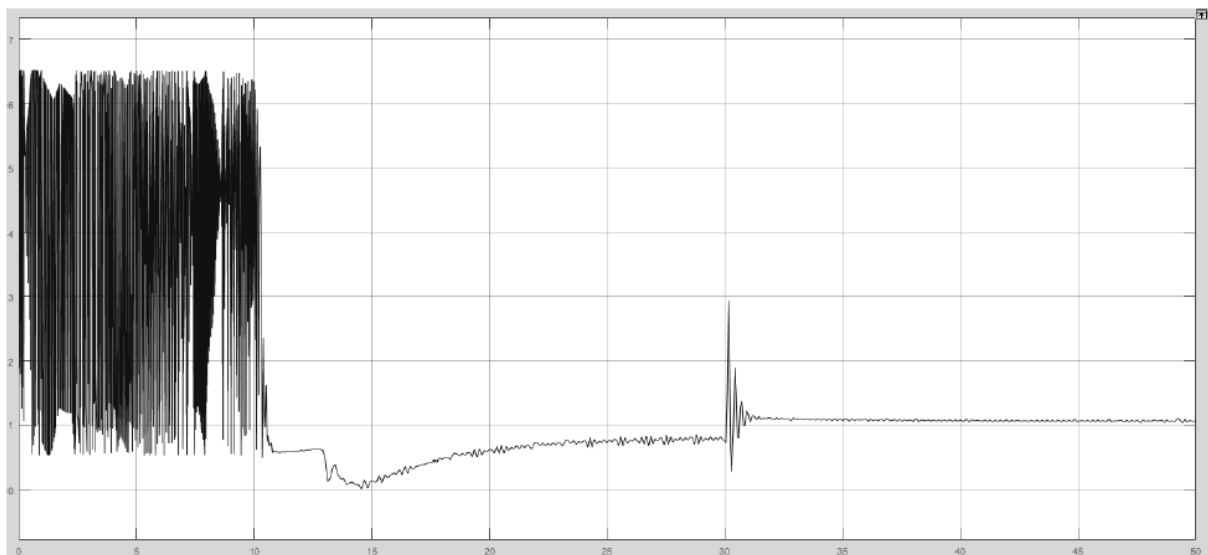


Рисунок 7 – Ток статора при пуске и набросе номинальной нагрузки (x – с/дел, y – 1 о. е./дел)

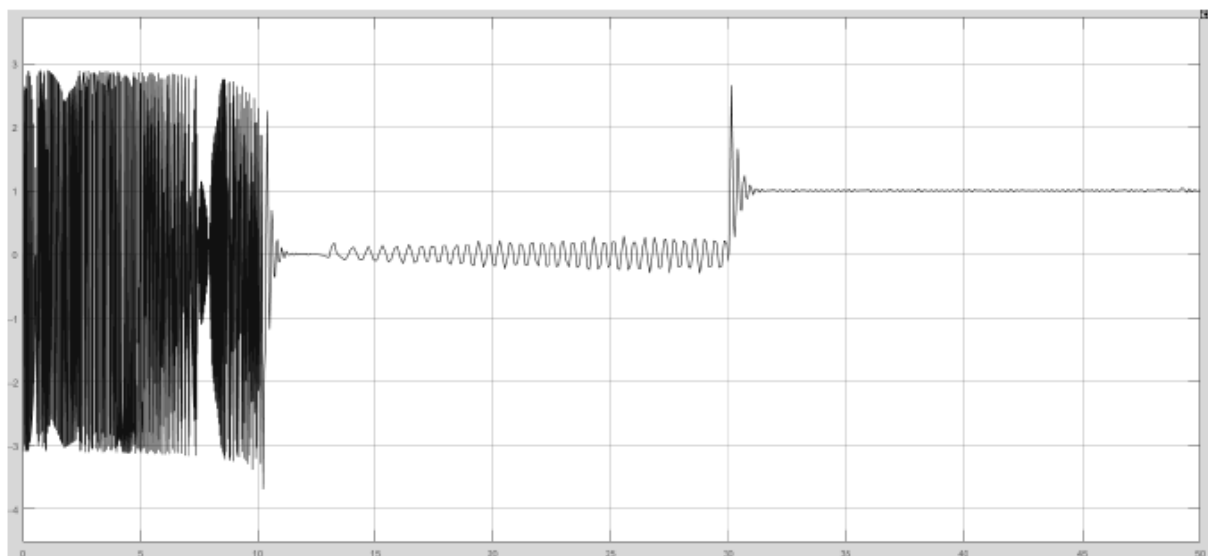


Рисунок 8 – Электромагнитный момент при пуске и набросе номинальной нагрузки (x – с/дел, y – 1 о. е./дел)

При таких режимах синхронной машины ЭМП можно использовать для демпфирования колебаний вала и в следствие уменьшения времени и амплитуды переходного процесса тока в роторе и статоре электрической машины. Для этого используется сигнал с датчиков положения, но можно использовать и сигнал тока со статора машины. Главная задача заключается в увеличении скорости управления подшипником.

На сегодняшний день ЭМП не способны полностью вытеснить обычные механические подшипники. Но они находят свое применение там, где не способны полноценно работать подшипники качения и скольжения и обретают все большую применяемость. Многие предприятия уже переходят на ГПА и НПС с ЭМП, ввиду их перспективности.

Усовершенствование системы управления способно решить множество проблем, связанных с качаниями вала. Так же откроется большое количество возможностей для упрощения использования мощных электрических двигателей, например, в газотурбинных установках.

Библиографический список:

1. Журавлев, Ю. Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение / Ю. Н. Журавлев – СПб.: Политехника, 2003. – 206 с. – Текст : электронный. (Дата обращения 10.05.2022)
2. Крюков, О. В. Практическая реализация технологий электромагнитного подвеса роторов электроприводных газоперекачивающих агрегатов / О. В. Крюков – Текст : электронный // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ : [сайт]. – 2016. – Т.153. – URL: <http://jurnal.vniiem.ru/text/153/11-22.pdf> (Дата обращения 10.05.2022)
3. Сарычев, А. П. Разработка электромагнитных подшипников для серии компрессоров газоперекачивающих агрегатов / А. П. Сарычев – Текст: электронный // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ : [сайт]. – 2009. – Т.110. – URL: <http://jurnal.vniiem.ru/text/110/3.pdf> (Дата обращения 10.05.2022)

СЕКЦИЯ 2. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 624.012

Факторы, формирующие усталость материалов

Истомина С. Н., Балин В. А.

Научный руководитель – Савич В. Л.

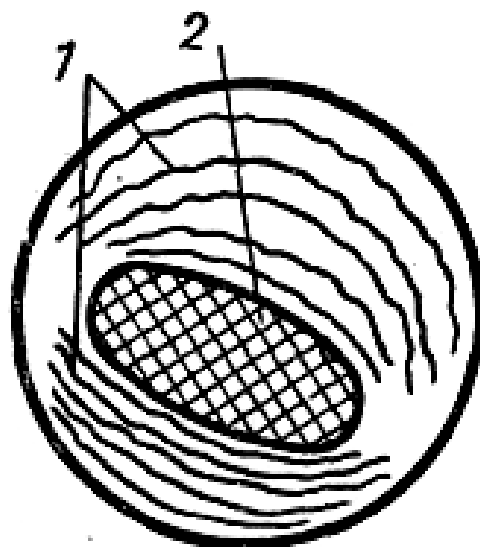
Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Преобладающая часть деталей машин и различных механизмов в процессе эксплуатации работает в условиях переменных напряжений.

При переменных напряжениях разрушение деталей происходит при напряжениях, значительно меньших предела прочности, а в ряде случаев и предела текучести материала.

Усталость – процесс постепенного накопления повреждений в материале под действием переменных напряжений и деформаций. Разрушение происходит путем зарождения и распространения трещины, которая после достижения некоторого критического размера становится неустойчивой и быстро увеличивается, вызывая разрушение.

Нагрузки и деформации, при которых обычно происходит усталостное разрушение (Рисунок 1), намного ниже тех, которые приводят к разрушению в статических условиях.



1 – следы фронта трещины (зона постепенного разрушения); 2 – долом (зона быстрого разрушения)

Рисунок 1 – Поверхность раздела, возникающая при усталостном разрушении объекта

Можно отметить две зоны разрушения – медленного, характеризуемого определенной «затертостью» поверхности сечения и быстрого, имеющего шероховатую поверхность сечения и соответствующего обычному статическому разрушению образца.

Когда разрушение происходит более чем через 10000 циклов, явление обычно называется многоцикловая усталость.

Если разрушение происходит менее чем через 10000 циклов - малоцикловая усталость.

Название объясняется тем, что долгое время существовало мнение, будто под влиянием переменных напряжений металл «устает» и вместо пластичного становится хрупким.

Цикл напряжений – совокупность последовательных значений напряжений за один период их изменения при регулярном нагружении (Рисунок 2).

Испытания на усталость проводятся с целью получения механической характеристики, количественно характеризующую способность материала сопротивляться усталостному разрушению.

Давно было замечено, что образец материала, будучи нагружен переменным напряжением, через некоторое число нагружений разрушается, хотя при этом напряжение существенно ниже его временного сопротивления σ_b .

Наиболее распространены испытания на изгиб при симметричном цикле (Рисунок 2) изменения напряжений.

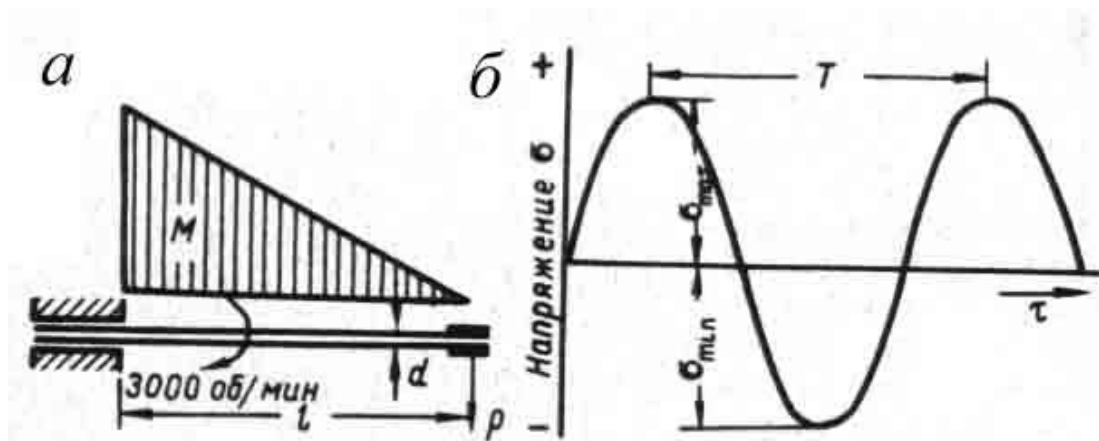


Рисунок 2 – Консольная схема нагружения (а), обеспечивающая симметричный цикл напряжений (б) при испытаниях на усталость

Кривая выносливости дает зависимость разрушающего напряжения σ от числа симметричных циклов нагружения N (Рисунок 3).

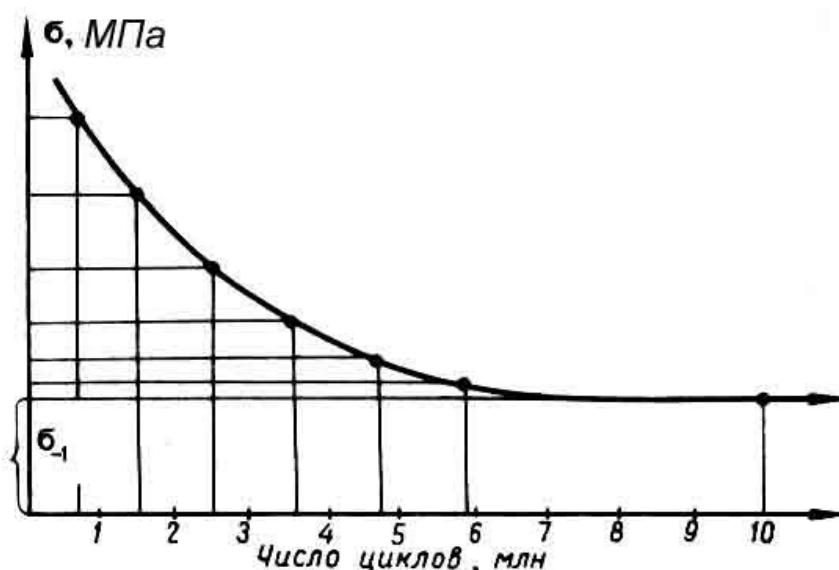
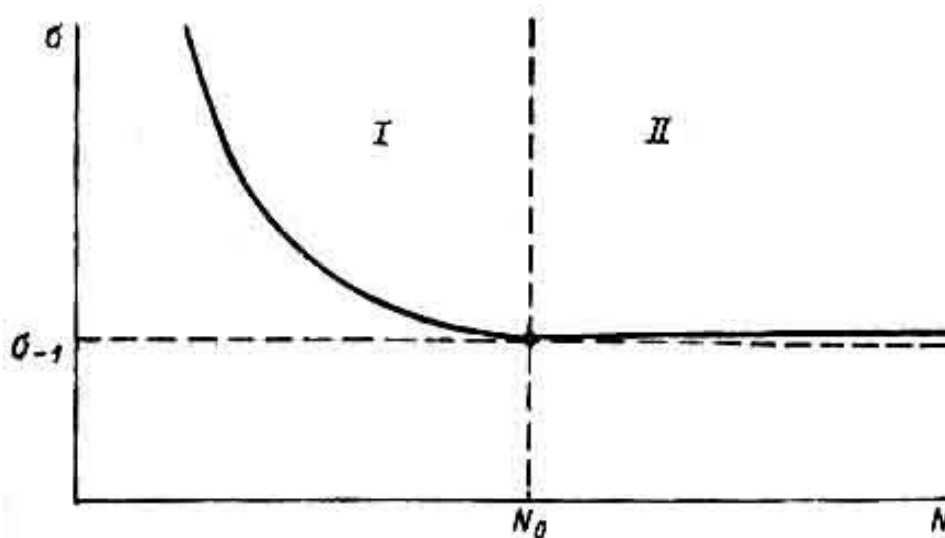


Рисунок 3 – Кривая выносливости

Асимптотическое значение напряжения в этой зависимости носит название предела усталости σ_{-1} и является чрезвычайно важной характеристикой материала или конструктивного силового элемента.

Максимальное по абсолютному значению напряжение цикла, при котором еще не происходит усталостного разрушения до базы испытания, называется пределом выносливости и обозначается σ_R .

Основной характеристикой циклической прочности является кривая усталости (кривая Веллера), устанавливающая связь между максимальным напряжением σ_{max} и числом циклов, выдерживаемых деталью до разрушения. По результатам испытания строят кривую усталости (Рисунок 4).



I – нелинейный участок; II – линейный участок; σ_{-1} – предел выносливости;
 N_0 – базовое число циклов

Рисунок 4 – Кривая усталости

Как видно из графика, на кривой усталости можно выделить два характерных участка I – и II. На участке II, характерном для большинства сталей, накопление усталостных повреждений не приводит к поломке (отказа не происходит).

Факторы, влияющие на снижение предела выносливости материалов:

1) Концентрация напряжений – явление повышения напряжений по сравнению с номинальными;

Наблюдается в тех местах детали, где имеются отверстия, выточки, переходы от одних размеров и форм сечений к другим, какие-либо внутренние или внешние пороки в материале, а также в зоне контакта деталей

2) Теоретический коэффициент концентрации напряжений – отношение максимального нормального напряжения в зоне концентрации к номинальному;

3) Состав материала;

Сплавы на основе железа и титан имеют достаточно ярко выраженный предел усталости, который выявляется по прошествии циклов напряжения.

Сплавы цветных металлов практически не имеют предела усталости.

4) Размер и направление зерен;

Мелкозернистые материалы обладают более высокими усталостными характеристиками по сравнению с крупнозернистыми материалами того же самого химического состава

5) Влияние состояния поверхности;

Значительная часть усталостных повреждений зарождается на поверхности элемента машины или конструкции, в связи с чем условия обработки поверхности являются одним из важнейших факторов, определяющих усталостную прочность

6) Масштабный эффект;

Опыт показывает: чем больше по размеру образцы или детали, тем меньше их усталостная прочность. Возможным объяснением этого может служить то, что вероятность наличия концентраторов напряжений или зародышей усталостных повреждений в больших образцах по сравнению с малыми больше, поскольку больше их объем и площадь поверхности

7) Коррозия;

В коррозионных средах усталостная прочность материалов снижается. Наличие слоя дистиллированной воды у поверхности многих материалов, включая обычные конструкционные стали, может так понизить величину усталостной прочности, что она будет составлять менее двух третей от усталостной прочности сухого материала.

8) Фреттинг – повреждение поверхности в местах соединения или контакта деталей при циклическом движении их относительно друг друга с малой амплитудой. Иногда при

фреттинге величина усталостной прочности может уменьшиться до одной трети или менее ее величины при отсутствии фреттинга.

Основным методом предотвращения усталостного разрушения является:

– модификация конструкции механизма с целью исключения циклических нагрузок, либо

– замена материалов на менее склонные к усталости.

Значительное увеличение выносливости даёт химико-термическая обработка металлов, например, азотирование.

Газотермическое напыление, особенно высокоскоростное газопламенное напыление, создаёт напряжение сжатия в покрытии материала и способствует защите деталей от разрушения.

Библиографический список:

- 1 ГОСТ 23207 – 78 Соппротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения.
- 2 ГОСТ 25.502 – 79 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний материалов. Методы испытаний на усталость.
- 3 ГОСТ 25.504 – 82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости.
- 4 Беляев Н.М. Соппротивление материалов: учебник. - М.: Наука, 1976. - 608 с.
- 5 Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. - 13-е изд. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 592 с.

УДК 67.019

Описание коррозионно-диффузионных процессов трубопроводов и оценка скорости распространения локальной коррозии в зависимости от напряженно-деформированного состояния металла труб

Чувашов А. А., Попова Л. В., Рылько Н. М.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Одним из признаков сероводородной коррозии является образование трещин на металле. Большая часть сталей, содержащих сероводород, в напряженном состоянии начинает быстро разрушаться. При наличии воды воздействие сероводорода на металл вызывает образование таких веществ как сульфид железа и водород, который в свою очередь частично проникает в металл тем самым делает его хрупким и непрочным. В этом случае при повышении прочности металла на разрыв и текучесть происходит рост опасности сульфидного растрескивания.

Также одним из ключевых признаков, определяющих интенсивность коррозии, является парциальное давление сероводорода в газе. При этом сероводород способен привести к существенной коррозии при парциальном давлении 150 Па [1].

Механизм водородного охрупчивания отличается тем, что в вершине трещины в результате гидролиза продуктов коррозии устанавливаются некие значения рН и потенциала, при которых термодинамически возможен процесс разряда ионов водорода. Далее водород концентрируется на внутренней поверхности трещины, исключив при этом докритическое подрастание трещин по механизму адсорбционного понижения прочности [2].

Одна часть адсорбированного атомарного водорода перераспределяется в молекулы водорода и десорбируется, а вторая – растворяется в решетке металла. Растворенный водород диффундирует в зону трехосного напряженного состояния, расположенную впереди вершины трещины и вызывает снижение теоретической прочности металла. При накоплении критической концентрации водорода возникает микротрещина, которая впоследствии сливается с магистральной.

Доказательством водородного механизма влияния среды является скачкообразный рост трещин. Поскольку диффузия водорода по границам зерен значительно облегчена, что

вызвано повышенной дефектностью их строения, докритический рост трещин происходит преимущественно межзеренно. Для выяснения механизма влияния коррозионной среды часто привлекаются фрактографические исследования. В частности, межзеренный характер распространения трещин в высокопрочных низколегированных конструкционных сталях позволяет рассматривать водородное охрупчивание как механизм, ответственный за ускорение роста трещины [3].

Наиболее всего подвержены водородному низкопластичные стали в сочетании с высокими степенью трёхосности напряженного состояния и градиентов напряжений в вершине трещины. В высокопластичных и низкопрочных сталях снижается объемность напряженного состояния, его зона смещается дальше от вершины трещины, при этом падает градиент напряжений. Все эти факторы влияют на перенос водорода в зону предразрушения и на концентрирование критической концентрации, которая необходима создания трещины.

В случае если задержка водородного охрупчивания связана с проникновением водорода в металл через барьерную окисную пленку, появившуюся вследствие контакта металла и среды, то кинетика роста трещины устанавливается условиями их образования и разрушения. Это в первую очередь касается циклического нагружения, когда от уровня коэффициента интенсивности напряжений и частоты нагружения зависит плотность защитных пленок, препятствующих проникновению водорода в металл [4].

При высокой коррозионной активности в системах металл–среда у вершины трещины возможно возникновение анодного растворения металла, при этом происходит рост длины самой трещины. Роль напряжений в этом случае состоит в механической активации коррозии металла у вершины трещины.

В последнее время развит метод индикации механизма воздействия коррозионных сред. Данный метод основан на сравнении скоростей роста трещин при испытаниях с отсутствием и наложением катодной поляризации. Если внешняя поляризация приводит к усилению кинетики роста трещины, то доминирующий механизм – водородное охрупчивание. И наоборот, снижение скорости роста трещины свидетельствует о возникновении локального анодного растворения, интенсифицируемого соответствующими высокими напряжениями в металле её вершины [5].

Для определения скорости коррозии проведем расчет, базируясь на источнике [6].

Скорость движения газожидкостной смеси:

$$v_{cp}^2 = 3,172 \cdot (\rho_v - \rho_n) \cdot g \cdot D / \rho_v \quad (1)$$

где ρ_v – плотность воды, кг/м³;

ρ_n – плотность нефти, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

D – диаметр трубопровода, м.

$$v_{cp} = \sqrt{3,172 \cdot (1000 - 851) \cdot 9,81 \cdot 0,8 / 1000} = 1,95 \text{ м/с.}$$

Мощность сил трения частиц максимального диаметра о дно трубопровода при расчетной скорости газожидкостной смеси:

$$N = 0,334 \cdot \pi \cdot (\rho_{твч} - \rho_ж) \cdot g \cdot \varphi \cdot v_{cp} \cdot (2 - d/D) \cdot d^4 / D \quad (2)$$

где $\rho_{твч}$ – плотность твердых частиц, кг/м³;

$\rho_ж$ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

v_{cp} – скорость движения газожидкостной смеси, м/с;

d – диаметр частиц, м;

φ – коэффициент трения частиц о металл;

D – внешний диаметр трубопровода, м.

$$N = 0,334 \cdot 3,14 \cdot (7800 - 925,5) \cdot 9,81 \cdot 0,07 \cdot 1,95 \cdot (2 - 0,0012/0,82) \cdot 0,0012^4 / 0,8 = 5 \cdot 10^8 \text{ Вт.}$$

Скорость перехода расслоенной структуры движения смеси $v_{кр1}$ в эмульсионную:

$$v_{кр1} = \sqrt{(D \cdot (\rho_B - \rho_{см})) / 16 \cdot \rho_{см} \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha^2)} \quad (3)$$

где ρ_B – плотность воды, кг/м³;

$\rho_{см}$ – плотность смеси, кг/м³;

α – относительная координата, равная отношению расстояния от оси потока до исследуемой точки к половине диаметра поперечного сечения потока, принимаем $\alpha = 0,99$;

D – внешний диаметр трубопровода, м.

$$v_{кр1} = \sqrt{(0,8 \cdot (1000 - 230)) / 16 \cdot 230 \cdot 0,99 \cdot (1 - 0,99^2)} = 2,91 \text{ м/с.}$$

Проводим сравнение расчетной скорости движения смеси со скоростью $v_{кр1}$. Если расчетная скорость движения смеси при малой обводненности больше $v_{кр1}$, то скорость коррозии принимается равной 0,01 мм/год.

При перекачке высокообводненной нефти скорость перехода эмульсионной структуры потока в дисперсную $v_{кр2}$, при которой происходит вынос твердых частиц в ядро потока:

$$v_{кр2} = \sqrt{(D \cdot (\rho_{тв ч} - \rho_{см})) / 16 \cdot \rho_{см} \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha^2)} \quad (4)$$

$$v_{кр2} = \sqrt{(0,8 \cdot (7800 - 230)) / 16 \cdot 230 \cdot 0,99 \cdot (1 - 0,99^2)} = 9,13 \text{ м/с.}$$

Проводим сравнение расчетной скорости движения смеси со скоростью $v_{кр2}$. Если расчетная скорость движения смеси при высокой обводненности нефти больше $v_{кр2}$, то скорость коррозии принимается равной 0,3 мм/год. Если расчетная скорость смеси меньше $v_{кр2}$, то скорость коррозии определяется по формуле:

$$\omega = 3,1213 \cdot 10^6 \cdot N + 0,3 \quad (5)$$

$$\omega = 3,1213 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-8} + 0,3 = 0,46 \text{ м/с.}$$

Вывод. Основываясь на термодинамических механизмах разрушения материалов, была получена аналитическая зависимость для описания коррозионно-диффузионных процессов в зависимости от напряженно-деформированного состояния металла труб.

Произведен расчет скорости коррозии в трубопроводе, транспортируемом газожидкостную смесь.

Библиографический список:

1. Гутман Э.М., Зайнуллин Р.С., Зарипов Р.А. Долговечность сосудов высокого давления в условиях механохимической коррозии // Коррозия и защита. – 1977. – № 9. – С. 3–5;
2. Гутман Э.М., Шаталов А.Т., Зайнуллин Р.С., Зарипов Р.А. Определение толщины стенок газопромысловых труб с учетом изменения скорости общей коррозии и напряженного состояния металла // Коррозия и защита трубопроводов, скважин, газопромыслового и газоперерабатывающего оборудования. – 1979. – № 2. – С. 15–19;
3. Зайнуллин Р.С., Мухаметшин Р.Р. Разработка математической модели механохимической повреждаемости металла конструктивных элементов с учетом пластической деформации // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2009. – Вып. 3 (77). – С. 73–79;
4. Харисов Р.А., Сазонов К.А. Оценка влияния на ресурс элементов нефтегазового оборудования повреждений и коррозии металла // Безопасность нефтегазового оборудования и трубопроводов: Сб. научн. тр. ГУП «ИПТЭР». – Уфа: ГУП «ИПТЭР», 2010. – С. 27–34;
5. Харисов Р.А., Кантемиров И.Ф., Зайнуллин Р.С. Оценка скорости и торможения развития трещин в трубах при однократных перегрузках // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2011. – № 4. – С. 17–22;
6. Ситенков В.Т., Первозченко В.И. Расчет скорости коррозии трубопроводов, транспортирующих нефтегазовую смесь // Нефтяное хозяйство. – 2004. – №11. – С.104–107.

СЕКЦИЯ 3. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

УДК 542.06 / 66.091

Создание завершеного цикла получения рабочего раствора ферромагнитных наночастиц для глубокой очистки воды от органического загрязнения

Ивенина И. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В нефтедобывающей промышленности для отделения нефти от воды зачастую в промысловых условиях используют резервуары отстойники, в которых со временем происходит самопроизвольное отделение нефти от воды. Но эффективность этого метода весьма ограничена в отношении эмульсий с высокой степенью дисперсности. Дополнительным усугубляющим фактором является наличие в составе нефти природных поверхностно-активных веществ, таких как асфальтены и смолы, стабилизирующих водонефтяную эмульсию.

Такие тонкодисперсные водонефтяные эмульсии не пригодны для вторичного использования в технологических процессах и представляет экологическую опасность для окружающей среды. Используемая методика разбавления пластовой воды с использованием вод из наземных водоемов для снижения содержания нефти до значений ПДК не является решением проблемы.

Поэтому вопрос, касающийся разработки эффективных и относительно недорогих технологий очистки пластовых вод от нефтепродуктов остается открытым.

Проведенные ранее эксперименты [1] показали эффективность обработки водо-нефтяной эмульсии наночастицами магнетита с последующим извлечением нефти из воды в неоднородном магнитном поле. Высокая удельная поверхностная энергия наночастиц приводит к их агрегации на поверхности нефтяных микрокапель. Под действием магнитного поля в сепараторе, создаваемом неодимовыми магнитами, частицы магнетита, сцепленные с нефтяными каплями, движутся в направлении магнитов. Таким образом, нефть легко извлекается из воды в виде нефте-магнетитной массы.

Важным моментом в предлагаемом процессе разделения водонефтяной является использование свежесожденного магнетита. Это обусловлено необходимостью стабилизации наночастиц, поскольку они склонны к агрегации [2]. В магнитных жидкостях такими стабилизаторами могли бы органические поверхностно-активные вещества (ПАВ). Однако они могут стать для очищаемых вод дополнительным источником загрязнения, что послужило основанием отказа от стабилизации рабочей жидкости наночастиц.

Использование свежесожденного магнетита, а также неизбежный вопрос утилизации отработанного магнетита, загрязненного нефтью, ставит вопрос о возможности регенерации очищающего реагента.

С этой целью в технологическую схему очистки воды предложено введение узла регенерации ферромагнитных наночастиц, что позволит оптимизировать экологический, технический и, в определенной мере, экономический аспект метода. Изначально последовательность операций для получения рабочей жидкости предполагала следующую схему (рис. 1) [3].

Эта схема была опробована в лабораторных условиях. В соответствии с ней были получены образцы рабочей жидкости, содержащей ферромагнитные наночастицы, и использованы для очистки модельных образцов загрязненной нефтью воды. После чего очищенную воду исследовали на содержание остаточной нефти. Для измерений использовали однолучевой сканирующий спектрофотометр SQ2800 серии UNICO 280X с использованием толуола в качестве экстрагента методом экспресс-анализа, описанном в работе [4].

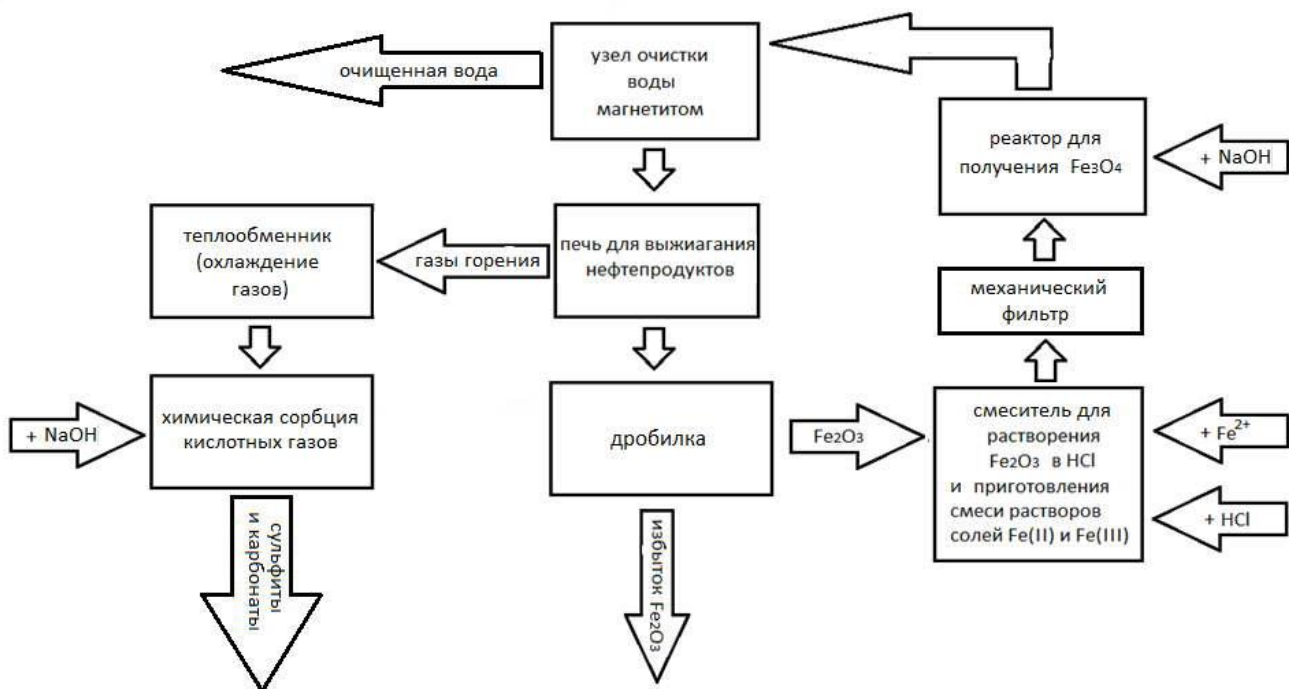


Рисунок 1 - Узел регенерации ферромагнитных наночастиц в технологической схеме очистки воды от эмульгированной нефти.

Эффективность очистки при выверенном режиме обработки воды и извлечения нефтемагнетитной массы оказалась достаточной и позволила достичь показаний загрязнения ниже предельного допустимых для нефти 0,3 мг/л.

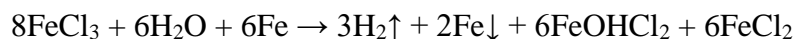
Важно отметить, что разработанный метод получения ферромагнитных наночастиц не дает опасных отходов. Химические отходы, получаемые на разных стадиях регенерации, находят свое применение и легко утилизируются. Избыточный оксид железа (III) (со временем происходит его наработка) изначально предполагалось использовать как сырье для получения железа или для процессов электрокоагуляции.

Для утилизации образующегося оксида трехвалентного железа в данной работе предложено использовать метод электрохимического восстановления. Для этого оксид железа (III), растворенный в соляной кислоте (одна из стадий в схеме регенерации наночастиц, рис. 1) подвергают электролизу с железными электродами. При этом, как показал эксперимент, происходит следующие реакции:

на аноде: $\text{Fe}^0 - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ (растворяется анодное железо);

на катоде: 1) $\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^0$; 2) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

Учитывая эквивалентные соотношения и результаты наблюдений за электролизом, получаем суммарную электролизную реакцию:



Предварительные опыты позволили установить следующее. Во-первых, процесс осуществим и позволяет получить раствор соли двухвалентного железа (качественная реакция на ионы Fe^{2+} давала яркий эффект). Содержание железа Fe^{3+} после электролиза качественно обнаруживалось слабо, что, кроме выделения на катоде, могло быть обусловлено образованием стойкого иона $\text{Fe}(\text{OH})_2^{2+}$ или $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Эту проблему можно будет решить подкислением раствора. Во-вторых, выход реакции по току дал результат не менее 80%. Этот факт определяли по уменьшению массы анода в результате электролиза. В дальнейшем предполагается оптимизировать процесс за счет выбора оптимальной концентрации раствора, времени электролиза и напряжения на электродах.

Кроме того, в процессе электролиза активно выделяется водород, который также является ценным сырьем.

Таким образом, разработана и опробована в лабораторных условиях технологическая цепочка по синтезу нестабилизированных ферромагнитных наночастиц для выделения нефтепродуктов из прямой водонефтяной эмульсии, исключая образование экологически опасных и (или) трудно утилизируемых отходов.

Библиографический список:

1. Ивенина И. В., Смирнов Ю. Г., Лютоев А. А. Исследование эффективности извлечения нефти из водонефтяной эмульсии при помощи ферромагнитных наночастиц // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – №10. – С. 98-101.
2. Ивенина И. В., Смирнов Ю. Г., Лютоев А. А., Истомина Е. И. Разработка технологии регенерации наночастиц магнетита в процессе очистки воды от эмульгированной нефти // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – №7. – С. 24-28.
3. Лютоев А. А., Ивенина И. В., Смирнов Ю. Г. Регенерация ферромагнитных наночастиц в ходе тонкой очистки воды от эмульгированной нефти // Рассохинские чтения: материалы международной конференции. В 2 ч. Ч. 2. – 2018. – С. 258-260.
4. Ивенина И. В., Смирнов Ю. Г., Лютоев А. А. Метод экспресс-анализа содержания остаточной нефти в воде [Электронный ресурс] /И. В. Ивенина, Ю. Г. Смирнов, А. А. Лютоев //Электронный научный журнал Ухтинского государственного технического университета "Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения". – 2018. – №2 (12). – С. 5-13. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35625389> (дата обращения: 20 мая 2022 г.).

УДК 662.5:556.3

Оценка влияния водоотлива шахтных вод угольного разреза Юнь-Яга на гидрологические показатели водоемов на территории разреза

Баранова Р. Р., Чихалина В. В.

Научный руководитель - Бутов А. В.

*Ухтинский государственный технический университет (филиал в г. Воркута),
г. Воркута, Россия*

После ликвидации в 1996 году шахты «Юнь-Яга», отрабатывавшей одноименное месторождение, встал вопрос о списанных балансовых запасах неотработанной части месторождения. При ликвидации шахты были списаны с полным снятием с учета 8,0 млн. т, остаточные запасы по пластам n_{11} и n_{14} .

В результате работы Коми Республиканской комиссии по запасам, Межведомственной комиссии по недропользованию Министерства Республики Коми, а также работ по геологическому изучению условий в полосе выходов угольных пластов n_{11} и n_{14} на западном борту Юньягинской мульды было принято решение о ведении добычи угля открытым способом на отдельных участках месторождения.

Разрез «Юньягинский» начал работу в июле 2000 года и стал первым и до сих пор единственным в мире предприятием, добывающим уголь открытым способом в условиях Крайнего Севера (за Полярным Кругом).

Территориально разрез расположен в 15 км на юго-восток от г. Воркута. В отработке находятся два пласта n_{11} и n_{14} мощностью 1,5-2,3 м, углы падения 5-45°, глубина ведения работ от 5 до 80 м.

Вскрышные работы ведутся буровзрывным способом, система разработки принята мобильными экскаваторно-автомобильными комплексами БелАЗ 755 и ЭКГ-5А, рыхление и планировка производится бульдозерами Komatsu PC 2000-8 с ёмкостью ковша 11 м³ и Caterpillar D10T.

На гидрологический режим водоемов, расположенных как в импактной зоне, так и в фоновой зоне, влияют стоки с территории Юньягинского угольного месторождения. Поэтому

для сравнения были взяты водоемы, расположенные за границами горного отвода и непосредственно на площади месторождения.

Поверхностный и подземный сток с территории Юньягинского угольного месторождения дренируют два главных водотока – река Юньяга (левый приток реки Воркута) и ручей Торфяной (левый приток реки Аячъяга).

Для определения скорости течения и расхода воды были организованы наблюдения на створах, расположенных в четырех водотоках.

Ручей Торфяной.

Протекает по северной части Юньягинского месторождения. Ширина его – до 2,5 м. Скорость течения – 0,4 м/сек. Расход воды 0,095-0,173 м³/сек. Режим ручья естественный и не подвержен непосредственному воздействию карьера. Техногенное влияние на ручей проявляется после впадения в ручей Правый.

Ручей Правый (приток ручья Торфяного).

Вытекает из водоема, в который попадают стоки промплощадки закрытой шахты. Водоем примыкает с севера к подножию разобранного терриконика шахты. Образовался в результате подтопления поверхностными и подземными водами понижений рельефа над выработанным пространством. Ручей начинается в заболоченной низине, русло его плохо выработано. Расход при скорости 0,3 м/сек. составляет 0,02-0,048 м³/сек. На всем его протяжении в пойме наблюдаются выходы подземных вод в виде небольших родников.

Река Юньяга.

Ширина изменяется от 3 м на перекатах до 25 м на плесах. Река пересекает месторождение с востока на юго-запад. Во время работы шахты она подтапливала выработки, проходившие под руслом. Чтобы уменьшить водопиток в шахту, русло было перекрыто дамбой, а река направлена в обход шахтного поля по искусственной обводной канаве, но несмотря на водоотведение в старом русле реки продолжает существовать водоток с расходом 0,086 м³/сек. В районе плотины пос. Советский этот водоток снова исчезает, полностью перетекая в шахтные выработки.

Ручей Безымянный.

Через него в реку Юньяга сбрасывается водоотлив карьера, который представляет собой откачку воды из шахтных выработок. В результате водный режим ручья, в основном, зависит от объема этой откачки. При этом в летнюю межень объем сброса может почти вдвое превышать расход реки. Расход воды в ручье 0,3-0,4 м³/сек. Скорость течения – 0,3-0,5 м/сек. Ручей дренирует выходящие на поверхность подземные воды шахтного поля. Они незначительны по дебитам.

Большое влияние в природные особенности поверхностных водотоков вносит водоотлив из разреза. Водоотлив формируется из объемов шахтных вод Юньягинского месторождения.

Основной объем шахтных вод попадает в ручей Безымянный. При этом собственный расход воды в створе ручья выше разреза составляет 80-82 м³/час, а объем шахтного водоотлива составляет ориентировочно от 1200 до 2000 м³/час. Следовательно, влияние водоотлива из разреза на водоток ручья прослеживается отчетливо.

Природные поверхностные водоемы окружающей тундры вне влияния карьера имеют иной состав воды. Характерная зональная особенность химического состава их вод – это, прежде всего, низкая минерализация, гидрокарбонатно-кальциевый (натриевый) характер с малым содержанием хлоридов. Многочисленные в ландшафте тундры мелководные озера на условно чистой территории расположены в мерзлой толще, сильно заболочены и с подземным водоносным горизонтом не связаны. За счет этого их кислые воды имеют высокие показатели цветности и содержания взвешенных веществ органического происхождения.

Поверхностные воды в зоне закрытой шахты и угольного карьера.

Ввод в эксплуатацию на Юньягинском месторождении разреза повлек, в первую очередь, серьезные последствия в перераспределении направления подземного стока, который стал разгружаться в разрез. Поэтому поверхностные воды в зоне закрытой шахты и разреза имеют специфический состав.

Подземный сток месторождения стал оказывать влияние на химический состав поверхностных подземных вод на всей территории подработки. Очень высокая минерализация (свыше 2 г/дм^3) [1] за счет резкого увеличения содержания сульфат-иона в первый год эксплуатации была определена в водоеме у промплощадки закрытой шахты. Источник сульфатов – окисление сульфидсодержащих угольных пород и выщелачивание породных отвалов.

Осушение шахтных выработок при разработке карьера привело к перераспределению области разгрузки подземных вод. Сейчас вся площадь шахтного поля дренируется через подземные выработки водоотливом карьера. При этом происходит не прямой переток в шахту поверхностных вод, а их инфильтрация через толщу четвертичных отложений, за исключением подтока из реки Юньяга в старом русле. Здесь водоток полностью уходит в шахтные выработки. Выход вскрытых минерализованных сульфатных вод локализуется в опережающей выемке карьера, из которой и происходит их откачка. Это сразу же привело к рассолению принимающих водотоков.

Резкое увеличение объема водных масс двух принимающих водотоков под влиянием водоотлива карьера повлекло вынос и химических элементов. Они значительно изменили гидрохимический состав водотоков и, в первую очередь, за счет тех веществ, источником которых являются вскрытые угольные породы карьера. Это нитраты и сульфаты.

Можно предположить засоление вод реки Юньяги. В то же время увеличение в поверхностных водах содержания солей на самом начальном этапе влияния разреза может оказывать на жизнь водоемов и стимулирующее влияние за счет присутствия дефицитных для живых организмов тундры нитратов.

Карьер является началом переноса по водотокам и минеральных взвесей. Их повышение ощутимо в обоих водотоках, принимающих водоотлив карьера (до $4,9 \text{ г/сек.}$). Это на порядок выше количества взвешенных веществ в реке Юньяга на отрезке ее течения вне зоны влияния водоотлива карьера (таблица 1).

Связано это с гидрологическими показателями ручья Безымянного, в частности скорость его течения в створе с разрезом составляет $0,4-0,5 \text{ м/сек.}$ Расход ручья составляет всего $0,023 \text{ м}^3/\text{сек.}$, или $81 \text{ м}^3/\text{час.}$ Ниже водоотлива из карьера естественного водотока уже нет. При увеличении расхода воды за счет водоотлива до $0,356-0,56 \text{ м}^3/\text{сек.}$ скорость потока возрастает до $0,5-0,6 \text{ м/сек.}$ За счет сужения русла скорость увеличивается до 1 м/сек. Это повышает транспортную способность потока, в результате чего вынос взвешенных веществ в реку Юньяга увеличивается[4].

Таблица 1. – Вынос взвешенных и растворенных веществ в водотоках зоны влияния разреза

Показатели	Руч. Безымянный перед впадением в реку Юньяга	Река Юньяга		
		выше обводной канавы	выше ручья Безымянного	ниже ручья Безымянного
Взвешенные вещества	2,5-3,9	0,3	0,8	4,9
Нитраты, NO_3^-	1,6-2,5	0,04	0,07	1,8
Фосфаты, PO_4^-	0,004-0,007	-	0,03	0,02
Сульфаты, SO_4^{2-}	367-576	4,3	6,2	256
Хлориды, Cl^-	3,9-6,2	0,2	0,3	3,7
Кальций, Ca^{2+}	97-153	6	7,9	79
Магний, Mg^{2+}	56-88	1,5	2	49
Минерализация	846-1329	42	56	693

Концентрация ионов в воде водоотлива карьера подвержена сезонным колебаниям. Содержание сульфатов и ионов калия и натрия нарастает с промерзанием почв и прекращением поверхностного стока на водосборной площади. Это продолжается до начала мая.

Концентрация этих ионов в шахтном водоотливе увеличивается более чем в 2 раза. В этот период водоотлив представлен в основном шахтными водами. С началом снеготаяния в начале мая и до начала июля талые воды попадают в водоотлив и общая минерализация воды резко снижается. С прекращением весеннего и до начала осеннего паводков содержание сульфатов и ионов калия и натрия снова нарастает до максимума.

Можно сделать вывод о том, что за счет вскрытия водотоков и значительного их разбавления поверхностным водопритокком происходит уменьшение доли поступающих в водоотлив шахтных вод.

В целом исследования показывают, что интенсивный и постоянный сброс стоков без очистки приводит к тому, что химический состав воды водотоков – водоприемников и шахтных вод становится очень сходным[2]. Положительную роль в снижении содержания микроэлементов играет фитоперифитон и, в некоторой степени, нитчатые водоросли, способные накапливать их в водных экосистемах с угольным загрязнением.

Библиографический список:

1. Какунов, Н.Б. Природные условия Воркутинского промышленного района и их изменения под влиянием освоения /Н.Б. Какунов– Текст : непосредственный // Отчет о научно-исследовательской работе по региональному научно-техническому проекту «Разработка критериев экологоэкономической и социальной стабильности восточно-европейского сектора Субарктики в условиях становления рыночной экономики, обеспечивающих геополитические интересы Российской Федерации». - ВТИЦентр, № гос. Рег. 002214. - М., 1997. - С. 7-34.
2. Максимович Н. Г., Блинов С. М. Трансформация химического состава гидросферы в пределах Кизеловского угольного бассейна / Н. Г.Максимович, С. М. Блинов– Текст : непосредственный // Многоцелевые гидрогеохимические исследования в связи с поисками полезных ископаемых и охраной подземных вод: Тез. докл. Всеросс. совещ. - Томск, 1993. - С. 84-85.
3. Хохлова, Л.Г. Оценка качества воды водоемов Воркутинского промышленного комплекса /Л.Г. Хохлова. – Текст : непосредственный Сыктывкар, 1994. - 24 с. - (Сер. препр. «Науч. докл.» // Коми науч. центр УрО РАН; Вып. 346).
4. Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) : [монография] / [Гецен М. В. и др.; отв. ред. М. В. Гецен]; М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Коми, Респ. экол. центр по изучению и охране восточноевроп. тундр при Минприроды РК, Ин-т биологии Коми науч. центра УрО РАН, ОАО по добыче угля "Воркутауголь". - Сыктывкар : Респ. экол. центр по изучению и охране восточноевроп. тундр, 2005 (Сыктывкар: Коми Респ. тип.). - 245 с. -Текст: непосредственный.

УДК 614.83

Применение метода АББ на примере объекта хранения сжиженных углеводородных газов

Матонина Ю. С.¹, Молева Е. С.¹, Климова И. В.¹, Севостьянова О. П.²

1-Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

г. Санкт-Петербург, Россия

2- Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Цель работы – исследование эффективности метода «Анализ барьеров безопасности» при моделировании аварийной ситуации на объектах хранения сжиженных углеводородных газов (СУГ).

Для достижения поставленной цели были рассмотрены основные причины возникновения инициирующего события аварий на объектах хранения сжиженных углеводородных газов. Под инициирующим событием будем понимать частичную разгерметизацию объектов хранения, так как полная разгерметизация надземных резервуаров на практике происходит исключительно в определенных случаях и условиях [1]. В свою

очередь, для частичной разгерметизации не требуется большого количества факторов, чтобы привести в действие данное инициирующее событие. Основными последствиями разгерметизации объектов хранения СУГ являются:

1. Взрыв;
2. Факельное горение;
3. Газовое облако.

На первом этапе теоретических исследований была разработана схема возникновения разгерметизации, указанная на рис. 1. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что, без своевременного реагирования и первоначальной проработки вопросов безопасности на объектах хранения сжиженных углеводородных газов, каждый фактор, указанный на схеме, может привести к последствиям с экономическим, экологическим и технологическим ущербом [2].

На втором этапе рассмотрения причин разгерметизации объектов хранения СУГ были установлены мероприятия по ликвидации факторов, приводящих к аварии. В качестве мер по снижению риска реализации рассмотренных факторов на этапе формирования причин возникновения аварий применяется метод «Анализ барьеров безопасности» [3]. Барьеры безопасности используются на разных этапах жизненного цикла объекта. Основное достоинство использования данного метода заключается в его наглядности при проведении анализа развития аварийных процессов.

Рассмотрим классификацию барьеров безопасности, используемых в данной работе (Рис. 3). Метод «Анализ барьеров безопасности» основывается на барьерных системах, которые реализуют работу барьерной функции [4].

Приведенные в данной работе барьеры указаны на рис. 3.

При выявлении предупреждающих барьеров были выделены основные и дополнительные группы.

Под основными барьерами будем понимать барьеры, направленные на общее предотвращение разгерметизации объектов хранения сжиженных углеводородных газов. Таким образом, для предупреждения аварий необходимо произвести мероприятия по обеспечению основных барьеров. Для более детального и углубленного обеспечения безопасности необходимо использовать дополнительные барьеры, направленные на локальные риск-факторы, указанные в первом столбце на рис. 3.

Развитие технологического процесса влечет за собой результаты работы промышленности и других отраслей. Так, на текущий момент все чаще встречается использование сжиженных углеводородных газов в таких сферах, как промышленность, транспорт и быт. Наиболее распространенное использование СУГ является в качестве топлива [5].

Любой вид использования и хранения сжиженных углеводородных газов не может существовать без вероятности возникновения аварий, если не предпринимать никаких действий для их предупреждения и предотвращения. Таким образом, можно сделать вывод, что любое использование сжиженных углеводородных газов невозможно без обеспечения предупреждающих барьеров на объектах их хранения.

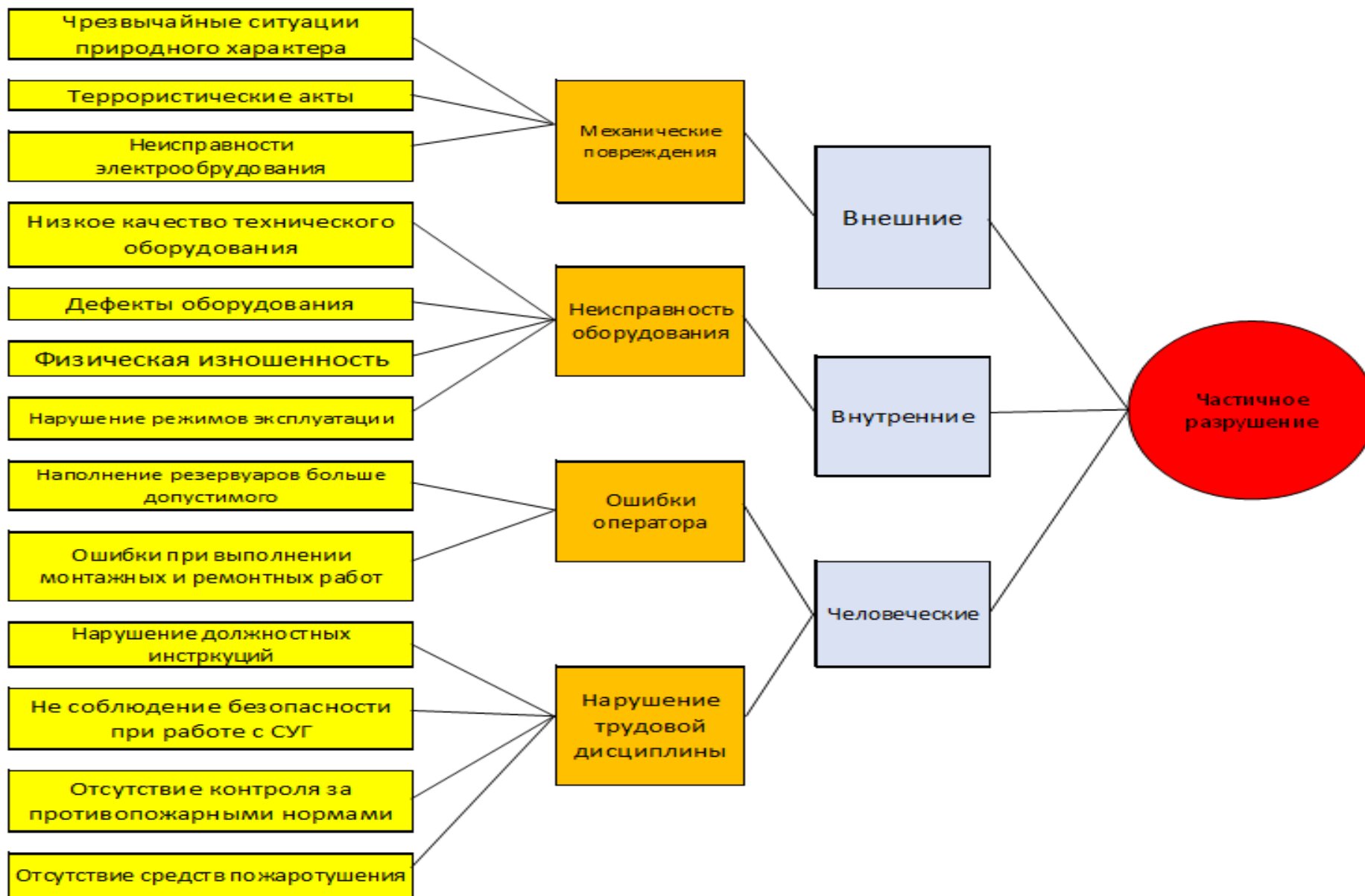


Рисунок 1 - Причины возникновения аварий на объектах хранения СУГ

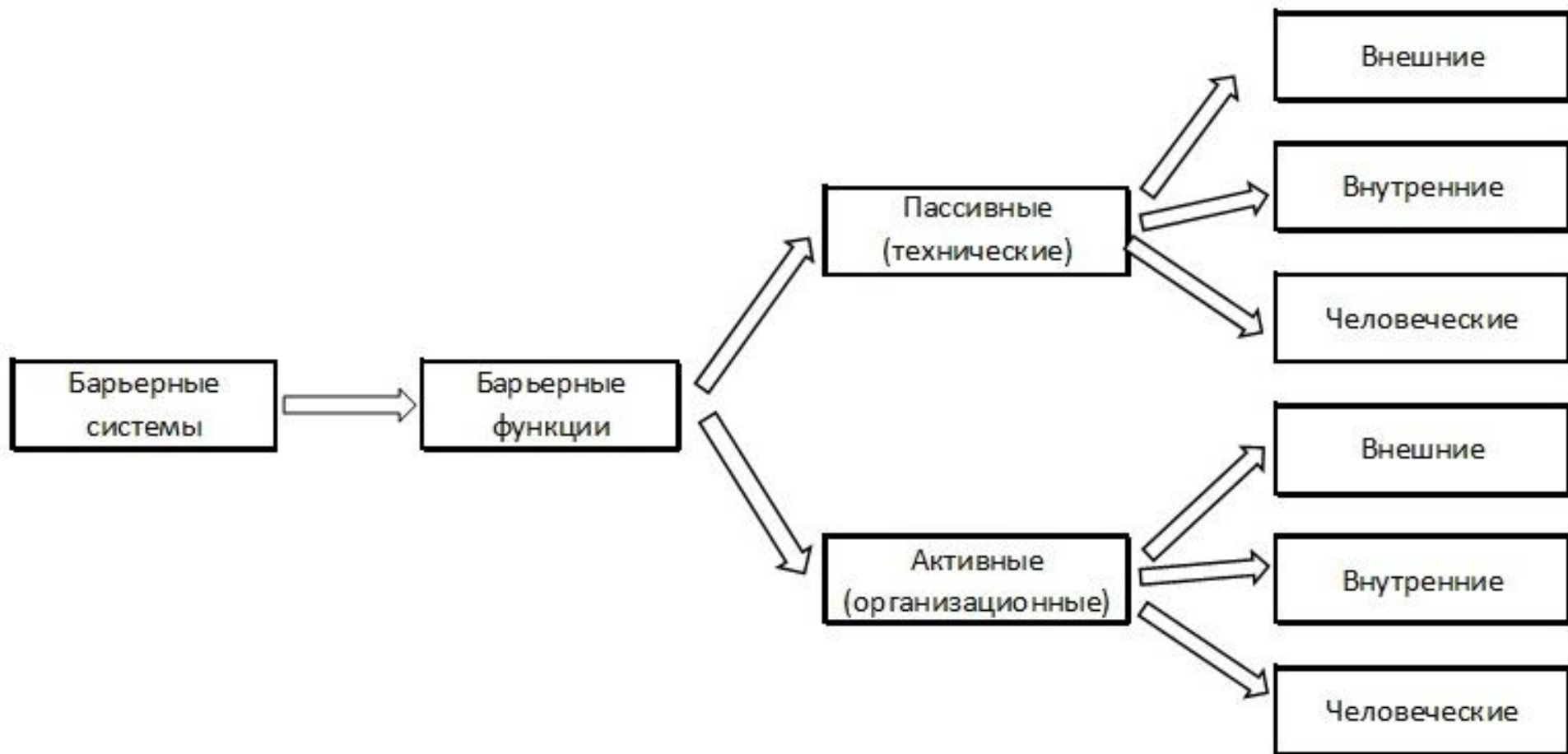


Рисунок 2 - Классификация барьеров безопасности

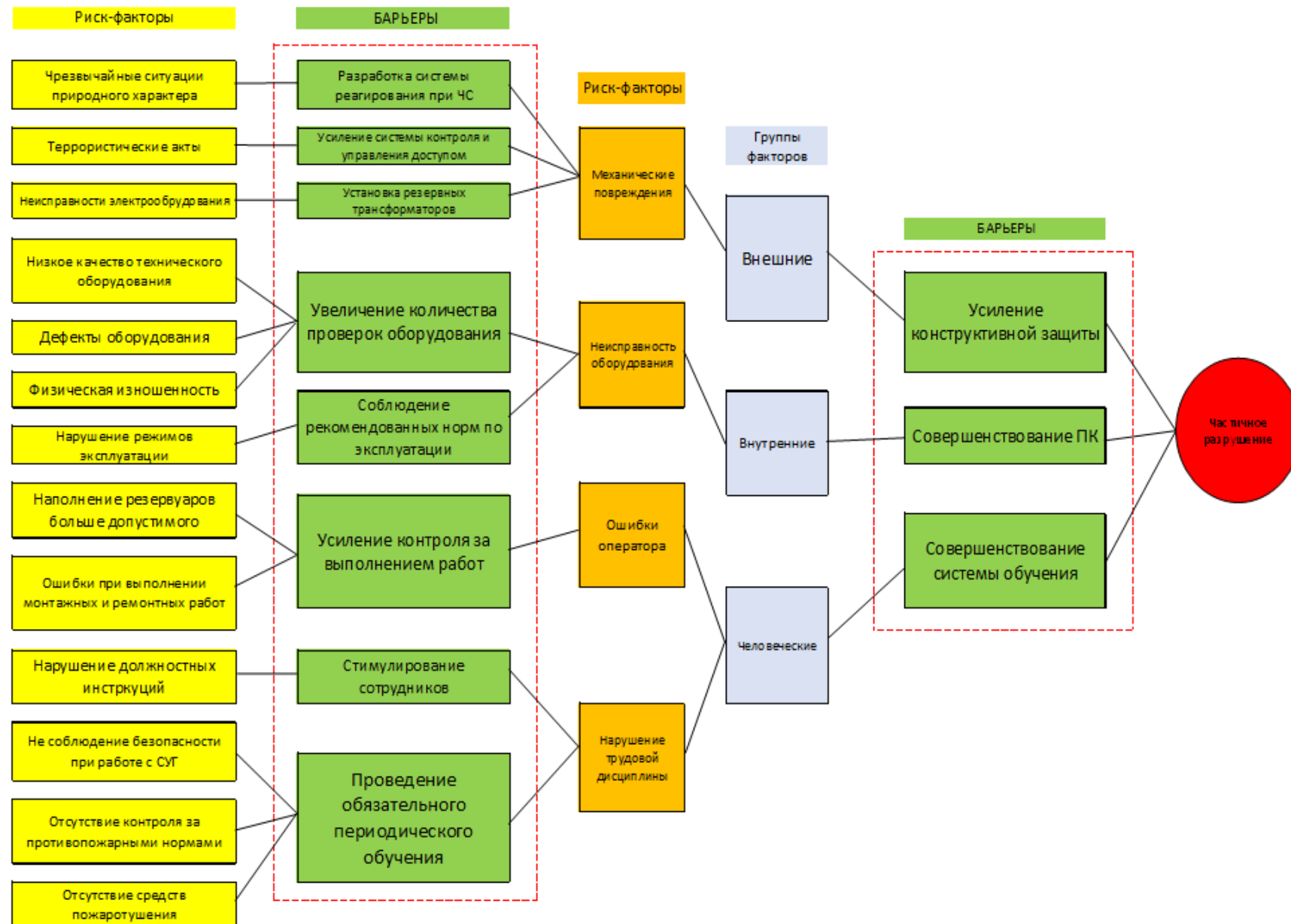


Рисунок 3 - Причины возникновения аварий на объектах хранения СУГ с применением барьеров

Библиографический список:

1. Недлин М. С., Вольнов Ю. Н., Гордеева Р. П. Безопасность АГЗС: инженерные решения или административные барьеры? // «Транспорт на альтернативном топливе» № 4 (22). - 2011. - №4. - С. 15-17.
2. Кейн О.П., Климова И.В. Снижение индивидуального риска для работника автозаправочных станций с построением логических моделей аварии// Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 7. — С. 81-85.
3. Приказа РТН от 11.04.2016 №144 «Об утверждении Руководства по безопасности. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
4. Жуков И.С. Барьеры безопасности: понятие, классификация, концепции // Безопасность труда в промышленности. - 2017. - №5. - С. 49-56.
5. Барабанов А.А. Безопасность технологических процессов на объектах, использующих СУГ // «Транспорт на альтернативном топливе» № 6 (18). - 2010. - №6. - С. 64-68.

УДК 332.63 (470.13)

Обоснование методов кадастровой оценки земельных участков недропользования

Пильник Ю. Н., Рекова Е. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Отличительной чертой при кадастровой оценке земельного участка недропользования является временной период его использования, который требуется для подготовки его к добыче полезных ископаемых. Особые условия возникают при формировании санитарно-защитной зоны будущего предприятия, обеспечения необходимыми ресурсами в требуемом объеме.

Чтобы получить право на добычу полезных ископаемых карьерным способом, необходимо оформить лицензию на карьер. В последнее время она выдаётся лишь победителю аукциона, на который выставляется право получения лицензии на определённый карьер, которая и является предметом аукциона. Победителем объявляется тот, кто предложит более высокую цену и соблюдет все условия аукционной документации. Он и получает лицензию на карьер.

Разработка песчаных, грунтовых, гравийных и других карьеров с месторождениями полезных ископаемых, широко применяемых в строительстве, является неотъемлемой составляющей работы строительной отрасли во всех сегментах строительного рынка. Инертные материалы, добываемые в карьерах Республики Коми и других регионов страны, идут на нужды строительных компаний и частных застройщиков, используются в дорожном строительстве и территориальном благоустройстве, добываются про запас и на продажу.

Земельные участки, используемые для целей недропользования, расположены во всех 20 муниципальных образованиях Республики Коми (табл.1).

Кадастровая оценка проводится с целью определения кадастровой стоимости земельного участка, которая влияет на размер налоговой базы.

Относительно земельных участков, богатых полезными ископаемыми, ситуация обстоит особенно сложно, так как при определении факторов влияющих на стоимость земель недропользования необходимо учитывать объем запасов полезных ископаемых.

При выборе подхода кадастровой оценки данного сегмента следует понимать, что отсутствие информации не позволяет спрогнозировать будущие доходы, которые объект оценки способен приносить.

Использование затратного подхода как совокупность методов оценки, основанных на определении затрат, необходимых для восстановления либо замещения объекта оценки для оценки земельных участков – объектов не воспроизводимых, в чистом виде не применим.

При использовании сравнительного подхода следует исключать вклад предпринимательской деятельности в стоимость объекта недвижимости, а также долю стоимости движимого имущества, являющегося самостоятельным объектом имущественного налогообложения.

Таблица 1 - Земельные участки, используемые для целей недропользования.

Муниципальное образование	Количество земельных участков, шт.	Площадь земельных участков, м ²
МО МР Прилузский	4	74 162,00
МО МР Койгородский	3	106 606,00
МО МР Сысольский	2	164 019,00
МО МР Сыктывдинский	6	215 680,00
МО МР Корткеросский	1	299 386,00
МО МР Усть-Куломский	2	352 493,00
МО МР Усть-Вымский	12	730 558,00
МО МР Удорский	6	1 378 800,00
МО МР Княжпогостский	36	3 456 696,20
МО МР Троицко-Печорский	63	868 731,00
МО МР Печора	89	9 805 548,00
МО МР Усть-Цилемский	12	544 726,00
МО МР Ижемский	11	800 850,00
МО ГО Усинск	634	7 709 596,00
МО ГО Воркута	156	98 893 427,00
МО ГО Вуктыл	90	1 295 101,10
МО ГО Инта	31	5 026 953,35
МО МР Сосногорск	627	7 878 139,60
МО ГО Ухта	28	2 840 749,20
Итого	1813	142 442 221,45

В ходе изучения рынка на территории Республики Коми не обнаружены предложения продажи или аренды земельных участков под недропользование. Было принято решение о сборе рыночной информации о ценах предложений продажи земельных участков, сходные с оцениваемым по виду использования и расположенные в иных субъектах Российской Федерации. За период с 2016 по 2021 год выявлено 113 предложений продажи, из которых по виду добываемого ресурса обнаружено 6 предложений продажи земельных участков под добычу топливно-энергетических полезных ископаемых, 2 предложения под добычу полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических (золото и платина) и остальные предложения продажи (105) относятся к добыче прочих полезных ископаемых, таких как камень для строительства, гравий, песок, известняк, камень гипсовый и мел, глина, щебень.

При анализе представленных предложений выявлено, что предлагаемые к продаже объекты фактически представляют собой бизнес. В основном в предложениях к продаже предлагаются юридические лица, на балансе которых находятся материальные и нематериальные активы, расходы на приобретение которых, не должны быть отнесены на стоимость земельного участка с карьером.

В определении кадастровой стоимости земельного участка не учитываются улучшения земельного участка, которые поставлены на кадастровый учет и (или) бухгалтерский учет, степень благоустройства земельного участка. При определении кадастровой стоимости не учитываются влияние предпринимательской деятельности.

Таким образом, предложения продажи, в которых упоминается о передаче материальных и нематериальных активов, не могут быть объектами сравнения для оцениваемых земельных участков, так как расходы на приобретение активов не должны быть отнесены на стоимость земельного участка. Также в стоимость земельного участка не должна быть включена стоимость лицензии.

На сайте Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды в разделе «Деятельность» [1] размещается документация по проведению аукционов на получение права пользования недрами с целью геологического изучения, разведки и добычи. В 2019 году

признаны состоявшимися 16 аукционов на территории Республики Коми, в 2020 году - 5, в 2021 всего 2. По результатам проводимых аукционов победителям предоставляются права пользования участками недр, имеющими статус горного отвода в предварительных границах земельных участков определенной площади. Уплаченная победителем аукциона цена является рыночной стоимостью права пользования участком недр определенной площади, не включает в себя стоимость разрешительной документации, лицензий и т.д., и может быть использована для расчета стоимости типового (эталонного) объекта в рамках рассматриваемой группы объектов оценки без внесения каких-либо корректировок, учитывающих затраты на наличие материальных и нематериальных активов.

По результатам анализа состоявшихся аукционов установлено, что площадь участка недр указана лишь в документах по 7 аукционам на получение права пользования недрами с целью геологического изучения, разведки и добычи (Табл. 2).

Стоимость 1 квадратного метра участка недр находится в диапазоне от 0,0036 до 24,4539 рублей. При этом необходимо заметить, что площадь этих земельных участков по различным видам недр очень сильно отличается друг от друга и находится в пределах от 3,07 млн кв. м. до 611 млн. кв. м.

Учитывая, что земельные участки с известной площадью по состоявшимся аукционам не сопоставимы с объектами, подлежащими кадастровой оценке, было принято решение осуществить определение кадастровой стоимости земельных участков для целей недропользования в рамках сравнительного подхода с применением метода типового (эталонного) объекта, полученного при определении кадастровой стоимости объектов недвижимости группы «Земельные участки, используемые для размещения производственных объектов» [2], с учетом известных характеристик объектов недвижимости группы, в том числе, с учетом корректировки на вид разрешенного использования по данным Ассоциации развития рынка недвижимости «СтатРиелт», площади, местоположения, наличия подключения к централизованным сетям коммуникаций.

Таблица 2 - Удельный показатель цены по аукционам в Республике Коми

Полезное ископаемое	Местоположение на уровне МО РК	Площадь в м ² .	Цена, предложенная участниками руб.	Удельный показатель цены, руб./м ²
Уголь коксующийся	МО ГО Воркута	3 600 000,00	88 034 100,00	24,4539
Уголь коксующийся	МО ГО Воркута	3 070 000,00	44 397 100,00	14,4616
Угледородное сырье	МО МР Сосногорск	563 700 000,00	2 869 200,00	0,0051
Угледородное сырье	МО МР Сосногорск	530 800 000,00	4 702 500,00	0,0089
Строительный песок и песчано-гравийная смесь	МО МР Печора	28 550 000,00	8 280 000,00	0,2900
Угледородное сырье	МО ГО Вуктыл	611 000 000,00	2 217 600,00	0,0036
Строительный песок и песчано-гравийная смесь	МО ГО Воркута	28 545 000,00	8 694 000,00	0,3046

Базой для расчета служит итоговый результат определения стоимости типового (эталонного) объекта, расположенного по адресу: Республика Коми, г. Сыктывкар. Удельный показатель кадастровой стоимости земель, которого составил 217,68 рублей за 1 кв.м.

Библиографический список:

1. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды [сайт]: <https://mpr.rkomi.ru/> .
2. Отчет об итогах государственной кадастровой оценки земельных участков, находящихся в составе земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения, земель особо охраняемых территорий и объектов, земель водного фонда на территории Республики Коми – Сыктывкар, 2020 – 226 ст.

УДК 614.8:349.2

Нормативное регулирование и изменение законодательства в области охраны труда в 2022 году

Поликарпова М. В., Нор Е. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Целью изменений раздела Трудового кодекса Российской Федерации, касающегося раздела охраны труда, является персонализация системы управления охраной труда с учетом проведенной оценки профрисков и специфики производственной деятельности.

Введенные поправки в раздел X Трудового кодекса повлекут за собой существенные изменения в системе управления охраной труда. Законодательство установило перед работодателями задачу максимально полно учитывать в положении о системе управления охраной труда индивидуальные особенности конкретных рабочих мест.

К основным поправкам введенным в раздел охраны труда Трудового кодекса относятся:

- выявление профрисков,
- принципы обеспечения безопасности труда,
- расследование микротравм,
- единые типовые нормы бесплатной выдачи работникам СИЗ,
- обучение по охране труда,
- запрет на работу в опасных условиях труда.

Рассмотрим каждую из этих поправок более подробно.

1) Выявление профрисков

В главе Трудового кодекса под названием «Управление охраной труда» была введена новая редакция ст. 218 «Профессиональные риски». В данной статье они подразделяются на риски травмирования и риски получения профессиональных заболеваний в зависимости от того, что стало причиной.



Рисунок 1 – Управление рисками

2) Принципы обеспечения безопасности труда

В новой редакции данного раздела также появилась статья 209.1, в которой описаны два основополагающих принципа обеспечения безопасности труда:

- предупреждение и профилактика,
- минимизация повреждения здоровья [1].

На сегодняшний момент направлению «предупреждение и профилактика» уделяется минимальное количество времени. Работодатели привыкли реагировать на чрезвычайную ситуацию уже после того, как она совершилась. Теперь же, концепция безопасного производства будет работать при помощи превентивных мер.

Проанализировав основные и вспомогательные причины производственного травматизма и профзаболеваний, характерные для определенного вида деятельности предприятия, можно будет понять, какие меры помогут руководителю улучшить ситуацию. Для этого, с целью снижения уровня опасностей на рабочих местах, руководитель должен постоянно улучшать условия труда своих работников.

Что касается направления «минимизации повреждения здоровья», то нулевых травматизмов не существует. Как гласит основная аксиома безопасности жизнедеятельности – любой вид деятельности потенциально опасен, следовательно даже если все меры по предупреждению и профилактике будут исполнены, останутся два фактора, которые нужно учитывать при оценке травматизма:

- первый фактор – это человеческий, т.к. можно сказать, что именно человек является слабым звеном в технологической цепи;
- второй фактор - сбои в работе техники, которые возможны как по внутренним, так и по внешним причинам.

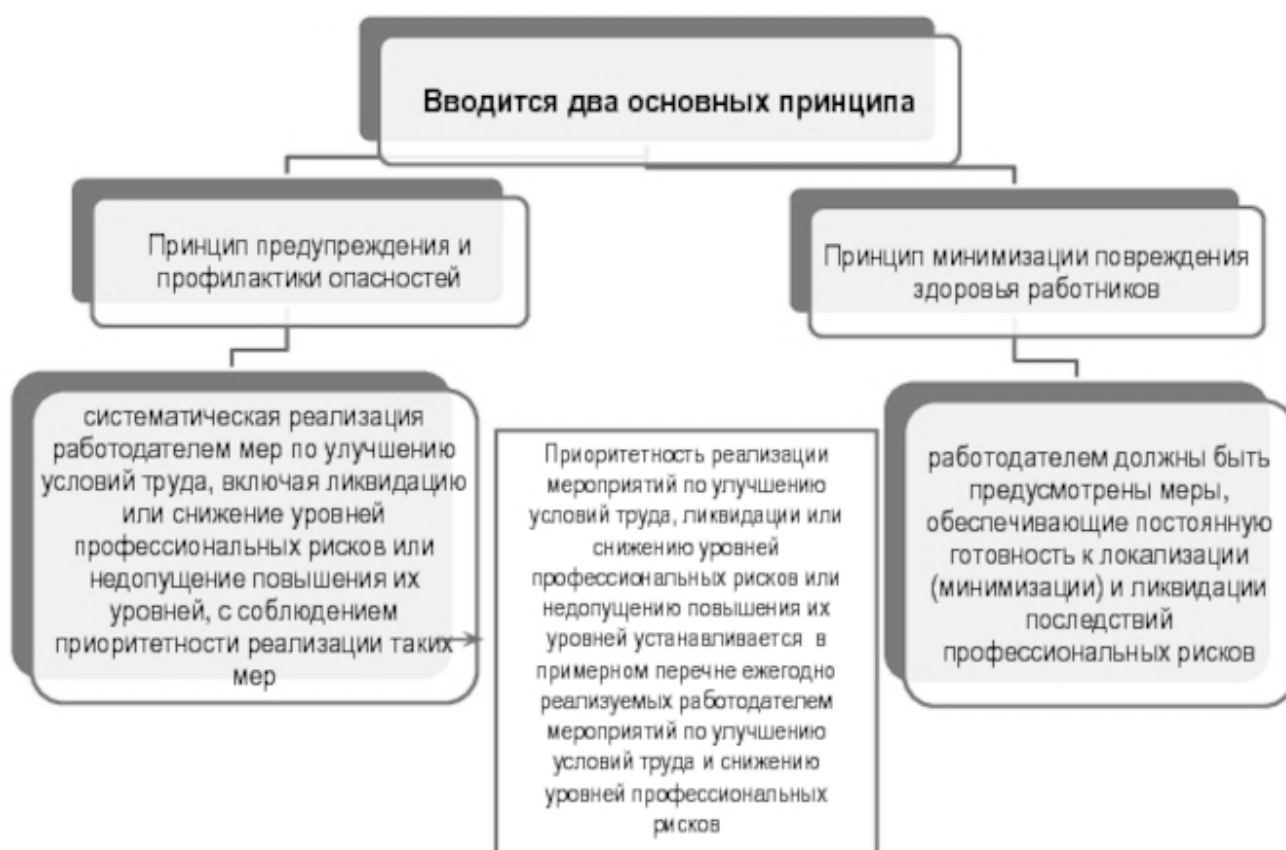


Рисунок 2 – Принципы обеспечения безопасности труда

3) Расследование микротравм.

На данный момент на предприятиях микротравмы не оформляются больничным листом, но, при получении данной травмы работодатель должен предложить работнику другое рабочее место на этот период. Так, в обновленном законодательстве, работодатель должен будет вести учет микротравм и составлять по ним справки, эти справки и будут рассматриваться как акты расследования микротравм [2].



Рисунок 3 – Схема расследования микротравм

4) Единые типовые нормы бесплатной выдачи работникам средств индивидуальной защиты.

Огромную роль в сфере охраны труда дало предложение выдавать средства индивидуальной защиты согласно оцененных рисков. Введенные Единые типовые нормы бесплатной выдачи станут основой данной функции охраны труда, но конкретный подбор необходимой спецодежды и обуви останется за работодателем. Так, изменения в ТК РФ предлагают обеспечивать сотрудников СИЗ с учетом идентифицированных на рабочем месте вредных и опасных производственных факторов, выявленных опасностей, а не в зависимости от профессии [2].

5) Обучение по охране труда

Обучение по охране труда происходит в обязательном порядке для всех сотрудников, а обучение безопасным методам и приемам выполнения работ - только для тех, кто непосредственно выполняет работы повышенной опасности и отвечает за организацию, выполнение и контроль этих работ.



Рисунок 4 – Единые типовые нормы бесплатной выдачи СИЗ

На данный момент порядок предусматривает такие виды обучения как:

- обучение по охране труда;
- обучение безопасным методам и приемам выполнения работ;
- обучение использованию СИЗ;
- обучение оказанию первой помощи пострадавшим на производстве;
- стажировка на рабочем месте;
- инструктажи по охране труда.

Также новшеством данной статьи Трудового кодекса является обучение использованию СИЗ. При этом не менее половины времени обучения необходимо уделять практическим занятиям по формированию умений и навыков использования средств индивидуальной защиты.

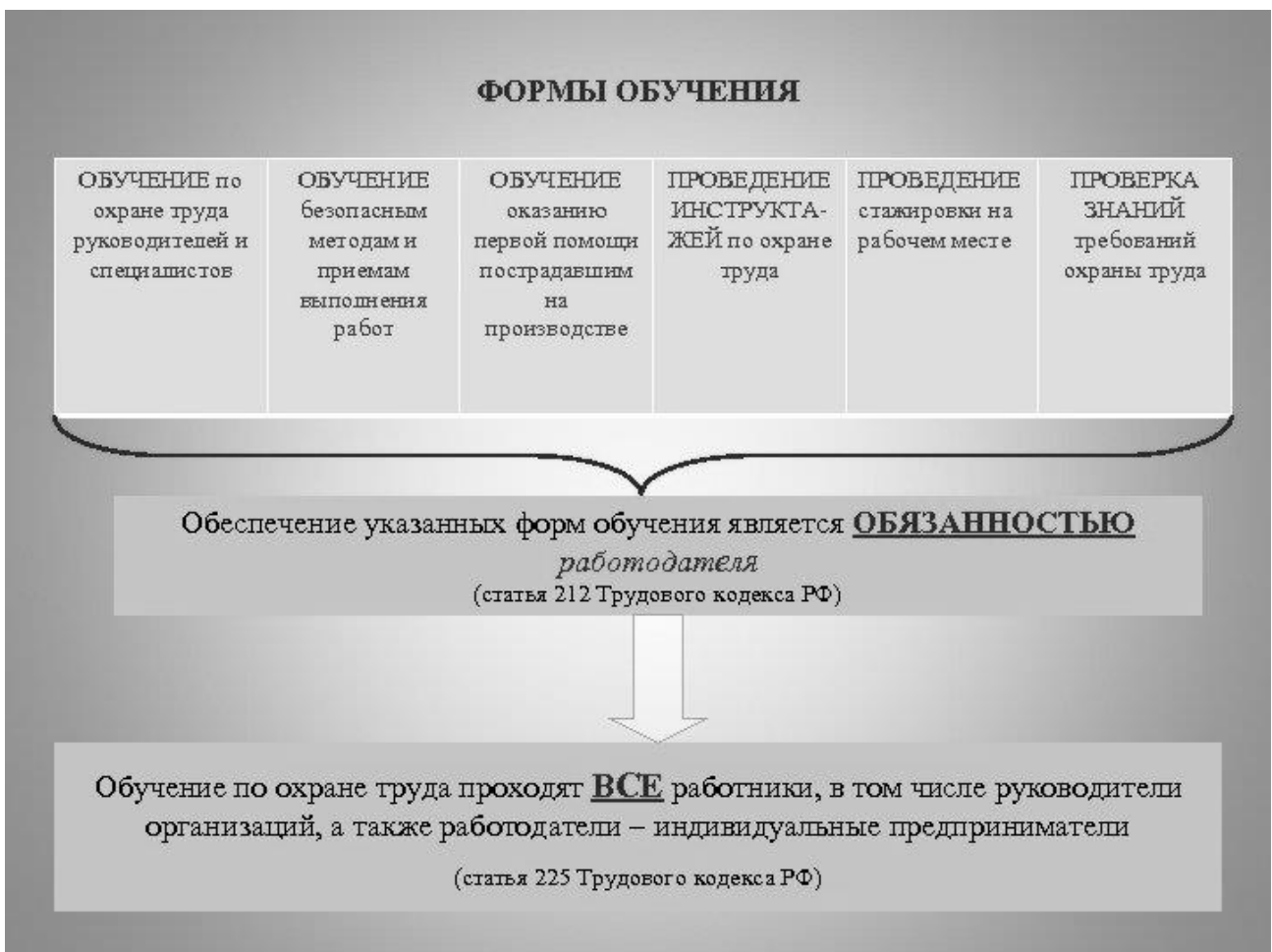


Рисунок 5 – Виды обучения по охране труда

б) Запрет на работу в опасных условиях труда.

Обновленная редакция раздела охраны труда Трудового кодекса, запретила работу в опасных условиях труда, т.е. 4-го класса опасности. Если специальная оценка условий труда выявит такой класс опасности, то работодатель обязан незамедлительно известить об этом работника, приостановить работу и объявить простой по вине работодателя. За сотрудниками на это время сохраняется его должность и средний заработок [2].

Библиографический список:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система Консультант + Режим доступа свободный http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (Дата обращения 10.03.2022).
2. Контур школа [Электронный ресурс] – Режим доступа свободный: <https://school.kontur.ru/publications/2073/> – Загл. с экрана. – Яз. рус. (Дата обращения 19.05.2022).

УДК 630.99

Анализ вырубki лесов в рамках показателя эколого-хозяйственного баланса Республики Коми

Саприн С. В., Дроздова А. Р.

Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта, Россия

В соответствии с концепцией биотической регуляции биосферы нарушение экологического равновесия, ведущее к ее необратимой деградации и утрате биосферных функций, возникает при хозяйственном освоении около 25-30 % территории. Однако более глубокими исследованиями было установлено, что показатель оптимального обеспечивающего экологическое равновесие соотношения между интенсивно эксплуатируемыми и экстенсивно используемыми территориями существенно различается для разных природных зон. В целом для России допустимая площадь интенсивно эксплуатируемых территорий уменьшается по направлению с юга на север. Данный подход предполагает назначение предельных лимитов интенсивного использования территории. Так, например, применительно территории Республики Коми можно установить лимиты [3,4].

- для тундры и северной лесотундры: 5 %;
- для южной лесотундры и подзоны крайнесеверной тайги: 10 %;
- для подзон средней и северной тайги 20 %;
- для подзон южной тайги 50 %.

Общая площадь земель лесного фонда Республики Коми на 01.01.2021 г. составляет 36 273,2 тыс. га, или 87,0 % территории республики. Величина лесистости, в зависимости от района, различна и зависит от физико-географических, климатических и почвенных условий. Средняя лесистость по республике составляет 79 % [1]. В этой связи состояние лесного фонда, интенсивность его использования играет существенную роль в общем экологическом состоянии республики.

Лесопользование традиционно подразумевает заготовку древесины, которая осуществляется в форме выборочных или сплошных рубок. Несмотря на то, что оптимальный объем рубок обеспечивается высчитываемой нормой – расчетной лесосекой (ежегодным допустимым объемом изъятия древесины), вопрос научной обоснованности подобной нормы продолжает подниматься экологическим сообществом. В данной статье поставлена цель проведения анализа вырубki лесов в рамках показателя экологического баланса.

Сбор сведений для проведения исследования проводился из статистических источников (о площадях вырубок, на основе данных Формы 12-ОИП "Сведения об отводе лесосек и рубках лесных насаждений") и данных Лесного плана Республики Коми [2]. Согласно мнению эксперта, сроки восстановления леса (если не брать в расчет его качественный состав) составляют около 20-30 лет [5], в связи с чем статистика по вырубкам была взята за период 2001 г. – 2021 г. Данные по лесничествам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количество леса и вырубок в Республике Коми

№	Лесничество	Леса, тыс. га	Вырубок *, тыс. га	№	Лесничество	Леса, тыс. га	Вырубок *, тыс. га
1	Айкинское	390,4	17,6	17	Помоздинское	680,9	65,3
2	Вуктыльское	1308,4	6,6	18	Прилузское	810,3	119,8
3	Ёртомское	1109,4	51,4	19	Пруптское	483,1	33,4
4	Железнодорожное	1449,5	18,1	20	Сосногорское	1618,5	26,8
5	Ижемское	1754,3	11,7	21	Сторожевское	835,9	43,2
6	Каджеромское	1295,4	13,4	22	Сыктывдинское	478,9	67,8
7	Кажимское	408,8	21,7	23	Сыктывкарское	195,6	15,9
8	Койгородское	620,6	52,5	24	Сысольское	579,1	79,5
9	Комсомольское	1134,3	18,7	25	Троицко-Печорское	951,1	18,2
10	Корткеросское	475,9	29,0	26	Удорское	1475	22,5
11	Летское	434,4	46,0	27	Усинское	2990,5	40,3
12	Локчимское	405,7	45,6	28	Усть-Куломское	426,8	29,5
13	Междуреченское	958,4	41,3	29	Усть-Немское	1001,2	66,0
14	Мещурское	1162,2	11,7	30	Усть-Цилемское	4037,1	1,9
15	Печоро-Илычское	1179,6	1,0	31	Ухтинское	1280,1	20,7
16	Печорское	4256,8	12,3	32	Чернамское	83,6	7,2

* (2001 г. – 2021 г.)

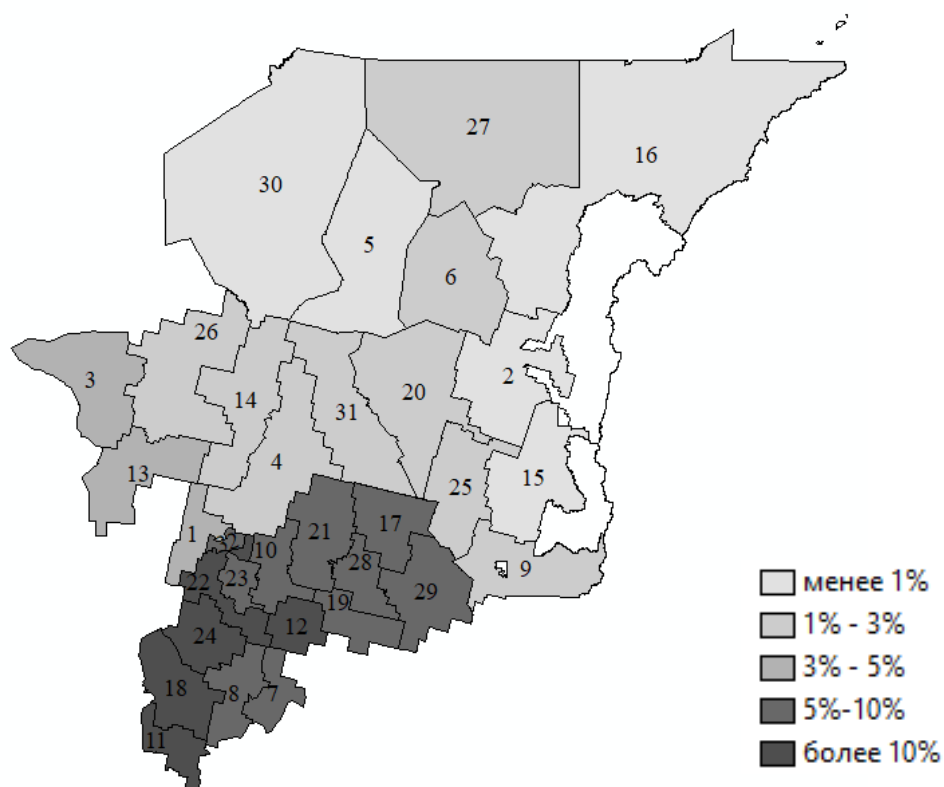


Рисунок 1 – Картограмма доли вырубок (2001 г. – 2021 г.) от общего количества лесов по лесничествам Республики Коми (цифра на картограмме – номер лесничества в соответствии с таблицей 1)

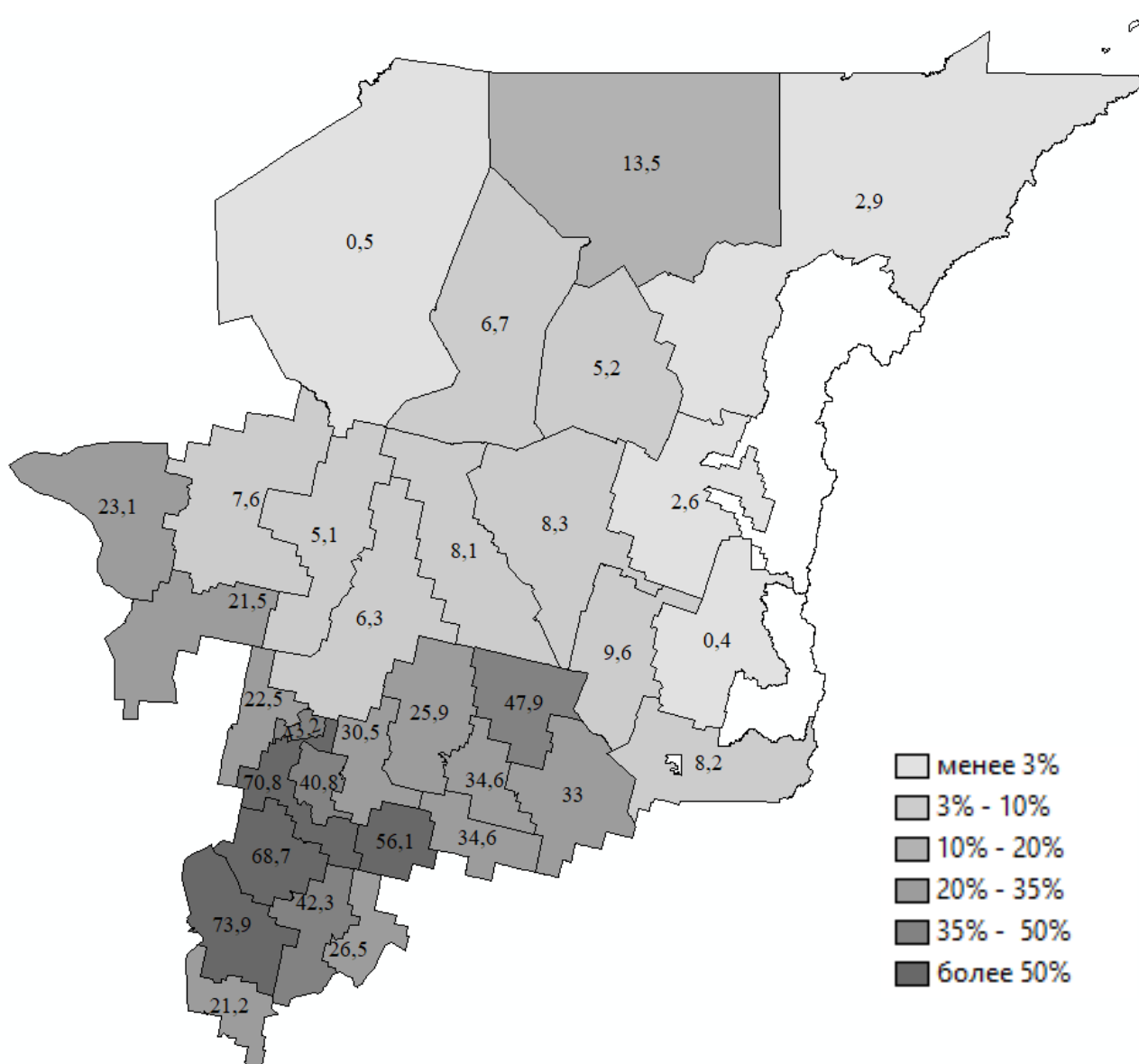


Рисунок 2 – Картограмма истощения лимита эколого-хозяйственного баланса по территории занятой лесом (цифра на картограмме – истощения лимита, %)

Принимая территории вырубок за территории с нарушенным экологическим равновесием, был проведен пространственный анализ доли вырубок (2001 г. – 2021 г.) от общего количества лесов по лесничествам Республики Коми (рисунок 1).

Анализ полученной картограммы свидетельствует о четком региональном распределении доли вырубок (абсолютного показателя нарушенных в ходе вырубок земель).

Однако принимая во внимание различие по лимитам интенсивного использования территории, был проведен пространственный анализ истощения названного лимита (рисунок 2). В результате наибольшие значения показателя наблюдаются в Прилузском (73,9%), Сыктывдинском (70,8%), Сысольском (68,7%), Локчимском (56,1%) лесничествах.

Согласно данным государственного доклада «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2020 году», наибольшая степень освоения расчетной лесосеки за 2020 г наблюдалась в тех же лесничествах: Прилузское – 53,5 %, Сыктывдинское – 59,4 %, Сысольское – 66,0 %. В целом по Республике Коми расчетная лесосека осваивается на 31,0 % [1]. Сопоставив значения можно сделать вывод, что переход к полному освоению расчетной лесосеки может привести к превышению лимитов эколого-хозяйственного баланса.

Утрата лесных экосистем является для многих муниципальных образований основной причиной ухудшения их экологического статуса.

Наблюдаемые наибольшие площади вырубок закономерно находятся в районах, специализацией которых является деревообработка, лесозаготовка и целлюлозно-бумажная промышленность.

Не смотря на общую относительно благоприятную обстановку в разрезе республики, в южных регионах можно выделить регионы с критической степенью сохранности лесных экосистем. В пределах определенных подзон использование природных ресурсов не должно превышать естественных ограничений, обусловленных физическими параметрами природной среды, тогда как в подзоне средней тайги эти ограничения фактически превышены.

Библиографический список:

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2020 году» : гос. доклад / Минприроды Республики Коми [и др.] ; под общ. ред. ГБУ РК «ТФИ РК». – электронная версия. – Сыктывкар : Минприроды Республики Коми, 2021. – 165 с.
2. Лесной план Республики Коми / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды республики коми. – электронная версия. – Вологда, 2019. – 316 с.
3. Осадчая Г. Г., Зенгина Т. Ю. Возможности сбалансированного использования биосферного и ресурсного потенциала Большеземельской тундры // Криосфера Земли. – 2012. – Том XVI. – № 2. – С. 43-51.
4. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: «Россия Молодая», 1994. – 367 с.
5. Юрий Паутов: «Доступного для заготовок леса осталось немного» // Экология. Информационное агентство БНК. - 16.03.2020. - URL: <https://www.bnkomi.ru/data/interview/108504/>

УДК 614.84:630.43

Применение метода анализа барьеров безопасности (АББ) при моделировании развития пожаров в лесных массивах

Севостьянова О. П.¹, Климова И. В.²

1 - Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

2 - Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Пожары в лесных массивах наносят огромный материальный экономический и экологический ущерб. В Российской Федерации площадь земель, покрытых лесной растительностью, составляет 795 млн. гектаров – это 46,4 % площади всей страны. На долю земель лесного фонда приходится 96 % покрытых лесом площадей и 2% занимают особо охраняемые территории.

Из 85 субъектов в Российской Федерации в 77 субъектах открыт пожароопасный сезон. Эти цифры говорят о том, что проблема защиты лесов от пожаров в России является актуальной.

По данным на 9 мая 2022 года, пожароопасный сезон открыт в 77 субъектах РФ. Режим ЧС введен на всей территории Курганской области и в одном муниципальном образовании в Хакасии. Особый противопожарный режим действует в 49 регионах страны. По оценкам Авиалесоохраны, наиболее сложная ситуация наблюдается в Курганской области, в Алтайском крае, в Красноярском крае, в Амурской и Иркутской областях. Поэтому вопросы защиты лесов от пожаров, прогнозирования развития пожарной ситуации, тушения пожаров, являются актуальными. В работе рассматривается возможность моделирования пожара в лесу с использованием метода АББ – анализ барьеров безопасности.

Лесным пожаром считается любой пожар, который распространяется по лесной площади. Такие пожары подразделяются на валежные (низовые), верховые, ландшафтные,

торфяные. Низовые составляют примерно 90% от общего количества лесных пожаров. При этом горят нижние части деревьев, трава, валежник, подлесок, выступающие корни. Скорость распространения низового пожара составляет 2,5-3,0 м/мин. Верховые пожары характеризуются быстрым продвижением огня по кронам деревьев при сильном ветре. Скорость верхового пожара иногда достигает 400-500 м/мин. Ландшафтным считается пожар, охватывающий различные компоненты географического ландшафта. Почвенные пожары возникают в местах нахождения торфа. Скорость распространения такого пожара - несколько метров в сутки. При этом выделяется большое количество дыма.

Причины пожаров могут быть различными. Их можно разделить на три основные группы – это человеческий фактор (80,6%), природный (11,6%) и невыясненные (7,8%) [1]. Таким образом, основная причина возгораний в лесу зависит от человека. Сюда входят возгорания из-за разведения костров населением, сельскохозяйственные палы, возгорания, происходящие при заготовке леса или при проведении исследований в лесу и организации экспедиций. Природный фактор возгорания в лесу – это разряд молнии. Все эти причины являются *риск-факторами* при построении модели развития лесного пожара.

Для того, чтобы пожар не возник, необходимы профилактические мероприятия – это барьеры безопасности. *Барьеры безопасности* – это физические и (или) нефизические методы и средства, предназначенные для предотвращения, контроля или смягчения нежелательных событий или несчастных случаев. Эти средства варьируются от единичного технического блока или действия человека до комплексной социотехнической системы. Барьерная функция – это деятельность или действие, направленные на предотвращение, контроль или смягчение нежелательных событий, при этом, под барьерной системой подразумевается совокупность или множество связанных между собой элементов, которые спроектированы и реализованы для исполнения одной или нескольких барьерных функций [2-4]. Барьеры безопасности можно разделить на внешние, внутренние и человеческие.

Пример барьеров безопасности для лесного пожара представлен на рисунке 1.

Внешние	Внутренние	Человеческие
<i>совокупность внешних физических воздействий</i>	<i>связанные со снижением надежности внутри системы</i>	<i>ошибки оператора, неверные действия человека в процессе выполнения работ</i>
Облет территории беспилотными летательными аппаратами (БЛА)	Проведение санитарных рубок	Проверка знаний по вопросам противопожарной безопасности
Установка системы «Лесной дозор»	Уборка леса	
Обход территорий лесником		

Рисунок 1 – Примеры барьеров безопасности при пожаре в лесу

При построении модели выделим события, предшествующие пожару в лесу – это входные параметры и оценим последствия пожара – выходные параметры. Выходными параметрами будет класс пожара по площади загорания. Существует следующая классификация [5]: Класс А – менее 0,2 га; В – 0,2-2 га; В – 2,1-20 га; Г – 21-200 га; Д – 201-2000 га; Е – более 2000 га. При наличии реагирующих барьеров можно избежать больших потерь после возникновения очага пожара. Это напрямую зависит от площади пожара.

Между риск-факторами и пожаром будут располагаться предупреждающие барьеры, а далее реагирующие барьеры, которые должны снизить последствия пожара. Модель показана на рисунке 2.

Данная модель визуализирует связи между риск-факторами и результатом, который будет после реализации негативного события – пожар в лесу, и помогает тем самым более четко выделить основные направления для предупреждения и снижения развития чрезвычайной ситуации.

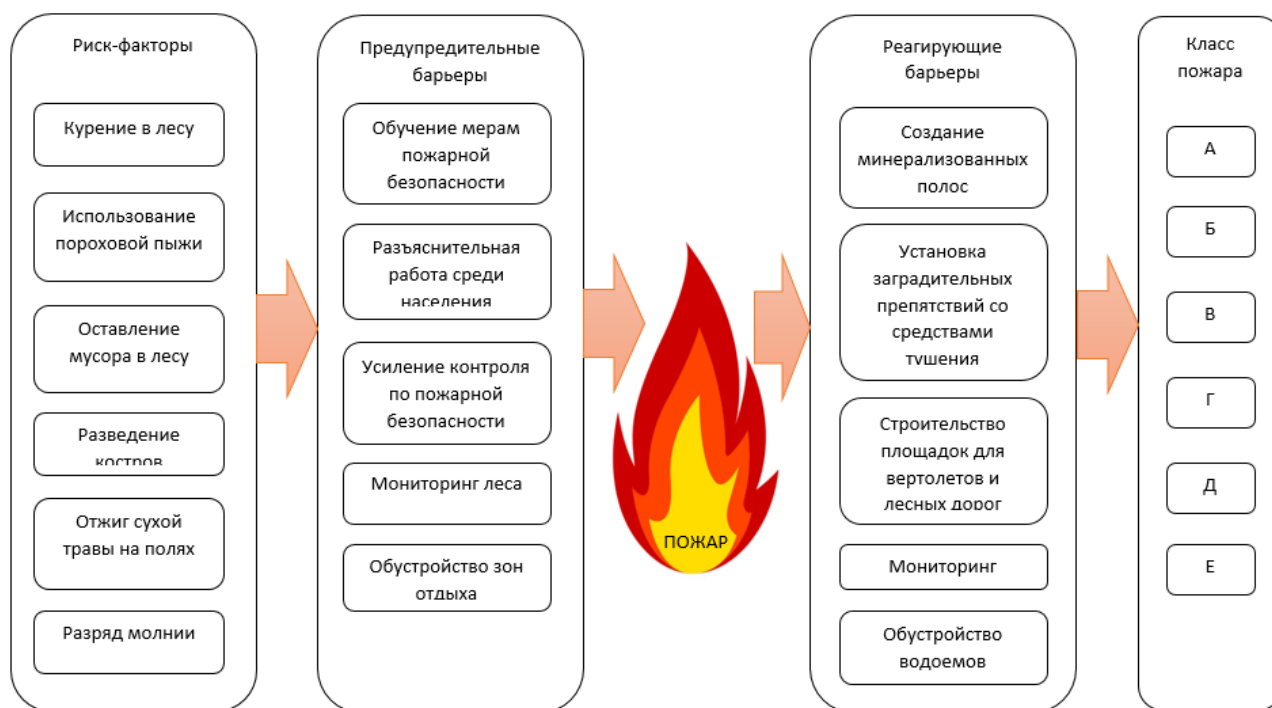


Рисунок 2 – Модель развития пожара в лесу с использованием АББ

Библиографический список:

1. Кейн О.П., Климова И.В. Обнаружение лесных пожаров с помощью системы "Лесной дозор" в Республике Мордовия // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузовский сб. науч. тр. - Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2017. - С. 675-682.
2. Жуков И.С. Барьеры безопасности: понятие, классификация, концепции // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 5. С. 49 – 56.
3. Анализ барьеров безопасности в системе обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов / Г.С. Дупляков, М.В. Елфимова, А.Н. Батуро // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 1 (16). С. 11-17.
4. Типология барьеров безопасности в системе управления профессиональными рисками / С.П. Левашов, И.П. Карначев, В.С. Шкрабак // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2018. № 2. С. 137-146.
5. Кейн, О. П., Климова И.В. Оценка профессионального пожарного риска для персонала, обслуживающего удаленные опасные производственные объекты, находящиеся в лесных массивах в пожароопасный сезон // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 9. С. 76-81.

СЕКЦИЯ 4. ТЕХНОЛОГИИ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

УДК 629.3.083

Совершенствование технологического процесса снятия силовых агрегатов автомобилей

Гурьянов С. Г.

Пермский Государственный аграрно-технологический университет, г. Пермь, Россия

Траверса используется в автосервисах для вывешивания двигателя на кузове автомобиля и выполнении определенных работ без полного демонтажа двигателя. Примером таких работ являются замена подрамника, замена опор силового агрегата, снятие коробки передач на переднеприводном автомобиле [1]. Оборудование имеет достаточно компактные размеры, но при этом обладает высокой грузоподъемностью, достаточной для удержания силового агрегата. Любые работы, связанные с подъемом тяжелых агрегатов, требуют строго соблюдения технологий [2-3] и высокой квалификации персонала [4].

На сегодняшний день, наибольшее распространение в автосервисах имеют двухопорные траверсы, они не обладают универсальностью и удобны в эксплуатации лишь на некоторых автомобилях. Возникают ситуации, когда геометрия кузова в подкапотном пространстве современных легковых автомобилей не позволяет надежно установить траверсу такой конструкции. Возникает потребность в универсальном оборудовании, которое возможно использовать при выполнении работ с любым автомобилем. Модернизация траверсы для вывешивания двигателя позволит решить данную проблему.

Целью исследования является разработка проекта конструкции универсальной траверсы для демонтажа двигателя на примере автомобиля Chevrolet Niva.

Одной из проблем эксплуатации автомобилей в России являются сложные природно-климатические условия [5], влияющие в том числе и на надежность двигателя. Основным критерием оценки качества технологического процесса является трудоемкость. Типовыми работами при демонтаже двигателя являются отсоединение электропроводки, шлангов (охлаждения, отопления, топливных), тяги и троса акселератора, системы выпуска отработавших газов, стартера, защиты картера и брызговиков двигателя и пр.. Общая трудоемкость всех технологических операций исследуемого процесса составляет – 3,1 нормо-часа.

На автомобиле Chevrolet Niva в процессе снятия двигателя используется специальное оборудование «ГМ-АвтоВАЗ» 67.7820-9550 (рис. 1) – траверса для снятия двигателя.

Особенностью данной траверсы являются две опоры, которые устанавливаются по краям моторного отсека. Такая установка возможна не на каждом автомобиле, так как геометрия кузова в подкапотном пространстве может быть достаточно сложной и конструкция опорных пластин траверсы не позволит надежно закрепить их на внутренней поверхности моторного отсека.

Устранить существующие недостатки технологического процесса можно путем использования универсальной траверсы для вывешивания двигателя.

Универсальная траверса для вывешивания двигателя имеет четыре опоры с регулируемой высотой, шириной, наклоном и положением, что позволяет надежно установить её в моторном отсеке любого автомобиля. Модернизация проводится на базе имеющегося оборудования.

Для решения задач модернизации требуется внести изменения в конструкцию траверсы. К основной балке траверсы необходимо добавить две дополнительные балки, имеющие возможность регулировки.

Для решения задач модернизации был разработан эскизный проект. Сборочный чертеж изображен на рисунке 2.

Дополнительные балки траверсы выполнены из стальных труб квадратного сечения. Регулировка положения осуществляется путем перемещения дополнительных балок с опорами

вдоль основной балки траверсы. На дополнительных балках имеются перемещающиеся ножки. Опора на ножке регулируется по высоте при помощи резьбового соединения. Регулировка угла наклона дополнительной балки относительно основной осуществляется путем перемещения фиксирующего устройства внутри отверстия специальной формы.

Универсальность оборудования позволит использовать его на любом автомобиле. С учетом особенностей геометрии кузова в моторном отсеке автомобиля Chevrolet Niva возможно отрегулировать положение и высоту опор модернизированной траверсы и произвести вывешивание двигателя. Включение данной операции в технологический процесс снятия подрамника и замены опор силового агрегата на автомобиле Chevrolet Niva позволит сократить временные издержки на 0,6 нормо-часа. За счет чего увеличится производительность труда и общее количество потенциально выполненной работы слесарем. Себестоимость предлагаемого оборудования ориентировочно составит 13380 рублей.

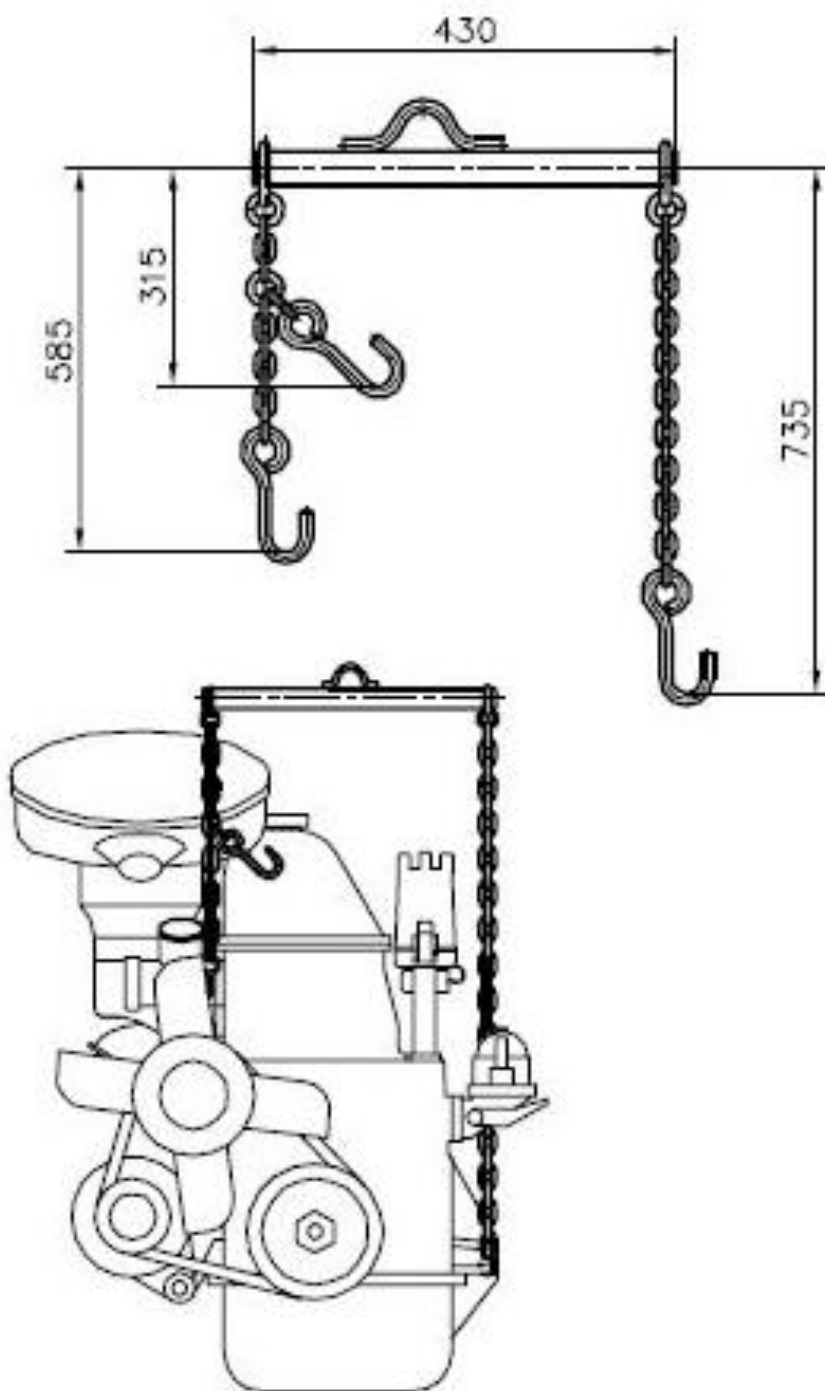


Рисунок 1 - Траверса для снятия двигателя Chevrolet Niva.

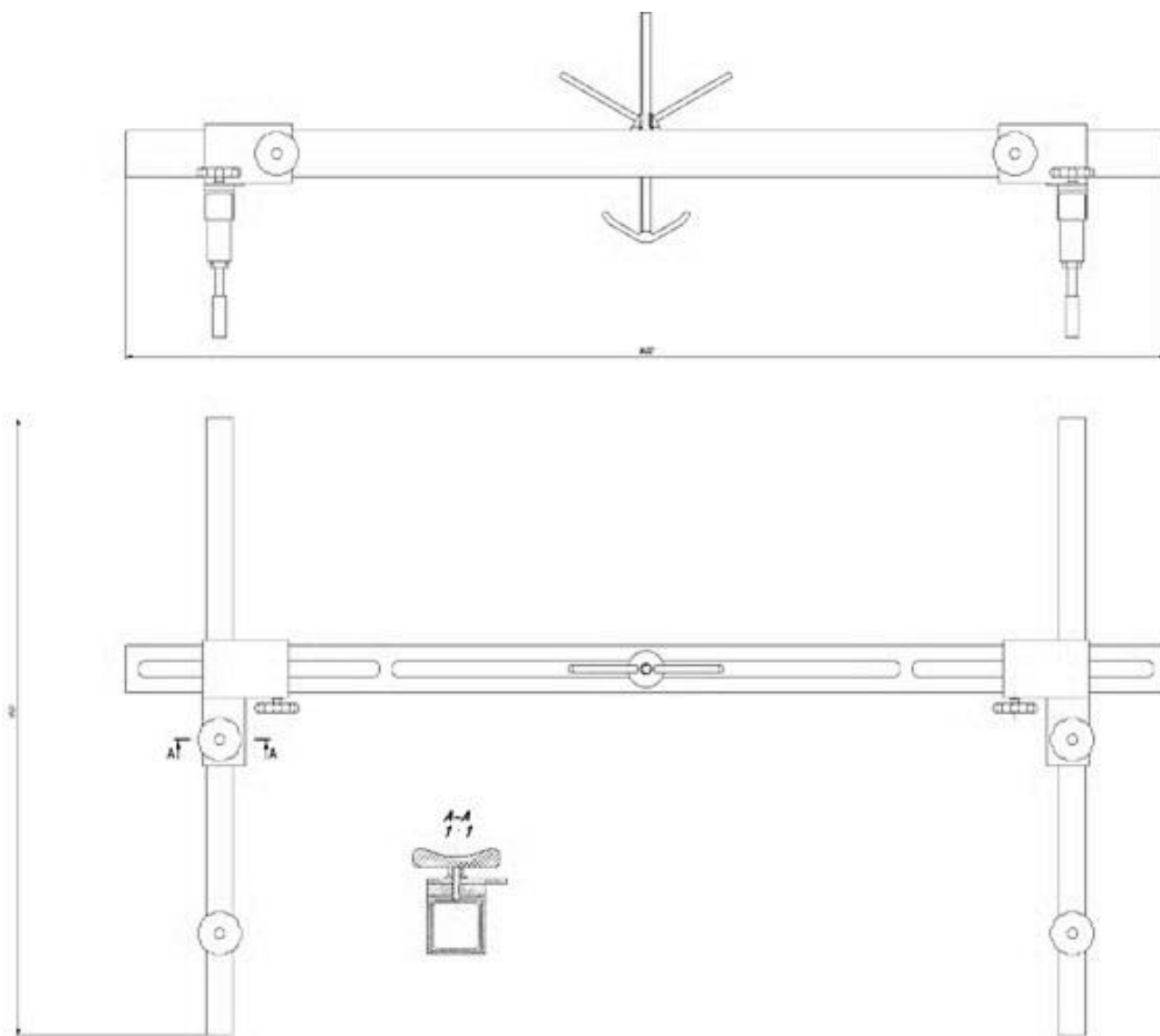


Рисунок 2 - Эскиз сборочного чертежа (вид спереди и сверху)

Библиографический список:

1. Репецкий Д.С. Двухпоточная трансмиссия на транспортно-технологических машинах как альтернатива клиноременному вариатору / Д.С. Репецкий, Д.В. Мальцев. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. - 2020. - №4. - с. 22-25
2. Мальцев Д. В. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей / Д. В. Мальцев, Д. С. Репецкий // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 6(91). – С. 238-247. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247.
3. Мальцев Д. В. О качестве выполнения работ технического обслуживания автомобилей / Д. В. Мальцев, Д. С. Репецкий // Грузовик. – 2021. – № 10. – С. 25-29.
4. Мальцев Д.В. Влияние качества образовательных услуг технического университета на трудоустройство выпускников / Д.В. Мальцев. – Текст : непосредственный // Перспективы науки и образования. - 2020. - №6(48). - с. 459-473
5. Мальцев Д.В. Влияние условий эксплуатации на надежность грузовых автомобилей на базе шасси КамАЗ/Д.В.Мальцев, С.А. Пестриков, В.Ю.Утробин. – Текст : непосредственный //Химия. Экология. Урбанистика. -2019. -Т2. -С. 129-133.

**Исследование таксационных показателей парковых насаждений
г. Ухты Республики Коми**

Коломинова М. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В статье рассматриваются следующие вопросы: изучение древесных пород, произрастающих в парках г. Ухты Республики Коми; распределение древесных пород парков по ступеням толщины и высоте; установление зависимостей различных таксационных показателей друг от друга; анализ полученных уравнений связи высот и таксационных диаметров деревьев.

Результаты исследований будут использованы в учебном процессе подготовки бакалавров по направлениям 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств и 35.03.10 Ландшафтная архитектура.

Ключевые слова: лесонасаждение, парк, древесные породы, таксационные показатели.

Город Ухта расположен в центральной части Республики Коми в таежной зоне лесов. На территории города имеются две большие лесопарковые зоны – Детский и Взрослый парки [1].

Детский парк г. Ухты (парк им. М. Горького) был основан в 1952 году и занимает площадь 11 га в старой части города. Парк представляет из себя участок настоящей тайги с аллеями и различными аттракционами (рисунок 1). Это насаждение естественного происхождения. Основная древесная порода – сосна. Формула состава насаждения – 10С.

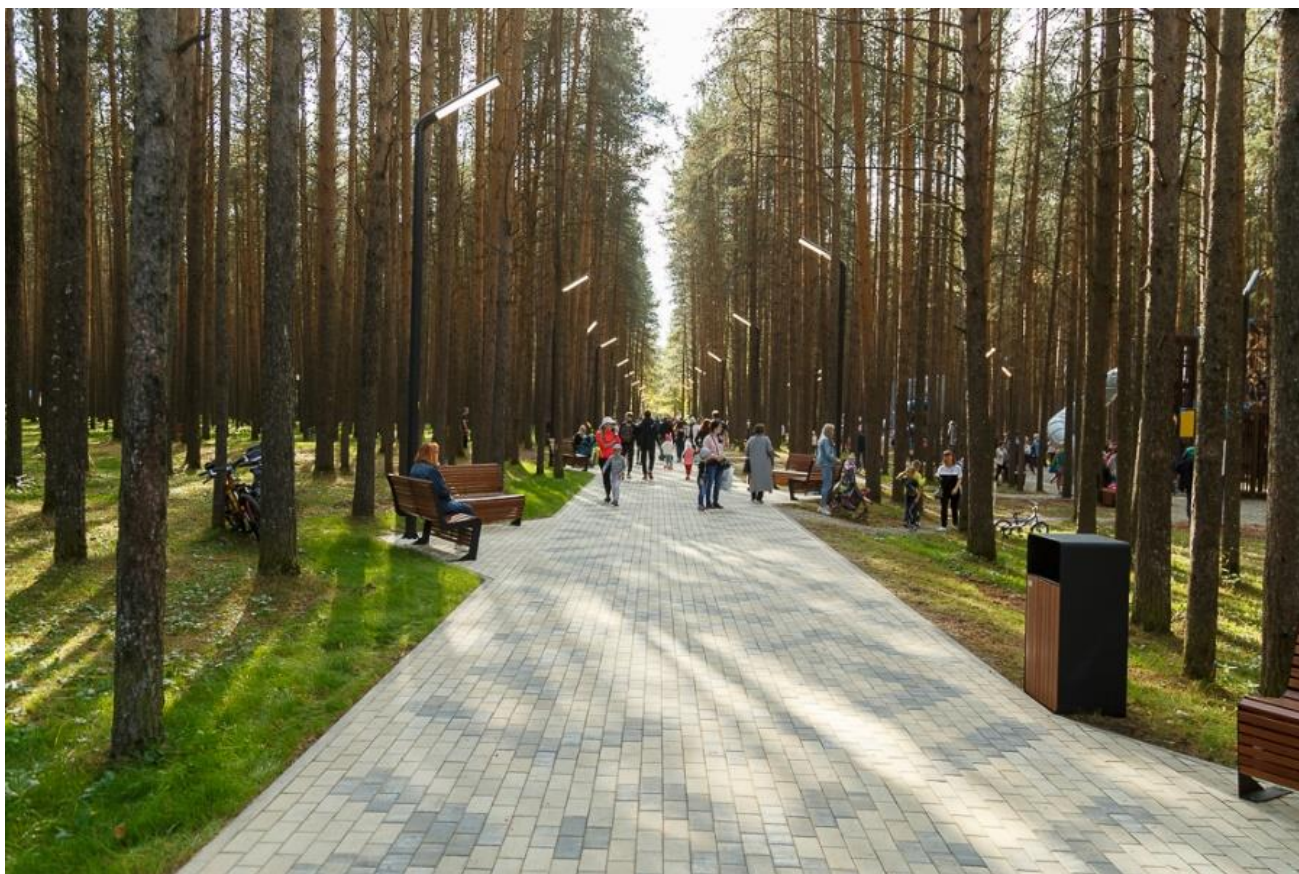


Рисунок 1 – Детский парк

Взрослый парк г. Ухты (парк КиО им. 40-летия ВЛКСМ) был заложен в 1951 году (рисунок 2). Это насаждение искусственного происхождения. Основная древесная порода – береза. Формула состава насаждения – 10Б.

На территории обоих парков были выделены пробные площадки одинакового размера для замера диаметров и высот деревьев. Таксационные измерения осуществлялись мерной вилкой.

Результаты всех замеров диаметров были сгруппированы по четырехсантиметровым ступеням толщины и представлены в таблице 1.

Данные по высотам показаны на графиках высот (рисунок 3).

С помощью программы Excel были установлены уравнения связи между высотой деревьев и их таксационными диаметрами [2].

Все уравнения представлены в таблицах 2 и 3.



Рисунок 2 – Взрослый парк

Таблица 1 – Данные перечета деревьев

Диаметры по ступеням толщины, см	Число деревьев	
	Сосна (Детский парк)	Береза (Взрослый парк)
8	13	23
12	15	12
16	25	24
20	30	22
24	12	13
28	16	11
32	8	7
36	3	5
40	3	3
Итого	125	120

Теснее всего связь между высотой и диаметром деревьев проявляется при параболической зависимости. Коэффициент корреляции изменяется от 0,31 у сосны и 0,54 у березы. Следовательно, полученные уравнения связи между дендрометрическими показателями

деревьев могут быть использованы при инвентаризации и разработке кадастра растительных ресурсов городских экосистем.

Результаты исследований будут использованы в учебном процессе подготовки бакалавров по направлению подготовки 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств и 35.03.10 Ландшафтная архитектура.

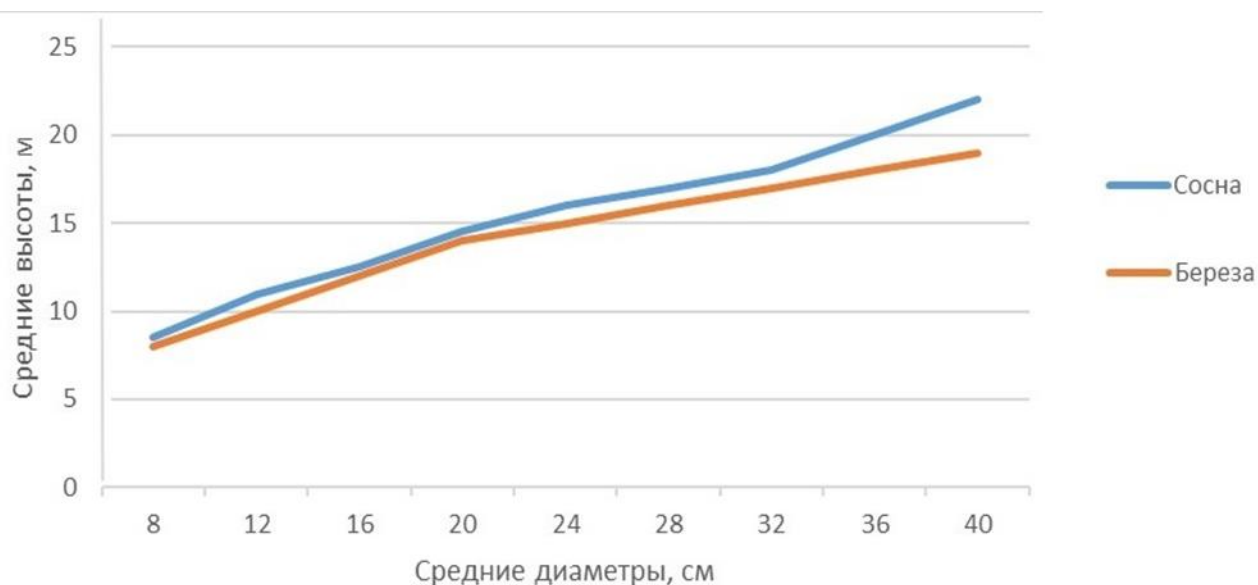


Рисунок 3 – Графики высот

Таблица 2 – Уравнения связи между высотой и диаметром деревьев сосны

Матем. зависимость	Вид связи	Значения коэффициентов в уравнениях связи			Итоговое уравнение связи
		a	b	c	
Прямая	$H=a+bd$	18,06	1,31	-	$H=29,09+0,93d+0,099d^2$
Параболическая	$H=a+bd+cd^2$	29,09	0,93	0,099	
Гиперболическая	$A = a + \frac{b}{h}$	18,06	1,31	-	

Таблица 3 – Уравнения связи между высотой и диаметром деревьев березы

Матем. зависимость	Вид связи	Значения коэффициентов в уравнениях связи			Итоговое уравнение связи
		a	b	c	
Прямая	$H=a+bd$	15,23	1,31	-	$H=32,11+0,88d+0,079d^2$
Параболическая	$H=a+bd+cd^2$	32,11	0,88	0,079	
Гиперболическая	$A = a + \frac{b}{h}$	15,23	1,31	-	

Библиографический список:

1. Чабак Е. Сокровищница Севера / Журнал «ЛесПромИнформ», №7(81), 2011. – с. 32-37.
2. Ковязин Ф.Е. К методике исследования городских насаждений / Лесной журнал, №6, 2015. – с. 57-64.

Проектирование лесовозных автомобильных дорог с использованием геоинформационных систем

Меньшиков С. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Углубленное геодезическое изучение ландшафта для целей освоения лесных дорог мы называем "ландшафтными опасностями", понимая под этим систему сбора и обработки информации о природных условиях и хозяйственной деятельности человека, о результатах количественной оценки общих признаков видов, о влиянии компонентов влияния географической среды на сложность дорожного строительства, а также природных ресурсов и изменений в дорожном строительстве в окружающей среде, это позволяет выделить, дифференцировать и нанести на карту природные ансамбли (ландшафты) и определить те, которые наиболее благоприятны для маршрута дорог. В настоящее время проектирование дороги на практике ограничивается описанием природных условий и хозяйственной деятельности человека, характеризуя географическую среду только с качественной стороны: "районы нормальных условий по сложности строительства лесных дорог, районы условий повышенной сложности, районы особо сложных условий". Очевидно, что такая классификация и оценка природных условий дорожного строительства не позволяют удовлетворить экономические, технические и экологические потребности современных лесных дорог. Комплексное изучение географической среды для проектирования маршрута дает возможность повысить эффективность проектных решений, усовершенствовать методы инвестиционного планирования, обеспечить рациональное использование и охрану природных ресурсов.

В целом можно выделить основные области применения геоинформационных методов анализа данных:

1. Разработка картографического материала по результатам проектных работ.
2. Изучение ландшафтных особенностей территории.
3. Оценка устойчивости основных лесных пород к воздействию неблагоприятных природных факторов.
4. Изучение условий произрастания лесных пород и типологических особенностей территорий.
5. Разработка классификационных карт на основе данных дистанционного зондирования.
6. Разработка моделей для анализа сложных природных процессов.
7. Создание географических информационных баз в области лесного хозяйства и лесопользования.
8. Осуществление различных видов мониторинга.
9. Оценка ущерба насаждениям, причиненного неблагоприятными факторами или лесными вредителями и болезнями.
10. Лесное планирование.
11. Разработка веб-ориентированных программных продуктов [1, с. 35-39].

Приведенный выше список не в полной мере отражает возможности геоинформационных технологий, которые ежедневно совершенствуются тысячами разработчиков. Циклический и повторяющийся характер природных процессов предоставляет уникальную возможность использовать алгоритмы анализа данных, разработанные для различных областей, для решения аналогичных задач в области лесного хозяйства, лесопользования, гидрологии и управления лесными системами [2, с. 29-33]. Эта функция вместе с методами объектно-ориентированного программирования позволяет создать базу методов географической информации. Доступность в современном мире данных наблюдений за природными процессами и механизмами обработки имеет важное значение для развития всех областей науки.

Для обработки данных и пространственного анализа при трассировке лесных дорог чаще всего выбирают геоинформационную систему Quantum GIS (QGIS). QGIS - это

кроссплатформенная географическая информационная система, разработанная в 2002 году [3, с. 511-515]. Эта система предлагает мощные возможности пространственных данных, сопоставимые с возможностями лицензированных географических информационных систем ArcGIS и MapInfo, а также простой и удобный интерфейс.

Геоинформационные системы



Рисунок 1. Геоинформационные системы

Цифровое картографирование и разработка географических информационных систем (ГИС) основаны на данных со спутников, обеспечивающих получение изображений с высоким разрешением. Также проводятся полевые съемки и аэрофотосъемки. Вся информация обрабатывается и хранится на компьютере. Результаты этого анализа могут быть эффективно использованы для управления лесами и мониторинга, инвентаризации лесов, характеристики лесонасаждений, транспортной логистики, оценки объемов экспорта и роста [4, с. 24-29].

Преимущества системы:

- Предоставление полных и достоверных данных
- Быстрая доступность информации благодаря автоматизированной обработке
- Извлечение большого количества важных данных
- Простое обновление
- Простая интеграция данных и производной информации в ГИС [5, с.172].

Анализ современных научных работ и исследований, посвященных изучению географической среды с целью улучшения лесных дорог, проводимых в России и за рубежом, показывает, что в этом направлении сделаны только первые шаги.

Совершенствование инженерных методов и приемов ландшафтного проектирования и проектирования лесных дорог, на наш взгляд, может быть достигнуто, когда появится возможность связать количественные модели технико-экономических показателей строительства лесных дорог и ландшафтных факторов с системой "географическая среда -

инженерное строительство". Учитывая актуальность проблемы, в статье рассматриваются теоретические условия взаимодействия геоинформационной среды и инженерного строительства, роль и влияние ландшафтных компонентов на сложность дорожного строительства, и на основе этого структурные модели, характеризующие естественные и искусственные условия строительства лесных дорог. Моделирование позволяет объективно оценить как региональные условия дорожного строительства (региональное инженерное и ландшафтное зонирование), так и локальные территории (линейное инженерное и ландшафтное зонирование).

Исследования и проектирование ГИС позволили предложить для проектирования набор методов и моделей, которые позволяют легко проводить комплексную оценку природных условий и хозяйственной деятельности человека при разведке и проектировании лесов, дорог, метод выбора маршрута "коридора" для определения местоположения трассы.

Следовательно, важность методического улучшения планировки лесных дорог с использованием геоинформационного программного обеспечения для ландшафтного дизайна позволит решить проблему повышения его эффективности.

Библиографический список:

1. Козлов В.Г. Анализ существующих методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 3.
2. Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Прокопец В.С., Высоцкая И.А. Экспериментальное исследование методов автоматизированного проектирования трассы лесовозной автомобильной дороги // Автоматизация. Современные технологии. - 2021. - Т. 75. № 1.
3. Кручинин И.Н., Абрамов Я.И. Информационные технологии в проектировании лесных автомобильных дорог // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Материалы XIII Международной научно-технической конференции. - Екатеринбург, 2021
4. Умаров М.М., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю. Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2018. - №1.
5. Самцов В.В. Геоинформационное обеспечение инженерно-ландшафтного проектирования при трассировании лесовозных автомобильных дорог: дисс. канд. техн. наук. - Архангельск, 2020.

УДК 674.8

Перспективы развития переработки отходов лесопиления в Южных районах Республики Коми

Попов С. Е., Король С. А.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Республика Коми является одним из ключевых лесных регионов Российской Федерации. Общий запас древесины на ее территории оценивается в 2,8 млрд м³, причем более 80% древесины это хвойные породы (ель и сосна), которые считаются наиболее ценными для деревообработки благодаря своим физико-химическим свойствам. Численность расчетной лесосеки по Республике Коми оценивается в пределах 33 млн м³, ежегодный объем лесопиления оценивается порядка 8,5 млн м³.

Одно из приоритетных направлений развития энергетики — использование возобновляемых источников энергии. К таким источникам относится древесная биомасса. Кроме того, использование древесной биомассы в энергетике позволяет утилизировать отходы лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, получать более дешёвую энергию, снизить вредное воздействие на окружающую среду. [1]

В процессе заготовки древесины до 25 % отходов образуется непосредственно на делянках, в дальнейшем при переработке деловой древесины образуются кусковые отходы (рейки, горбыль, щеп), опилки, том числе стружка. При раскroyке пиловочника различного диаметра процент полученных отходов различается в зависимости от конечный продукта, в среднем же значение кусковых отходов составляет 38,18 %, количество опилок составляет 7,4 %, при раскroyе древесины диаметром от 14 до 34 мм.

Можно сделать вывод, при переработке древесины, 45,5 % от ее объема изначальной биомассы практически никак не используется, мелкие и чашные предприниматели в лучшем случае используют как «дрова», обычно эти отходы сваливаются в свалки или сжигаются.

Самое распространенное использование древесных отходов в Республике Коми является применение их в качестве топлива для получения тепловой энергии, по состоянию на 2019 год 58 котельных республики переведены на использование переработанных отходов в качестве основного топлива. Важно учесть, что древесные отходы неудобны в хранении и складировании, а также невыгодны в транспортировке на длинные расстояния. Так же высокая гидрофильность древесины и в целом природная влажность не дает использовать ее в качестве топлива без специальной подготовки.

В современном мире существует множество способов переработки древесных отходов, основной вид переработки в Республике Коми это производство пеллет и RUF брикетов, помимо реализации данной продукции для населения пеллеты и брикеты используются как основное топливо в котельных республики по состоянию на 2019 год это 58 котельных, но к сожалению, большая часть отходов складывается либо сгребается в отвалы, которые создают множество проблем такие как:

- захламление населенных пунктов Республики Коми;
- самовозгорание и последующее тление, источник задымления воздуха с образованием сажи;
- загрязнение участков лесного фонда и создание угроз лесных пожаров;
- разложение древесных отходов отравление рек и озер, являются источником эмиссии углерода.

Производство древесного угля.

Одним из основных способов утилизации отходов, в особенности дровяной древесины, считается изготовление древесного угля.

Традиционно древесный уголь получают пиролизом (разложением древесины без доступа воздуха) в специальных аппаратах. В соответствии с требованиями ГОСТ, древесный уголь может вырабатываться

нескольких марок:

- марки А (получаемый при пиролизе твердолиственной древесины);
- марки Б (получаемый при пиролизе смеси твердо- и мягколиственной древесины);
- марки В (получаемый при пиролизе смеси твердо- мягколиственной и хвойной древесины).

Применение готового древесного угля напрямую зависит от породы перерабатываемой древесины. Повышенным спросом пользуется только уголь марки А, который применяется для производства активных углей, электроугольных изделий, кристаллического кремния, а также в качестве восстановителя в черной и цветной металлургии, угли марок Б и В – как бытовое топливо для каминов и жаровен. [2]

На данный момент в республике Коми нет ни одного предприятия занимающегося производством древесного угля.

Пеллеты и брикеты.

Технология производства пеллет и брикетов заключается в прессование измельченных отходов лесопиления (горбыль, щеп опилки).

Опилки и кусковые отходы попадают в дробилку, в дробилке происходит процесс измельчения до состояния «муки». Далее полученная «мука» попадает в сушильные агрегаты, влажность белета в равно примерно 8 %, следующий этап — это пресс который формирует гранулы, частицы склеиваются благодаря веществу лигнин который находится в древесине. .

Для производства 1 тонны пеллетных гранул уходит от 3 до 5 м³ отходов древесного производства, готовые гранулы проходят процесс охлаждения и стабилизации, упаковывают гранулы в биг-бэги по до нескольких тонн либо в более мелкую упаковку до 100 кг. Разделяют

на промышленные и потребительские гранулы. Гранулы используются в котлах для получения тепловой и электрической энергии путем сжигания

Производство топливных гранул и брикетов в республике Коми развито в 8 муниципалитетах: Удорский, Усть-вымский, Троицко-печорский, Усть-куломский, Корткеросский, Сыктывдинский, Сысольский, Прилузкий и ГО «Сыктывкар».

Древесноугольные брикеты.

Перспективным направлением переработки древесных отходов можно считать древесноугольные брикеты, они относятся к биотопливу второго поколения, то есть при его производстве происходит процесс пиролиза (карбонизации). Древесноугольные брикеты получают несколькими основными способами – это пресование отходов производства древесного угля. Второй вариант – процесс пиролиза происходит после брикетирования отходов производства.

Брикеты обладают большой механической прочностью, повышенной плотностью, высокой теплотворной способностью. Брикетирование происходит с помощью связующих веществ в качестве связующих могут быть использованы продукты тепловой переработки твердых топлив и нефтепереработки, продукты переработки растительных материалов - декстрин, крахмал, меласса, лигносульфонаты, талловый пек и др.

Древесноугольные брикеты имеют ряд преимуществ по сравнению с биотопливом производимым в Республике Коми (по состоянию на 2022 год на территории РК нет производств ДУ брикетов) – это широкий спектр применения (применение в каминах и печах, применение для жарки на гриле), древесноугольные брикеты менее гидрофильны и благодаря использованию связующих веществ менее подвержены механической деформации. Так же возможно использование древесноугольные брикеты для производства углей для каляна, так как большая часть, около 80%, данного угля импортируется.

Сравнение различных видов биотоплива представлены в таблице 1 [3,4]

Таблица 1 – Сравнение биотоплива

Вид топлива	Теплота кКал	Время горения** час	Зольность %	Влажность %	Выбросы*** Тонн
Дрова	3468	до 1	5	8	18,9
Древесный уголь	6510	до 2,8	3	4,2	8,2
Древесные пеллеты, брикеты	4302	до 3,2	4,5	4	17,7
Древесноугольный брикет	7272	до 6	1,6	3,7	2,4
Формированный угольный брикет*	6340	до 4	16	4	12,8

* для сравнения с биотопливом;

** время эффективной теплоотдачи пламени;

*** CO₂, CO, SO₂, NO₂ – на 1000 тон продукта.

Из представленной выше таблицы можно сделать вывод.

Наиболее эффективным видом биотоплива является древесноугольный брикет по ряду показателей. Теплота сгорания выше чем у конкурентов в этой области пеллетов и брикетов, так же лучшие результаты касаются экологических показателей (зольность и выбросы вредных веществ).

Согласно ГОСТ Р 52808-2007 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биотоплива. Термины и определения», древесноугольные брикеты относятся к биотопливу второго поколения так как при их производстве используется процесс пиролиза (торефикации).

Для внедрения линии производства древесноугольных брикетов рассмотрим самый южный район республики Коми, Прилузский район. Он интересен по ряду условий: Удобная транспортная логистика (районный центр равно удален от 2х столиц субъектов г. Сыктывкар 190

км, г. Киров 220 км), большой объем заготовки древесины 1398 тыс м³ (1059 тыс м³ приходится на ООО «Лузалес», 339 тыс м³ приходится на малый с средний бизнес), район не газифицирован (следовательно, много частных хозяйств и производств, которым необходима тепловая энергия).

В 2017 году ООО «Лузалес» в Прилузском районе пос. Кыддзявидзь наладило собственное пеллетное производство, производительность линии составляет 5 тонн пеллет в час, что позволяет при перерабатывать в течение года до 100 тыс м³ отходов лесопиления и обеспечивать производство до 30 тыс тонн готовой продукции. Можно рассмотреть внедрение в линию пеллетного производства оборудования для пиролиза. Но основная проблема загрязнения окружающей среды исходит от предприятий малого с среднего бизнеса.

По состоянию на 2021 год в районе насчитывается 33 деревообрабатывающих и 64 лесозаготовительных предприятие. Общие отходы лесопиления составляют \approx 129 тыс м³ кусковых отходов и 25 тыс м³.

Введение такого производства значительно улучшит экологическую ситуацию в регионе, мелким предприятиям будет выгодно складировать отходы лесопиления на короткий период, чем искать способы их утилизации, так же проблемой многих предприятий являются искивые заявления от Министерства окружающей среды Республики Коми по Возмещение вреда - Охрана окружающей среды. Помимо экономической и экологической выгоды важно отметить социальную, создание новых рабочих мест в районе, где с начала 2000-х идет естественная убыль населения.

Библиографический список:

1. Коронотова И. П., Комплексная переработка древесного сырья, получение древесного угля/ Коронотова И. П – Иркутск: Актуальные проблемы права, экономики и управления, 2014.
2. Борзунова А.Г., КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ. УТИЛИЗАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ/ Борзунова А.Г., Зиновьева И.С – Москва: Российская Академия Естествознания, 2012 – 180 с.
3. Юрьев, Ю. Л. Древесный уголь: справочник / Ю. Л. Юрьев. – Екатеринбург: Сократ, 2007. – 184 с.
4. . Семенов, Ю. П. Лесная биоэнергетика: учебное пособие / под ред. Ю. П. Семенова. – Москва: МГУЛ, 2008. – 348 с.

УДК 631.51

Теоретические основы обработки почвы дисковыми покровосдирателями

Цыпук А. М., Родионов А. В., Пекки Л. П.

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

Дисковые покровосдиратели (дисковые плуги) широко применяются в таежной зоне для подготовки почвы на нераскорчеванных вырубках, не очищенных от порубочных остатков и валежа.

В зависимости от условий, покровосдиратели применяют для прокладки борозд, создания микроповышений для посадки (посева) леса, или прокладки минерализованных противопожарных полос.

Покровосдиратели агрегируются с колесными форвардерами или гусеничными трелевочными тракторами силой тяги не менее 30 кН.

Рабочими органами покровосдирателей являются сферические диски, обычно установленные попарно. Диаметр дисков – не менее 1150 мм, материал дисков – высококачественная сталь, износостойкая в условиях каменистых почв. По окружности к поверхности дисков по рабочим кромкам крепятся дельтовидные зубья.

Известны импортные покровосдиратели производства Braske с пассивными и активными рабочими органами. В РФ получили распространение покровосдиратели ПД-2, производства ЗАО «Онежец-Техинструмент».

В Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) разработана методика расчета основных технологических параметров (тяговое сопротивление, высота преодолеваемого препятствия) дисковых покровосдирателей для подготовки почвы на нераскорчеванных вырубках.

Рассмотрим методику на примере расчета параметров покровосдирателя типа ПД-2 (см. таблицу 1 и рисунок 1).

Примем агрегатирование ПД-2 с трактором ЛХТ-55. Тяговая сила трактора ЛХТ-55 на 1 передаче составляет 54 кН (по данным производителя).

Примем также: среднее заглубление дисков – 0,125 м; удельное сопротивление почвы смятию $[\sigma] = 400$ кПа; коэффициент f_c трения скольжения сталь-почва на вырубке – 0,27; плотность почвы $\rho = 1900$ кг/м³.

Таблица 1 – Характеристика ПД-2 (данные производителя)

Параметр	Значение
Тип орудия	навесной
Рабочая скорость, км/час	2...4
Масса, кг	1800
Диаметр диска, мм	1150
Количество дисков, шт	2
Производительность, га/час	0,4 ... 1,5
Агрегатируется с трактором	ТДТ-55, ЛХТ-55
Угол атаки дисков β , град	35
Глубина обработки почвы, см	10...15
Угол наклона плоскости вращения дисков δ , град	60...70

Условие преодоления препятствий на вырубке: древесина свежая, коэффициент трения качения 10^{-3} м.

Примем, что каждый диск обрабатывает почву нижним краем, который представляет собой сегмент площадью S . Диски развернуты к направлению движения агрегата под углом 35° . Угол δ плоскости вращения диска к вертикали примем 65° (средний).

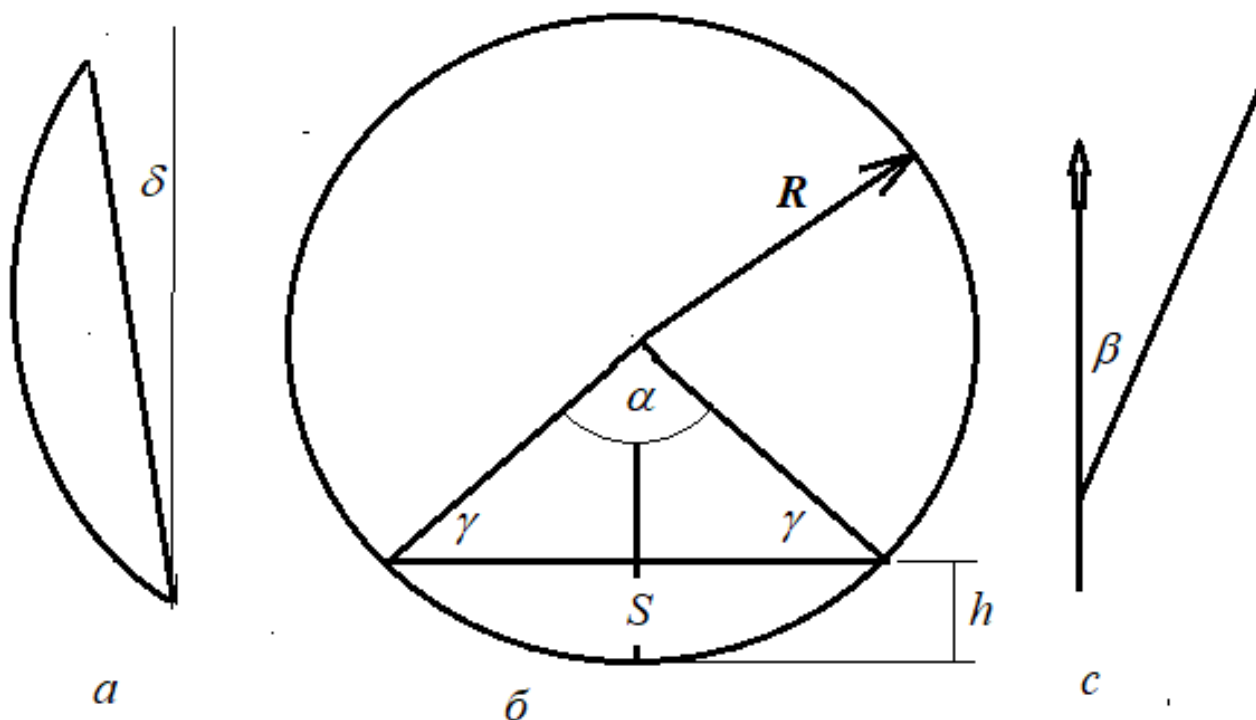


Рисунок 1 – Схема к расчету тягового сопротивления дискового покровосдирателя:

a – схема наклона плоскости вращения диска к вертикали; b – схема к расчету площади сегмента обработки почвы; c – схема установки диска к направлению движения (угол атаки); α – центральный угол между радиусами, стягивающими хорду сегмента, град; γ – угол между хордой и радиусом к её концу, град; β – угол атаки диска, град; h – глубина обработки почвы, м; R – радиус диска, м; S – площадь сегмента, м²

1. Определим площадь S сегмента диска из выражения [1, с. 217]:

$$S = \frac{R^2}{2} \cdot \left(\pi \cdot \frac{\alpha^0}{180^0} - \sin \alpha^0 \right),$$

где R – радиус диска, м; α – угол при вершине треугольника, охватывающего сегмент, град.

$$R = 1,15 : 2 = 0,575 \text{ м.}$$

$$\alpha = 180^0 - 2 \cdot \gamma.$$

$$\sin \gamma = \frac{R - h}{R}.$$

$$\gamma = \arcsin \frac{0,575 - 0,125}{0,575} = 51,5^0.$$

где h – глубина погружения диска в почву.

$$\alpha = 180 - 2 \cdot 51,5 = 77^0$$

$$S = \frac{0,575^2}{2} \cdot \left(3,14 \cdot \frac{77}{180} - \sin 77^0 \right) = 0,061 \text{ м}^2.$$

Сегмент S расположен к направлению движения под углом атаки 35^0 , и наклонен к плоскости вращения на 65^0 , следовательно, поперечная площадь F_1 обрабатываемая одним диском определится так:

$$F_1 = S \cdot \sin \beta \cdot \cos \delta.$$

$$F_1 = 0,061 \cdot \sin 35^0 \cdot \cos 25^0 = 0,032 \text{ м}^2.$$

Для двух дисков:

$$F_2 = 0,032 \cdot 2 = 0,064 \text{ м}^2$$

На ПД-2 установлено 2 диска, следовательно, образуется две борозды общим поперечным сечением $F = 0,064 \text{ м}^2$.

2. Определим тяговое сопротивление R_T машины по формуле Горячкина В.П. [2, с.266], с расчетной величиной коэффициента динамичности:

$$R_T = F_{TP} + F_{PEZ} + F_{ДИН}.$$

Здесь Q – вес машины ПД-2, кг.

$$Q = 9,81 \cdot 1800 = 17658 \text{ Н.}$$

Скорость агрегата на 1 передаче трактора ЛХТ-55 составляет 2,9 км/ч или 0,8 м/с (по данным производителя).

$$R_T = Q \cdot f_c + [\sigma] \cdot F_2 + \frac{\rho \cdot F_2 \cdot V^2}{2}.$$

$$R_T = 17568 \cdot 0,27 + [400000] \cdot 0,064 + \frac{1900 \cdot 0,064 \cdot 0,8^2}{2} = 30382 \text{ Н.}$$

$$\Delta P = 54000 - 30382 = 23618 \text{ Н.}$$

$$\eta_{и} = \frac{R_T}{P_{кр}} = \frac{30382}{54000} = 0,56$$

Значение коэффициента использования тяговой силы трактора меньше нормативной величины 0,95. Можно переключить трактор на повышенный режим движения (2-я передача).

Скорость агрегата возрастет до 3,6 км/ч (на полных оборотах двигателя), производительность увеличится. Однако этого не рекомендуется делать, т. к. на не

раскорчеванной вырубке не допускается скорость более 3 км/ч в связи с вероятностью наезда на препятствия и поломки агрегата.

3. Рассчитаем высоту пня h , преодолеваемого ПД-2 в агрегате с трактором ЛХТ-55.

$$h \leq \left(R - \frac{Q \cdot R}{\sqrt{\Delta P^2 + Q^2}} - \frac{\mu \cdot \sqrt{\Delta P^2 + Q^2}}{\Delta P} \right) \cdot \cos \beta \cdot \sin \delta.$$

$$h \leq \left(0,575 - \frac{17658 \cdot 0,575}{\sqrt{23618^2 + 17658^2}} - \frac{10^{-3} \cdot \sqrt{23618^2 + 17658^2}}{23618} \right) \cdot \cos 35^\circ \cdot \sin 65^\circ = 0,17 \text{ м.}$$

Библиографический список:

1. Цыпкин А. Г. Справочник по математике для средней школы. – Москва, 1981 г. – 400 с.
2. Зима И. М., Малюгин Т. Т. Механизация лесохозяйственных работ. – Москва, «Лесная промышленность», 1976 г. – 416 с.

УДК 630*32

Теоретические основы выбора оборудования для рубок ухода за молодняками

Цыпук А. М., Родионов А. В., Пекки Л. П.

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

Ручные дисковые мотокусторезы применяются для рубок ухода в молодняках. В СССР применялся мотокусторез марки СЕКОР, в настоящее время в лесном хозяйстве России используются импортные мотокусторезы типа STNHL FS 250, FS 560 и др. Мотокусторезы различаются мощностью двигателя, диаметром и частотой вращения дисков. При осветлении (удаляются деревья диаметром до 2 см) применяют кусторезы мощностью 1,6 кВт типа STNHL FS 250, при прочистках (удаляются деревья диаметром до 6 см) применяют более тяжелые кусторезы мощностью 2,8 кВт марки STNHL FS 560.

Мотокусторезы в основном выполняют безопрное резание кустарника и мелколесья. Для чистого резания скорость режущего рабочего органа инструмента должна быть в пределах 20...35 м/с. Недостаток существующей методики технологических расчетов мотоинструмента [1, с. 42] и [2, с. 11] заключается в том, что необходимо использовать табличные данные, включающие одновременно ширину пропила и подачу инструмента на зуб.

В Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) разработана методика расчета, учитывающая мощность N_p , кВт мотокустореза и подачу u_z , м на зуб.

Сила резания P_p , Н определяется по известной формуле:

$$P_p = \frac{N \cdot \eta}{\pi \cdot D \cdot n}, \quad (1)$$

где N – мощность резания, Вт; D – диаметр диска, м; η – коэффициент полезного действия (КПД); n – частота вращения диска, об/с

Сила резания P_p , Н зависит от ширины пропила и подачи на зуб:

$$P_p = K_p \cdot b \cdot u_z, \quad (2)$$

где K_p – удельное сопротивление резанию, Н/м²; b – ширина пропила, м; u_z – глубина пропила (подача на зуб), м.

Отсюда следует:

$$K_p = \frac{P_p}{b \cdot u_z}. \quad (3)$$

Удельная работа резания k_0 , Дж/м³ определяется так:

$$k_0 = K_p \cdot a_w \cdot a_n, \quad (4)$$

где a_w – поправочный коэффициент на влажность древесины. Для резания березы принимаем $a_w = 0,9$; a_n – поправочный коэффициент на породу древесины: $a_n = 1,3$.

В расчетах можно использовать в качестве сомножителей и другие коэффициенты – учитывающие затупление зубьев, окружающую температуру, наличие сучьев [2, с. 12].

Подставляя выражение (3) в (2), получим аналитическое выражение для удельной работы резания k_0 :

$$k_0 = \frac{P_p}{b \cdot u_z} \cdot \frac{1}{a_w \cdot a_n}. \quad (5)$$

В пособии [2, с. 13] приведена эмпирическая формула для определения основного значения удельной работы резания k_0 , действительная при подаче на зуб u_z и ширине пропила b :

$$0,02 \leq u_z \leq 0,6 \text{ мм и } 3,5 \leq b \leq 8 \text{ мм}.$$

$$k_0 = \frac{8,5 \cdot 10^5}{b^{0,5} \cdot u_z^{0,15}}. \quad (6)$$

Сравним выражения, полученные по формулам (4) и (5).

Выражение (4) получено аналитическим путем, основано на опытных данных А. Е. Золотарева [1, с. 40].

Выражение (5) получено эмпирически.

Таблицы для определения удельной работы резания [1, с. 40] и графики в пособии [2, с. 1] являются классическими, используются в технологических расчетах. Проблема в том, что для использования двух методик на практике не достаточно данных.

Для аналитического расчета удельной работы резания надо задаться частотой вращения n пильного диска. Для использования эмпирической формулы необходимо принять величину u_z подачи на зуб.

Примем во внимание, что в выражениях (4) и (5) результатом является значение удельной работы резания k_0 , полученное в одинаковых единицах измерения: Дж/м³. С учетом вышеизложенного, смело поставим знак равенства между выражениями (4) и (5).

$$\frac{P_p}{b \cdot u_z} \cdot \frac{1}{a_w \cdot a_n} = \frac{8,5 \cdot 10^5}{b^{0,5} \cdot u_z^{0,15}} \quad (7)$$

Из равенства (7) алгебраически появляется возможность выразить значение u_z в явном виде:

$$u_z = \left(\frac{P_p}{b^{0,5} \cdot 8,5 \cdot 10^5 \cdot a_w \cdot a_n} \right)^{1,1765} \quad (8)$$

Пример: определим параметры технологического процесса для осветления березы диаметром 2 см, высотой 4 м, мотокусторезом FS 250.

Известные параметры: мощность двигателя – 1,6 кВт; диаметр диска – 200 мм; частота вращения диска – 9150 об/мин; коэффициент полезного действия – 0,97; ширина пропила – 3 мм; толщина диска – 2 мм; развод на сторону по 0,5 мм (применяется при осветлении); поправочный коэффициент на влажность березы – 0,9; поправочный коэффициент на породу – 1,3.

Решение:

$$P_p = \frac{N \cdot \eta}{\pi \cdot D \cdot n} = \frac{1600 \cdot 0,97}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 9150} \cdot 60 = 16,20 \text{ Н}.$$

$$u_z = \left(\frac{P_p}{b^{0,5} \cdot 8,5 \cdot 10^5 \cdot a_w \cdot a_n} \right)^{1,1765} = \left(\frac{16,2}{0,003^{0,5} \cdot 8,5 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 1,3} \right)^{1,1765} =$$

$$= 0,07094 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Подставим полученное значение в левую часть выражения (7) и сравним с табличным значением удельной работы резания k_0 для ширины пропила 3 мм.

$$k_0 = \frac{P_p}{b \cdot u_z} \cdot \frac{1}{a_w \cdot a_{\Pi}} = \frac{16,2}{3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,07094 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{0,9 \cdot 1,3} = 65060398 \text{ Дж/м}^3.$$

Подставим полученное значение в правую часть выражения (7) и сравним с табличным значением удельной работы резания k_0 для ширины пропила 3 мм.

$$k_0 = \frac{8,5 \cdot 10^5}{b^{0,5} \cdot u_z^{0,15}} = \frac{8,5 \cdot 10^5}{0,003^{0,5} \cdot (0,07094 \cdot 10^{-3})^{0,15}} = 65046603 \text{ Дж/м}^3.$$

Определим время t_p , с резания стволика диаметром 2 см.

Удельная работа резания:

$$K_p = k_0 \cdot a_w \cdot a_{\Pi} = 65 \text{ МДж/м}^3 \cdot 0,9 \cdot 1,3 = 76,05 \text{ МДж/м}^3.$$

Высота резания: $H = 0,8 \cdot d = 1,6 \text{ см} = 0,016 \text{ м}$.

Скорость подачи:

$$u = \frac{N}{K_p \cdot b \cdot H} = \frac{1600}{76,05 \cdot 10^6 \cdot 0,003 \cdot 0,016} = 0,438 \text{ м/с}.$$

Здесь N – мощность двигателя кустореза, Вт; b – ширина пропила, м.

Время резания:

$$t_p = \frac{H}{u} = \frac{0,016}{0,438} = 0,0365 \text{ с}.$$

Определим относительную разницу результатов расчетов:

$$\Delta = \frac{65046603 - 65060398}{65046603} \cdot 100\% = -0,021 \text{ \%}.$$

Относительная разница составила 0,021 %, что значительно меньше 5 %, допускаемых при инженерных расчетах.

В пособии [1, с. 40] приведена таблица П.6, в которой для ширины пропила 2,5...3,5 мм и подаче на зуб менее 0,1 мм указана удельная работа резания в пределах 73...60 МДж/м³.

Эти данные полностью совпадают с данными (65 МДж/м³), полученными по новой методике.

Библиографический список:

1. Шелгунов, Ю. В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства: Учебник для вузов / Ю. В. Шелгунов, Г. М. Кутуков, Г. П. Ильин. – Москва : Лесная промышленность, 1982. – 520 с.
2. Бессуднов Б. Ф. Методика технологических расчетов: Методические указания / Б. Ф. Бессуднов, Б. Г. Залегаллер. – Ленинград : РИО ЛТА, 1980. – 55 с.

УДК 621.86

Конструкция гусеничных лент

Чемшикова Ю. М., Тимохова О. М.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Существует единая классификация технологий заготовки древесины и назначения различных типов гусеничных лент. Условия местности, а именно хорошее состояние дороги, восприимчивость к уплотнению, крутизна ската связаны с требованиями к оснащению лесохозяйственных рабочих машин [4]. При последующих попытках исследования необходимо

обнаружить влияние различных типов гусеничных лент на движение по трелёвочному волоку, при условии, что практически необходимо найти для измерения трелёвочный волок и участок узкой дороги с похожими условия, чтобы получить точные и достоверные результаты.

В процессе технологического развития в последние годы количество типов лент и моделей многократно возросло. Благодаря потребителям – лесхозам, а также лесным предприятиям в сфере обслуживания – приведены многочисленные, частично взаимоисключающие требования к эксплуатации так, например, увеличенная тяга, сниженное давление на почву, сохранение корневой системы деревьев и слоя износа по вывозной дороге. Также от гусеничных лент ожидается как хорошая самоочистка, так и быстрый монтаж, малый вес при высокой устойчивости, а также наилучшие характеристики движения (эргономика и расход топлива). В рекламных проспектах производителей в большинстве случаев можно найти только словесные описания характеристик или своеобразную бальную шкалу для их оценки [2].



Рисунок 1 - Трактор на гусеничной ленте

Сравнение между моделями лент по единым критериям почти невозможно и дополнительно усложняется сложными формами панелей с изгибами и прорезями. Гусеничные ленты похожи на гусеницы экскаватора или трактора и натянуты на стоящие близко друг к другу колеса двухосевого агрегата. Уже несколько лет в продаже имеются одноколесные ленты (так называемые одиночные треки) для 4-х или 6-х колесных машин с независимой подвеской колёс. Они состоят из перемычек или пластин как «протектор» с различными формами, которые связаны посредством сварных кольцевых звеньев (соединительных элементов). Боковые направляющие выступы предотвращают соскальзывание с колеса. Расстояние между направляющими выступами определяется шириной шины. Шина и рисунок протектора подразумевает соответствующие изгиб перемычек или пластин. Шипы увеличивают сцепление и улучшают боковую устойчивость. Гусеничные ленты из стали в настоящее время доминируют на рынке, а также в использовании при оснащении машины. Кроме того, предлагаются и используются комбинации материалов из стали, твердой резины или пластмассы.

Ленты проектируют для различных направлений использования, так что конструктивное исполнение их перемычек или пластин, а также интервал отдельных звеньев должны быть согласованы между собой на определенное условия местности. Производители предоставляют специальные конструкции соответственно или комбинацию тяговых и несущих пластин с попеременным расположением. Кроме того, можно заказать выступающие за ширину шины

пластины, а также шипы в переменном количестве и расположении. Многочисленные возможные комбинации, варианты оснащения и исполнение существенно отражается на поведение тяги, грузоподъемности, боковой поддержке и дополнительных ходовых качествах. Кроме межосевого расстояния и размера шины и высота профиля определяет длину ленты. Поэтому гусеничные ленты могут быть адаптированы индивидуально под конкретную машину. Изменения или замена, как правило, связаны со значительными дополнительными затратами. При монтаже, который осуществляется соединением свободных концов ленты вместе с помощью винтовых соединительных звеньев, которые предназначены для натяжения и подгонки длины под различные размеры (для изменения длины под большие размеры отдельные пластины отделяются от ленты) [1].

В машинной станции в рамках одной базовой работы была разработана модель *НЕТРАКГ (Заготовка леса – Тяговое усилие – Грузоподъемность)*. Это было сделано с целью, классифицировать имеющуюся на рынке и используемые на практике модели гусеничных лент на основе легко определяемых параметров. Следовательно, должна быть создана возможность сравнивать гусеничные ленты и оценивать их тяговое усилие и несущую способность. В качестве параметров, стабилизирующих вес, размеры пластин, а также средние расстояния между пластинами. Посредством износа и регулировка длины, значения могут варьироваться. Как простое вспомогательное средство для определения параметров сравнения тяговой способности и грузоподъемность гусеничных лент. Тяговое усилие будет считаться, что объем блока почвы между перемышкой или плитами воспринимает преимущественно тяговое усилие машины. Грузоподъемность будет считаться, что площадь контакта от перпендикулярной проекции перемычек или пластин определяет преимущественно грузоподъемность. Согласно этой модели с увеличением объема блока почвы, между пластинами улучшается тяговое усилие, а с увеличением опорной поверхности перемычек или пластин – грузоподъемность.

В этот момент становится ясно, что со сверхширокими лентами как грузоподъемность, так и тяговое усилие увеличиваются (большая площадь опоры, больше объем блоков грунта между пластинами). Тяговое усилие и грузоподъемность в практической эксплуатации зависят от свойств «дорожного полотна». Эффект от различных условий, таких как структура почвы, каменистость, влажности почвы, проникновения корней, растительности и т. д. здесь не учитываются. Важной особенностью для использования гусеничных лент является поперечная устойчивость. Через нее обеспечивается управляемость лесозаготовительных машин [3]. Из предшествующих рассуждений следует, здесь площадь поперечного сечения ленты приводит к воздействию. Через различное количество и расположение шипов пытаются улучшить поперечную устойчивость и сцепление. Недостаточное самоочищение профилей или пазов при очень вязких грунтах или обледенении, может привести к полной потере поперечной устойчивости или тяги. С потерей тяги гусеничные ленты с высокой несущей способностью лишаются своей эффективности.

Библиографический список:

1. Редькин А.К., Григорьев И.В., Валяжонков В.Д., Матросов А.В. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ. Учебное пособие. – СПб: ЛТА, 2010. – 330 с.
2. Бурмистрова О.Н., Чемшикова Ю.М., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Тамби А.А. Теоретическое обоснование параметров средошадающего движителя гусеничного вездехода // Системы. Методы. Технологии. № 2 (42). 2019. С. 81-88.
3. Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В., Рудов С.Е., Тетеревлева Е.В., Чемшикова Ю.М. Увеличение подвижности гусеничных и колесных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. № 11. 2019. С. 4-10.
4. Чемшикова Ю.М. Гусеничные вездеходы для лесного хозяйства // Материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности лесного комплекса». Петрозаводск: ПетрГУ. 2019. С. 116-118.

СЕКЦИЯ 5. АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 628.477:691

Эффективность применения твердых промышленных отходов в строительстве

Веряскина Е. М.

Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта, Россия

Промышленные отходы или побочные продукты одних производств могут быть исходными материалами других. В зависимости от отрасли промышленности, где образуются промышленные отходы, можно выделить следующие их группы:

1. Отходы металлургии: доменные, ферросплавные и сталеплавильные шлаки; шлаки, образующиеся при плавке руд цветных металлов; продукты обогащения руд; нефелиновые и другие шламы и др.

2. Отходы тепловой энергетики и топливной промышленности: зола, топливные шлаки, золошлаковые смеси, шахтные породы, отходы углеобогащения и др.

3. Отходы химической промышленности: железистые, известь - и гипсосодержащие отходы; соле- и гидроксидсодержащие шламы и содопродукты; фосфорные шлаки, вторичные полимерные продукты и др.

4. Отходы горнодобывающей промышленности: вскрышные и попутно добываемые породы.

5. Отходы производства строительных материалов: пыль различного химического состава, керамический и стеклянный бой, отсеvy, образуемые при дроблении и др.

6. Отходы переработки древесины и другого растительного сырья: кора, обрезки, стружки, опилки, лигнин и др.

7. Отходы городского хозяйства: изношенные автопокрышки, тряпье, бумажная макулатура, строительный мусор, использованные полимерные материалы и др.

Из отраслей-потребителей промышленных отходов наиболее емкой является производство строительных материалов (таблица 1).

Из перечисленных видов отходов в наибольших объемах и наиболее часто используются металлургические шлаки и топливные шлаки, и золы, кремнийсодержащие отходы (микрокремнезем). Минеральные добавки из техногенного сырья имеют различную дисперсность (таблица 2) и минеральный состав (таблица 3), в связи с чем обладают различным влиянием на бетонную смесь, что определяет область их применения.

Низкокальциевые золы на 80% и более состоят из алюмосиликатного стекла, которое предопределяет их пуццоланическую активность. Содержание СаО в этих золах менее 10%, поэтому вяжущими свойствами они не обладают, но в присутствии извести и воды активно участвуют в образовании гидросиликатов и гидроалюминатов кальция – основных структурообразующих компонентов цементного камня. Наряду с минеральной частью в золах остается небольшое количество (до 5–10% и более) несгоревшего топлива, обычно в виде кокса, который может отрицательно влиять на процессы структурообразования цементного камня.

В бетонной смеси зола выполняет роль не только активной минеральной добавки, увеличивающей общее количество вяжущего, но и микронаполнителя, улучшающего гранулометрию песка и активно влияющего на процессы структурообразования бетона. Зола-унос, реагирует с гидроксидом кальция, в результате чего получается дополнительный цементный материал, что делает бетон прочнее и надежнее (рисунок1). Присутствие золы-уноса также помогает справиться с высокой температурой и повышенной влажностью, приводит к значительному повышению коррозионной стойкости. Содержание в золе MgO, CaSO₄, Ca(OH)₂, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) способствует поздней и медленной гидратации, что вызывает внутренние напряжения и может привести к возникновению трещин. Интенсивность роста прочности при сжатии золосодержащих бетонов примерно такая же (или немного выше), как у бетонов, не содержащих золу.

Таблица 1 – Область применения промышленных отходов

Отходы промышленности	Область применения
угледобычи и углеобогащения	получения пористого заполнителя и кирпича, применение в конструкции дорожной одежды
горнорудных предприятий	получения вяжущих, автоклавных материалов, стекла, керамики, фракционированных заполнителей
фосфорные шлаки и фосфогипс	перерабатываются, в основном, в гранулированные шлаки, шлаковую пемзу и литой щебень, и используются в производстве стеновой керамики, при регулировании сроков схватывания цемента, для снижения температуры обжига цементного клинкера
древесины, полученных на различных стадиях ее переработки	изготавливают древесноволокнистые и древесно-стружечные плиты, арболит, опилкобетон, фибролит, королит, древесные пластики
бетонного лома	получение вторичных заполнителей и высвобождение арматурной стали;
старого асфальтобетона	позволяет сократить расход нефтяного битума при производстве ремонтно-восстановительных работ
пластиковых бутылок или полиэтилена	делают тротуарную плитку
черной и цветной металлургии (шлаки)	используют в производстве минеральной ваты, портландцемента и других вяжущих материалов, бетонов автоклавного твердения
топливной промышленности (золы сухого удаления и золошлаковая смесь)	применяют в дорожном строительстве, производстве вяжущих, тяжелых и ячеистых бетонов, легких заполнителей, стеновых материалов

Таблица 2 – Характеристика минеральных добавок

Наименование	Размер частиц, мкм	Удельная поверхность, см ² /гр
Микрокремнезем	Менее 10	Более 15000
Доменный шлак	Менее 50	4900-5200
Кремнистая зола	1-100	1500-3000
Зола-унос	1-100	1500-3000

От других активных минеральных добавок микрокремнезем отличается очень малым размером частичек (0,1–0,5 мкм) и высокой удельной поверхностью (18–25 м²/г). Содержание SiO₂ в микрокремнеземе составляет 85–98%. Оптимальное содержание микрокремнезема в составе вяжущего рекомендуется в пределах 5–15% от массы цемента. Например, введении 10% добавки от массы цемента, повышает прочности при сжатии с 31,18 МПа до 44,1 МПа, т.е. в 1,4 раза, а совместное введение суперпластификатора С-3 и микрокремнезема увеличивает прочность при сжатии до 56,4 МПа, т.е. в 1,8 раза. При содержании комплексной микродобавки в количестве 15% по массе в 4 раза по сравнению с контрольным составом снижается водопоглощение мелкозернистого бетона, так как, располагаясь в порах цементного камня, микрокремнезем способствует повышению плотности и соответственно прочности, непроницаемости и долговечности бетона. Современные органо-минеральные модификаторы структуры и свойств бетона полифункционального действия позволяют получать бетоны с прочностью свыше 100 МПа, низкой проницаемостью и высокой долговечностью.

Таблица 3 – Процентный химический состав зол и шлаков

Компоненты	Шлак	Зола
SiO ₂	49,7-56	26,1-39,4
TiO ₂	0,5	0,6-1,3
Al ₂ O ₃	10,7-11,8	6,1-9,3
Fe ₂ O ₃	3,9-4,9	4,4-4,8
CaO	14,9-18,6	14,0-29,6
MgO	1,5-1,7	2,3-2,6
K ₂ O	1,4-1,9	2,6-7,1
Na ₂ O	0,5	2,9-6,7
SO ₃	2,9-4,9	3,9-10,7
Cl	0,2-2,3	8,6-15,8
P ₂ O ₅	5,5-6,7	1,3-6,9
Тяжелые металлы	0,6	0,7-1,6

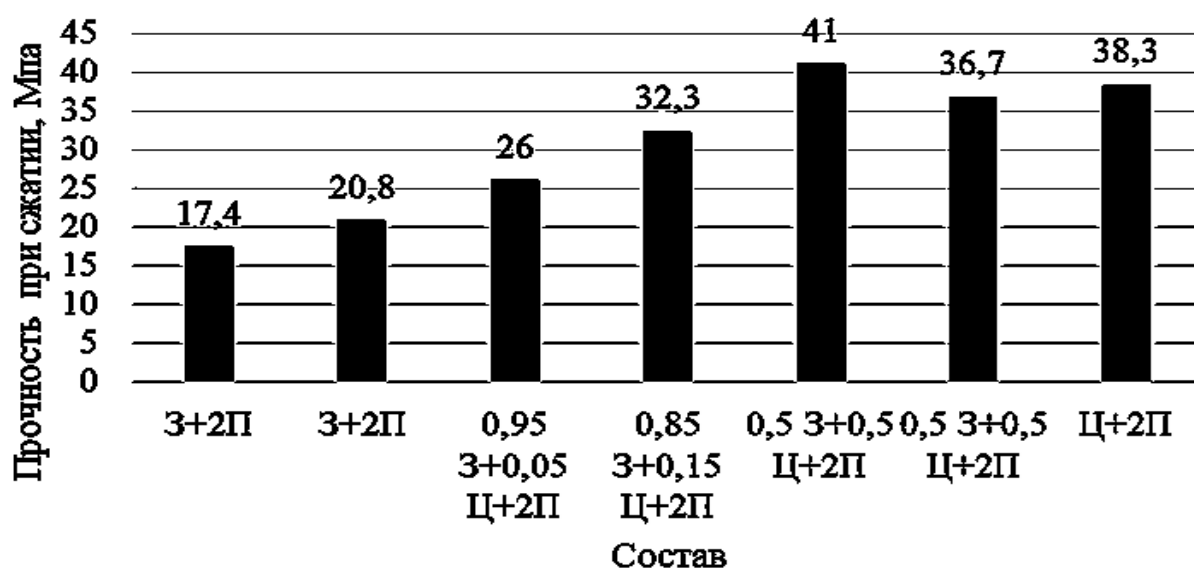


Рисунок 1 – Влияние золы на прочность бетона

Содержание минеральных добавок (таких как, зола-уноса, молотый доменный гранулированный шлак и зола гидроудаления) в ряде случаев может достигать 75 % и зависит от требований, предъявляемых к бетону. При содержании шлака в количестве 10-20% в портландцементе (это рядовой шлакопортландцемент) замедляется процесс твердения в естественных условиях и наблюдается недостаточно высокая прочность в начальные сроки твердения. При содержании шлака в количестве 60% удлиняется начало схватывания с 1 ч 40 мин до 2 ч 45 мин, конец схватывания – с 4 ч 30 мин до 5 ч 50 мин, а при содержании шлака в количестве 80% начало и конец схватывания составляют соответственно 4 ч 05 мин и 6 ч 10 мин. Прочность вяжущего при повышении в его составе шлаковой составляющей от 20 до 80% снижается: на сжатие с 39 МПа до 16 МПа, на изгиб – с 7 МПа до 3 МПа, и даже добавки-электролиты ускоряющие скорость схватывания не влияют на кинетику набора прочности.

Отходы горнодобывающей промышленности и производства строительных материалов можно использовать для обогащения мелких песков. Это позволит улучшить как прочностные, так и деформационные характеристики бетона. Например, при обогащении песка отсевами дробления щебня крупностью до 2,5 мм в количестве 10% наблюдается прирост прочности бетона при сжатии в 2 раза и увеличение начального модуля упругости в 1,64 раза.

Заключение. Применение промышленных отходов и побочных продуктов производств позволяет не только утилизировать отходы, путем внедрения безотходных технологий, но и улучшить некоторые свойства вяжущих и искусственных строительных материалов.

Библиографический список:

1. Ватин Н.И. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н.И. Ватин, Д.В. Петросов, А.И. Калачев, П. Лахтинен // Инженерно-строительный журнал, 2011. – № 4. –С.16-21.
2. Белов В.В., Субботин С.Л., Куляев П.В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 25-29.

УДК 697.341

Автономные источники теплоснабжения

Афанасьев А. В., Иванова Е. С.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

В двадцатом веке усиленными темпами шла централизация систем теплоснабжения. Но после развала СССР и изменения экономической формации на постсоветском пространстве, стали во множественном количестве появляться индивидуальные (автономные) источники теплоснабжения.

Согласно [1] автономный источник теплоснабжения; АИТ: Источник генерации теплоты для одного или ограниченного числа потребителей, связанных между собой на технологической или организационно-правовой основе.

По назначению АИТ подразделяются на отопительные, производственно-отопительные и производственные. Но мы введем еще одну классификацию – экспериментальные.

В 2022 году в УГТУ на базе лаборатории энергосбережения кафедры Архитектуры и строительства, был разработан и собран автономный источник теплоснабжения, с помощью которого были проведены следующие эксперименты:

- 1) распределение тепловых потоков от приборов отопления водяной системой отопления в закрытом помещении;
- 2) сравнительная оценка теплопроводности бетона при использовании различных присадок;
- 3) анализ теплоаккумуляционных свойств грунта;
- 4) сравнение аккумуляторов тепловой энергии ГВС с нагревательным элементом выполненным из различным материалов.

Тепловая установка состоит:

1. из 3 элементов нагрева, общей мощностью 23 кВт из 2 проточных водонагревателей суммарной мощностью 20 кВт, и одного водонагревателя бойлерного типа мощностью 3 кВт (служит баком аккумулятором).
2. 1 циркуляционного насоса с 3мя режимами производительности.
3. 3 термоманометра.
4. 1 предохранительный клапан избыточного давления.
5. Механический расходомер.

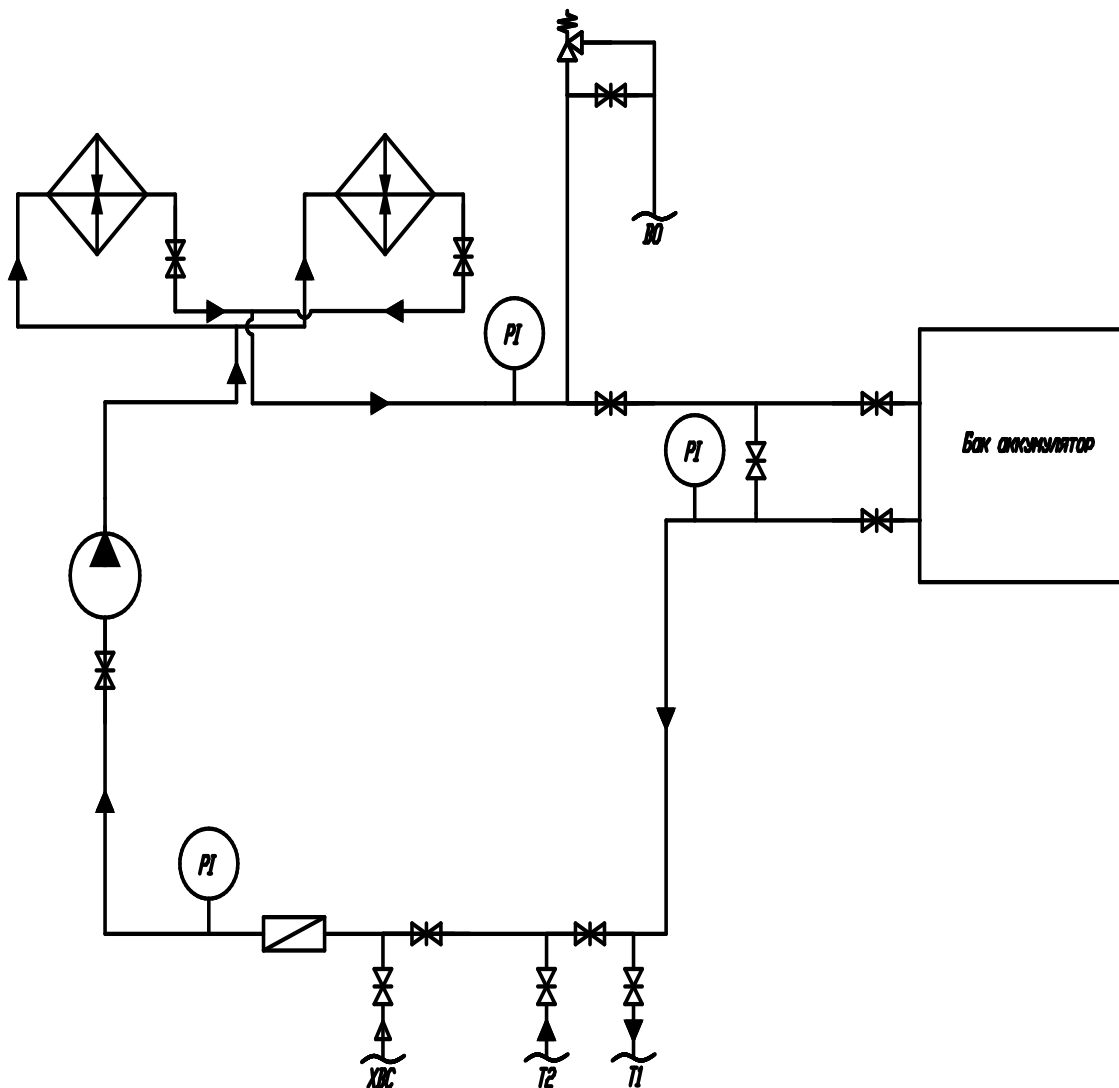
Регулирование отпуска теплоты производится путём изменения параметров теплоносителя – температуры и расхода.

В системе имеется две ступени нагрева теплоносителя, 1 – два проточных водонагревателя мощностью 10 кВт каждый (1 резервный), 2 – емкостной водонагреватель (водонагреватель бойлерного типа) мощностью 3 кВт.

При избытке тепловой энергии, подключается бак аккумулятор (емкостной водонагреватель, не подключенный к сети электроснабжения).

Первая ступень нагрева способна нагревать теплоноситель до температуры 60°C, так же у первой ступени есть возможность работать как в связке с баком аккумулятором, так и без него, при избытке тепловой энергии можно подключить бак аккумулятор.

Бак аккумулятор после нагрева теплоносителя проточным водонагревателем и последующим его отключением, может поддерживать температуру теплоносителя в диапазоне 50-55°C.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ

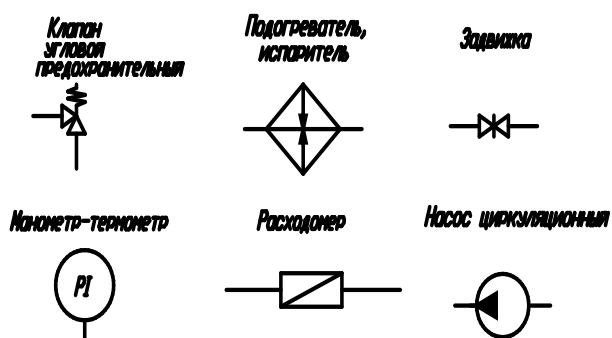


Рисунок 1 - Установка для выработки тепловой энергии

При одновременной работе первой и второй ступени нагрева, возрастает суммарная тепловая мощность установки, что позволяет повышать температуру теплоносителя до 75°C.

Для иллюстрации возможностей смонтированного источника приведены данные двух экспериментов:

1. анализ изменений теплопроводности бетона при использовании различных присадок;
2. сравнение аккумуляторов тепловой энергии систем горячего водоснабжения, с нагревательными элементами выполненными из различных материалов.

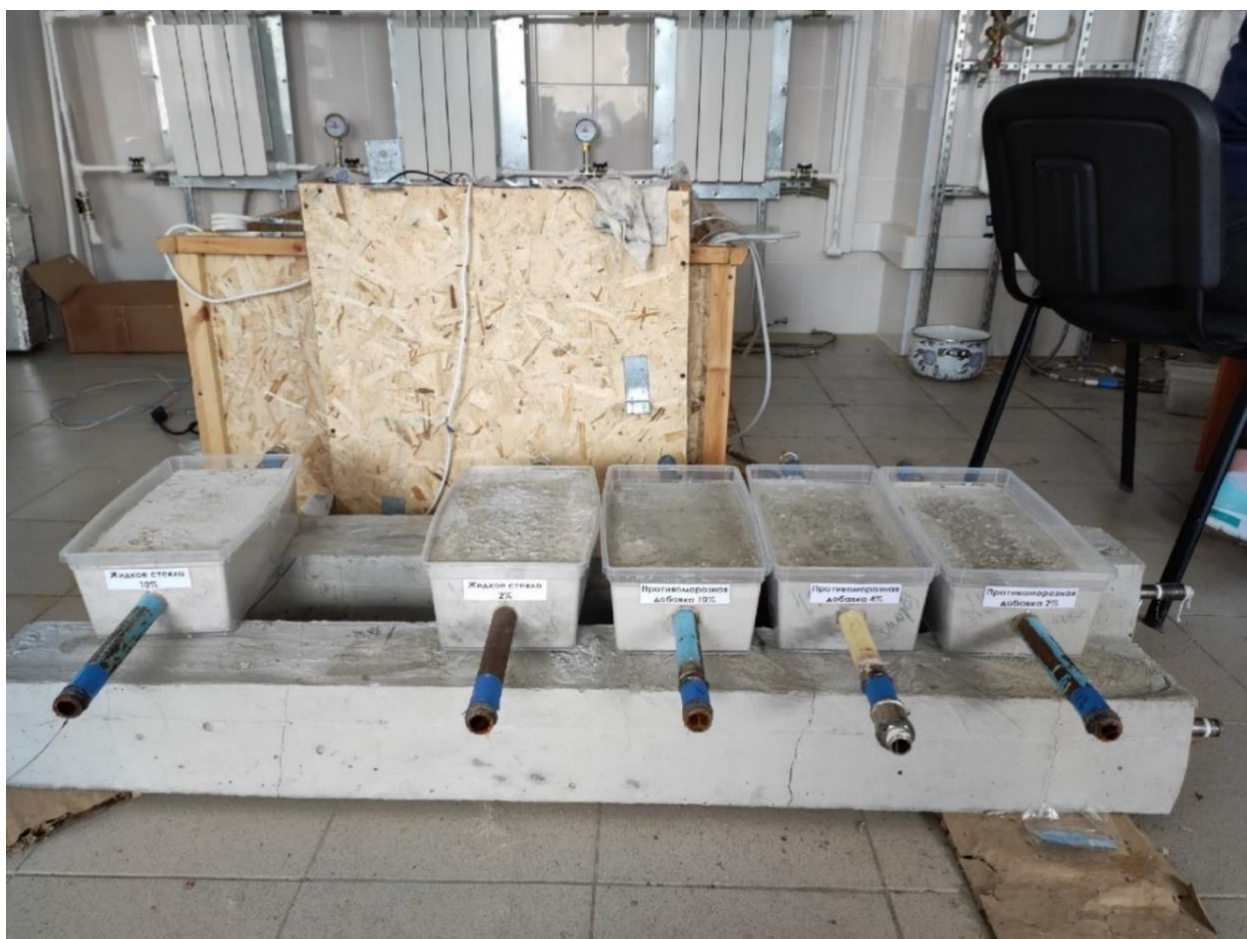


Рисунок 2 - Фото установки для измерения изменений теплопроводности бетона при использовании различных присадок.

В ходе эксперимента были рассчитаны значения теплопроводности бетонов с шестью различными добавками:

- противоморозная добавка 2%,
- противоморозная добавка 4%,
- противоморозная добавка 10%,
- жидкое стекло 2%,
- жидкое стекло 4%,
- жидкое стекло 10%.

С помощью цифровых датчиков температуры были сняты показания в нескольких точках образцов. По полученным данным построены диаграммы.

Расшифровка температур, представленных на диаграммах:

T₁- температура воды от автономного источника;

T₂- температура воды после образца;

T₃, T₄, T₅ - температуры на поверхности образца, в различных точках.

Оценивая полученные зависимости, можно сделать вывод о том, что минимальная теплопроводность бетона при 4% противоморозной добавке и при 10% добавке жидкого стекла.

При проведении эксперимента, работали обе ступени тепловой установки.

Второй эксперимент, сравнение аккумуляторов тепловой энергии систем горячего водоснабжения, с нагревательными элементами выполненными из различных материалов, состоит из двух частей.

Греющим элементом в первой части эксперимента – послужила медная трубка, во второй – силиконовая.

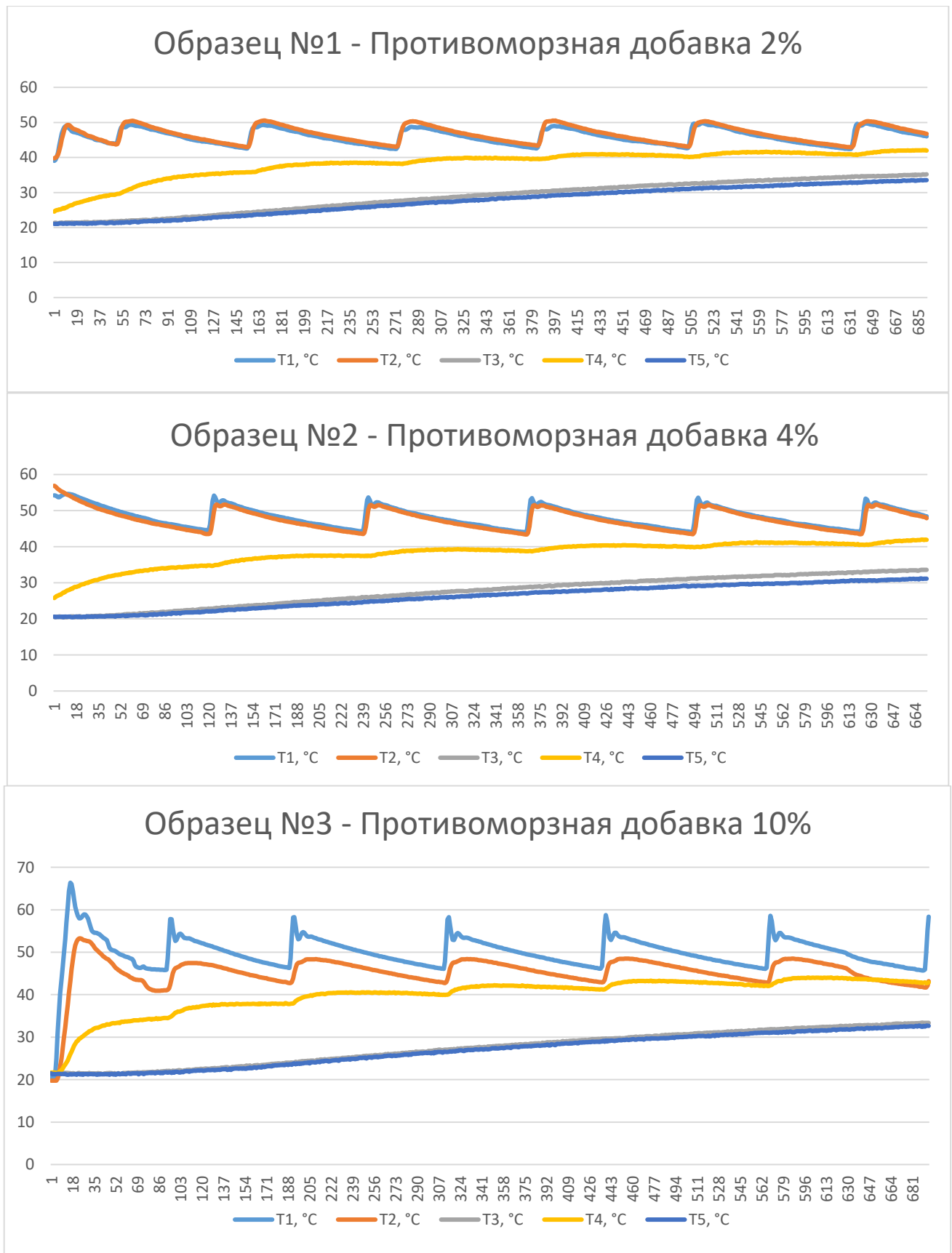


Рисунок 3.1 – Диаграммы зависимости температур от теплопроводности бетонов с шестью различными присадками

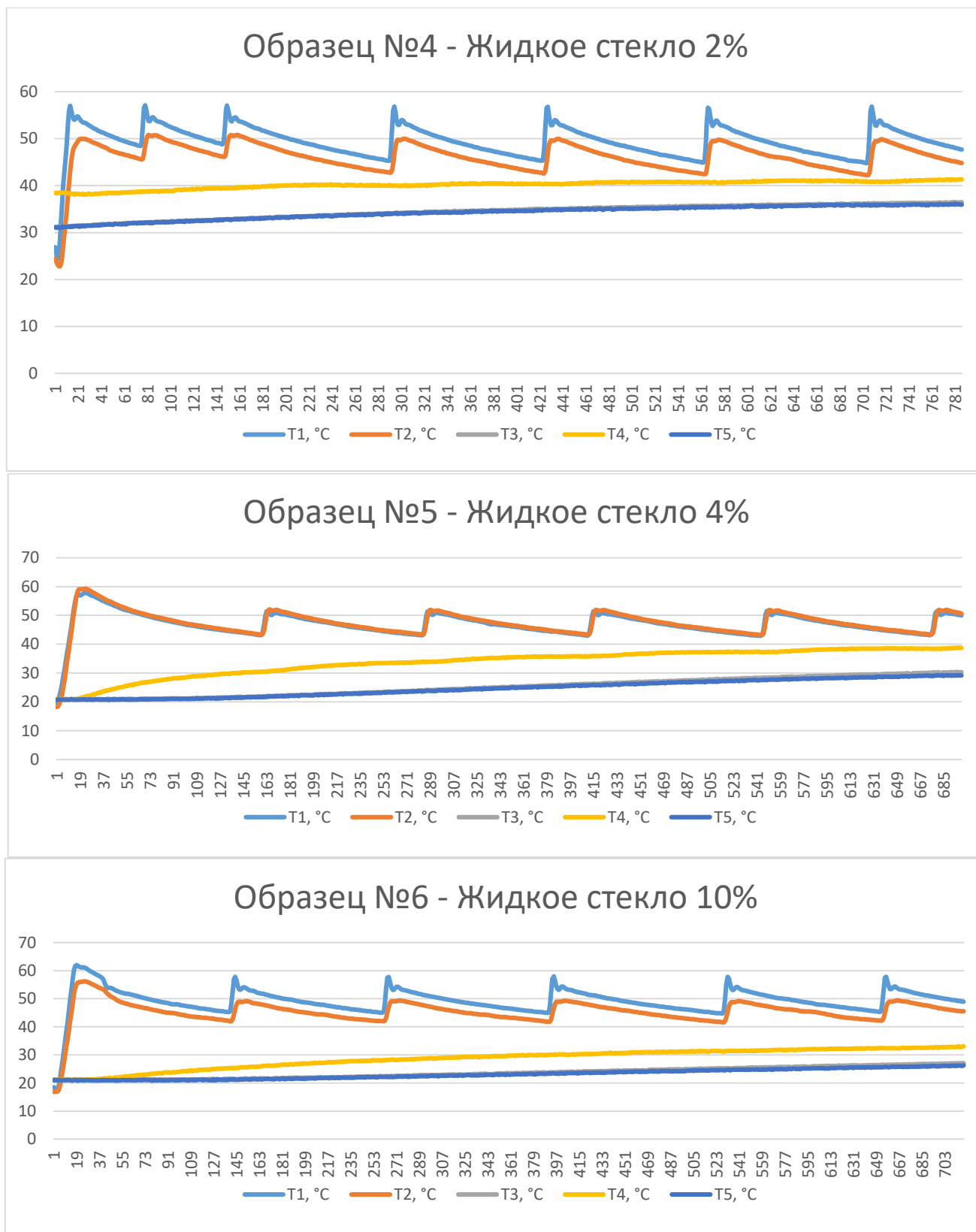


Рисунок 3.2 – Диаграммы зависимости температур от теплопроводности бетонов с шестью различными присадками



Рисунок 4 - Фото установки для сравнения аккумуляторов тепловой энергии ГВС с нагревательным элементом выполненным из различным материалов.

В ходе эксперимента было проведено 83 измерения температур в подающем и обратном трубопроводе и температуры внутренней воды для медного змеевика, и 76 измерений для силиконового. По данным измерения построены графики соотношения исследуемых параметров.

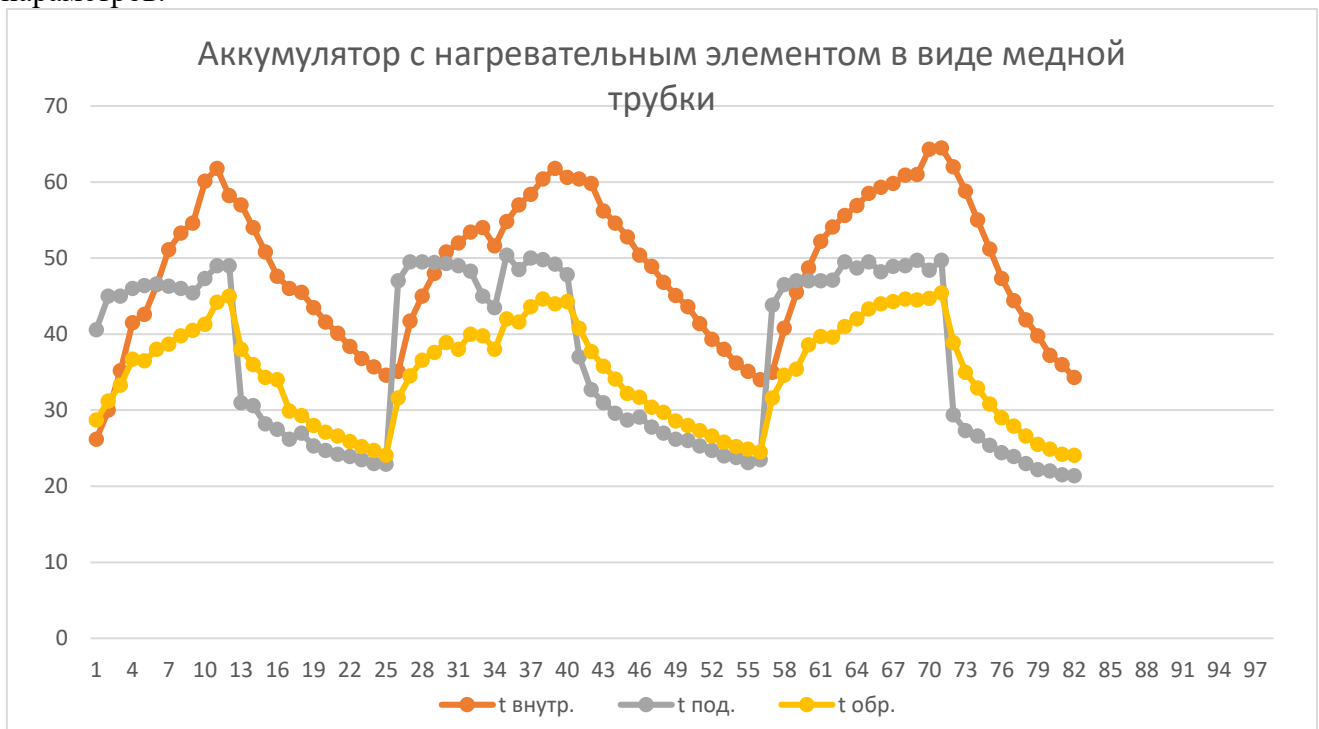


Рисунок 5 - График соотношения температур с медным змеевиком

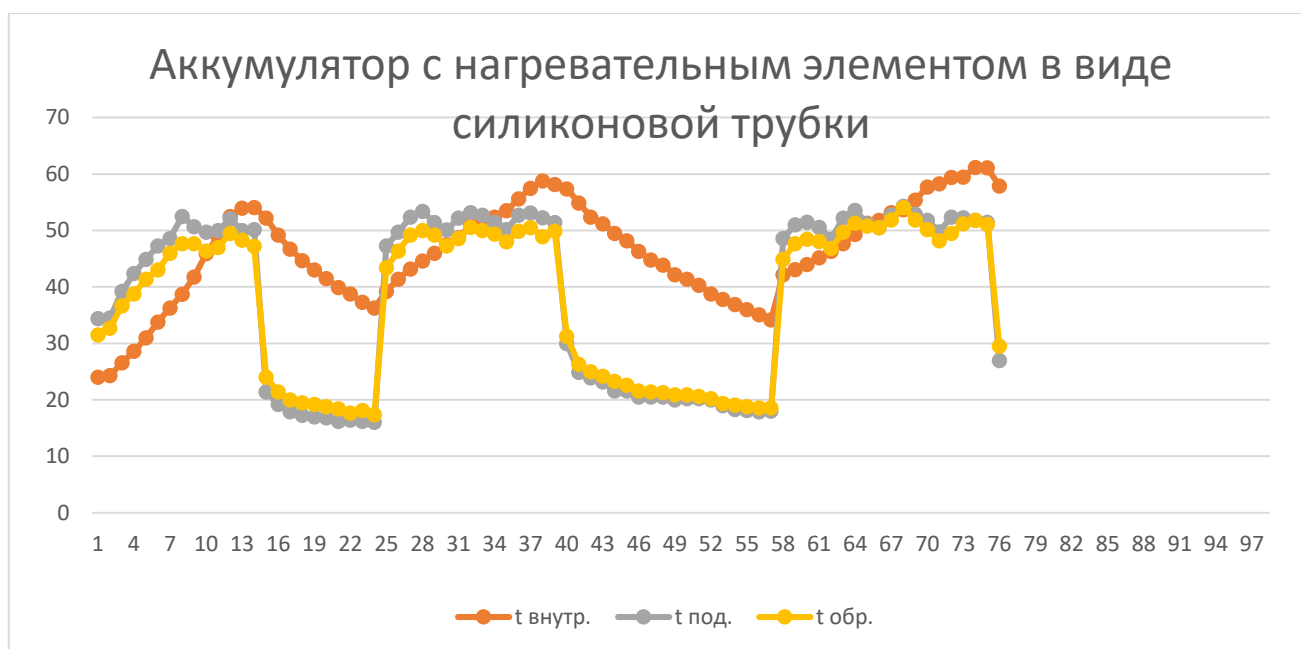


Рисунок 6 - График соотношения температур с силиконовым змеевиком

Змеевик из меди показал наилучшие теплопроводные свойства, как при нагреве воды в аккумуляторе, так и при передаче аккумулятором тепловой энергии проточной воде. Силиконовая трубка, согласно измерениям, показала худшие результаты. В данном эксперименте источником тепла была только вторая ступень установки.

В дальнейшем данный автономный источник будет использоваться для изучения процессов регулирования отпуска тепловой энергии при качественно и количественно-количественном регулировании различных систем теплоснабжения, работающих на низкотемпературных теплоносителях.

Библиографический список:

1. СП 373.1325800.2018 Свод правил. Источники теплоснабжения автономные [Электронный ресурс] - <https://docs.cntd.ru/document/>

УДК 666.97.031.1+625.847

Использования мелкозернистых бетонов на местном сырье для обустройства месторождений Севера

Майорова Н. С.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Бетоны без крупного заполнителя называют мелкозернистыми, большую часть их объема занимает мелкий заполнитель и вяжущее.

По данным Государственной геологической карты РФ на сегодняшний день из 26 разведанных месторождений строительных песков эксплуатируется только два (Строительное, Усть-Ухта). Пески этих месторождений имеют модуль крупности частиц 1,5 – очень мелкий и 1,7 – мелкий и по ГОСТ8736-2014 пригодны для использования в строительных растворах и строительстве земляного полотна автодорог.

Для исследований использовались: песок №1 – очень мелкий и №2 – очень тонкий.

Получить качественный бетон на мелких песках – пескобетон, задача сложная. В подобных пескобетонах все частицы твердых компонентов сопоставимы по величине и чем ближе их размеры, тем однороднее состав, но и больший расход цемента требуется для получения высокой прочности.

Песчаный бетон отличают повышенные физико-технические свойства, технологичность при изготовлении, большая долговечность в рамках той же марки, что и бетона на крупном заполнителе [1]. Сдерживают его применение, в основном, повышенный расход цемента и повышенная усадка.

В настоящее время задача повышения качества мелкозернистых бетонов решается за счет использования таких добавок, как суперпластификаторы, микрокремнезем, модификаторы.

Комплексные добавки способны уменьшить расход воды, повысить гидратационную активность вяжущего, активизировать вторичные реакции гидратации, вовлекая в процесс даже малоактивные частицы песка, максимально уплотнить состав. За счет таких возможностей формируются дополнительные новообразования, скрепляющие компоненты и заполняющие капиллярное пространство. Чтобы капиллярное пространство было минимальным необходимо максимально сократить расход воды затворения, а использование песков высокой удельной поверхности приводит к разуплотнению бетонной смеси, не помогают и суперпластификаторы. Растворная смесь с 30 % цемента и водоцементным отношением 0,3 рассыпалась с пластификатором, а прочность образцов была минимальной.

Исследования качества пескобетона были начаты с подбора составов мелкозернистых бетонов на фракционных песках. Песок №1 был рассеян на фракции: 0,63 - 2,5 мм, 0,315 мм и менее 0,16 мм (отсевы). В связи с тем, что фракции 0,315 мм в песке больше всего, она была принята за базовую.

Таблица 1

Состав	X-фракция менее 0,16 мм	У-фракция ≥0,315 мм	Z-фракция 0,63 - 2,5 мм	Плотность сухой смеси кг/см ³	Пустотность	Осадка малого конуса, см	Прочность при сжатии, МПа
1А	0	100	0	1500	43,4	20,5	39
1Б	5	95	0	1490	43,8	21	39,7
1В	10	90	0	1478	44,2	22	40,9
1Г	20	80	0	1480	44,1	22,7	34,8
1Д	50	50	0	1500	43,4	25	30,8
2А	0	50	50	1610	39,2	21	45,6
2Б	5	50	45	1625	38,7	20,4	36
2В	10	50	40	1625	38,7	20	40,3
2Г	20	50	30	1630	38,1	26	31,1
2Д	50	50	0	1640	38,6	25	26
3А	0	40	60	1635	38,6	25,3	41,7
3Б	5	40	55	1640	38,1	22	32,6
3В	10	40	50	1660	37,4	22	38,3
3Г	20	40	40	1690	36,4	26,7	26,5
3Д	50	40	30	1700	36,0	25,5	19,7
4А	0	30	70	1605	39,4	23,8	44,7
4Б	5	30	65	1660	39,4	22,4	43,9
4В	10	30	60	1665	38,0	25,5	40,8
4Г	20	30	50	1725	34,9	24,5	41,7
4Д	50	30	30	1705	35,6	22,5	41,9
5А	0	0	100	1495	43,6	24,5	42,2
5Б	5	0	95	1550	41,5	21	44,4
5В	10	0	90	1600	40,4	25,3	43,8
5Г	20	0	80	1700	36,0	23,8	43,2
5Д	50	0	50	1750	34,0	24,5	41,8

Были изготовлены 25 составов мелкозернистого бетона Таблица 1, в которых изменяли содержание крупных фракций песка от 0 до 100% и количество отсевов (фр. <0,16 мм) – от 0 до 50 % от общего количества песка, количество фракций 0,315 изменяли соответственно с уменьшением крупных фракций.

Все составы имели водоцементное отношение В/Ц=0,4, соотношение цемент: песок 1:1, смеси готовили без пластификации. Образцы твердели 28 суток в нормальных условиях, после чего были испытаны на прочность при изгибе и сжатии (Рисунок 1).

Показатели прочности этих составов – это верхние линии на графике. Чем больше отсевов, тем ниже прочность, за исключением точек 1, 2, 3В. 10 % отсевов при содержании крупных фракций от 50 % до 0 оказались оптимальным сочетанием. В столбцах, где преобладают крупные фракции песка (4 и 5), 10 % отсевов не оказали того воздействия, расплыв конуса при этом соотношении был максимальным (250 %), а прочность для этих составов минимальной. Добавка 5 % отсевов при отсутствии фракции 0,315 мм немного увеличила прочность. Возможно, в этом случае достаточно и 1% отсевов. Ранее были получены такие результаты с рядовым песком, когда прочность возросла почти в 2 раза, а при 5 % опять снизилась.

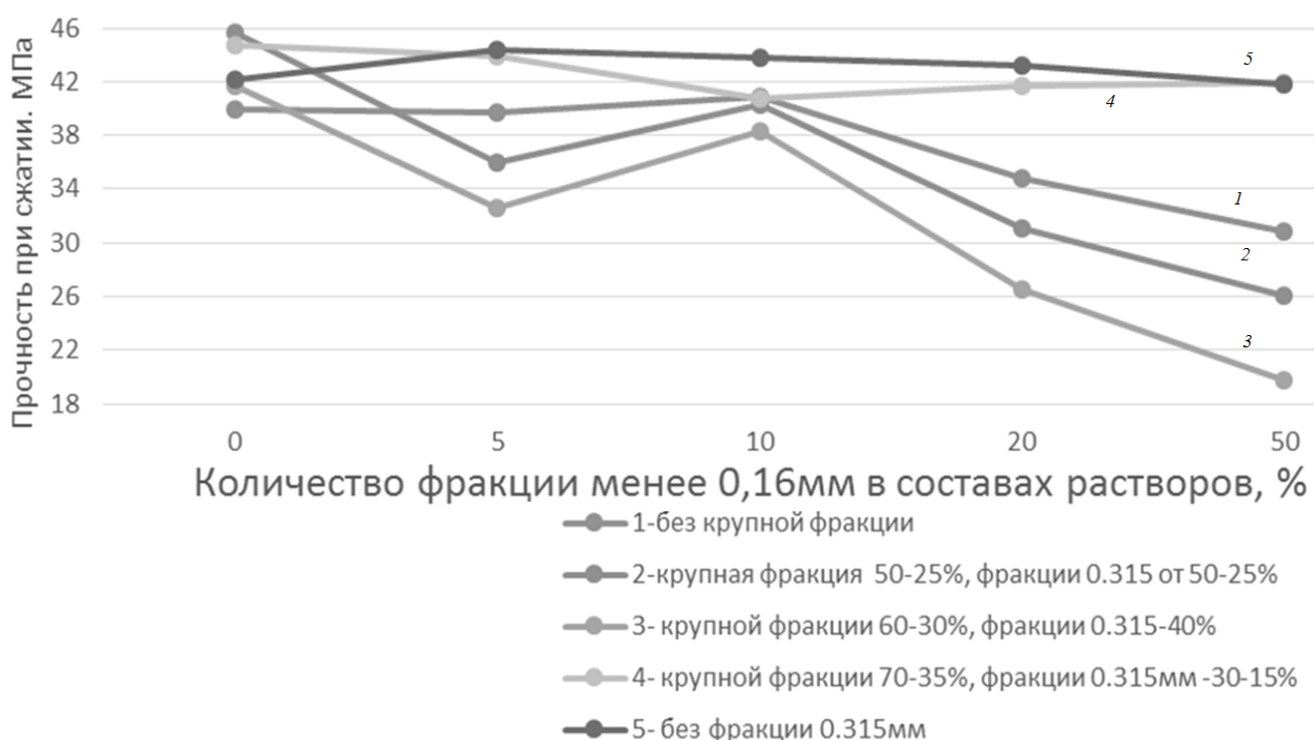


Рисунок 1 - Прочностные показатели составов мелкозернистого бетона

Составы (1, 2, 3) с меньшим содержанием крупного песка имеют закономерность снижения прочности при увеличении отсевов до 20 % и более. А в рядовом песке таких отсевов 19,2 %, да кроме того, ещё фракция < 0,315 мм, которую не использовали в составах. Поэтому рассев песка на фракции, когда необходимо получить качественный бетон, необходим.

Некоторые исследователи утверждают [2], что главным условием высокой прочности является минимальная пустотность. Пустотность приведенных составов была минимальной в точках 3Г, Д, 4Г, Д, 5Г, Д (34-36%), тогда как прочность была максимальной в точке 2А (39 %). Составы без крупных фракций песка с максимальной пустотностью (44 %) – 1В имеют большую прочность, чем составы с меньшей пустотностью (2, 3Г, Д). Самые низкие прочности всех составов оказались в столбце 3, где количество крупных фракций снижено от 55 до 30 %. При недостатке крупных фракций в составах нарушено соотношение размеров частиц, когда происходит максимальное уплотнение смеси. Математические расчеты показали, что минимальная пустотность образуется, когда крупные частицы кратны 4 по отношению к мелким. Частицы песка фракции 0,63 мм больше частиц 0,16 мм почти в 4 раза, а частицы

фракции 0,315 мм – всего в 2 раза. С уменьшением крупных фракций возникает больше межзерновых пустот, в которых размещается вода затворения, обеспечивая расплыв конуса. Объем пустот с увеличением отсевов снижается, а расплыв конуса возрастает. Прочность падает. С уменьшением объема пустот можно снизить количество воды затворения. Тогда прочность должна возрасти. Нормативные документы ограничивают количество пылеватых фракций в песке для бетонов по причине увеличения расхода воды. Оказалось, что фракции менее 0,16 мм в любом количестве не удерживают воду, расплыв конуса увеличивается. А лишняя вода формирует капиллярные поры. Эта закономерность позволяет подтвердить мнение, что увеличение доли кремнезёмистой добавки позволит снизить содержание клинкерной части в цементах, не снижая их активности.

Применение суперпластификаторов и модификаторов позволяет поднять уровень прочности этих составов. Так, модификаторы, содержащие минеральные порошки наноразмеров (микрокремнезём с удельной поверхностью 20 м²/г и более), уплотняют структуру цементного камня, размещаясь в мельчайших капиллярах между частицами не только песка, но и цемента, армируя матрицу. Отсевы песка фракции менее 0,16 мм не содержат или содержат очень мало частиц таких размеров, поэтому только при определенных соотношениях эта фракция приносит желаемый эффект.

В пескобетоне матрица строится из новообразований от реакции цемента с водой [3]. Чтобы матрицы хватило для непрерывной связки, её должно быть больше, а цемента больше добавлять опасно. Поэтому надо найти частицы, способные уплотнить структуру не снижая её физико-механических характеристик. Цементные частицы гидратируются, кварцевые – остаются целыми, не растворяются в воде, не разбухают как глина и не вступают во вторичные реакции гидратации, как микрокремнезём, а являются уплотнителем в структуре, не впитывающим воду. Чем этой фракции больше, тем больше твердых кварцевых частиц и свободной воды между ними.

Если соотношение фракций песка таково, что образующийся объем пустот не размещает всю мелочь, она сама воду не удерживает и тесто расплывается. Пустотность отсевов высокая (51 %), там размещается вода, снижающая прочность цементного камня (1Г, 1Д, 2Г, 2Д, 3Г, 3Д). Мягкие пористые породы, впитывая и удерживая воду, снижают пластичность смеси. Так, добавляя вместо отсевов песка молотый кирпич, при том же водоцементном отношении, не наблюдалось расплыва конуса и прочность снизилась до 33,0 МПа. Такая добавка эффективна в легкие бетоны. Тонкие частицы кремнезёма не имеют пор, не впитывают влагу, с их помощью можно регулировать подвижность бетонной смеси. Эта добавка увеличивает объем матрицы, что необходимо при использовании мелких песков. Когда в состав 1Г ввели суперпластификатор, прочность достигла 69,5 МПа. Снижение количества цемента до 30 % в составе 2В с пластификатором позволило получить прочность 49,3 МПа. Введение в этот же состав модификатора «Полипласт» позволило сократить воду затворения при водо-редуцирующей способности смеси до 90 % и получить прочность при сжатии 50,0 МПа, при изгибе – 11,5 МПа. С помощью суперпластификатора СП-3 увеличили прочность при сжатии состава 1В на марку (55,0 МПа), прочность при изгибе поднялась до 12,8 МПа. Состав 1А с сокращением В/Ц = 0,3 с 1% СП-3 увеличил прочность при сжатии до 61,7 МПа, прочность при изгибе поднялась до 13,6 МПа. То, что можно, не затрачивая энергию на помол, получить такую добавку простым отсевом, является простым решением проблемы повышения качества пескобетонов без затрат на дорогие модификаторы или дополнительный помол.

Сокращение цемента в бетонах с крупным заполнителем до 23 % на песке фракции <0,315 с 10 % отсевов и пластификатором С - 3 через 28 суток привело к снижению прочности до 35,0 МПа. Но введение 50 % крупного песка и 20 % отсевов в составе с крупным заполнителем (2Г) позволило поднять прочность бетона до 49,58 МПа, причем разрушились образцы по щебню, известняк был не пригоден для бетонов такой марки. Водоцементное отношение в обоих случаях составляло 0,44. Таким образом, даже с мелкими песками, если их фракционировать, есть возможность получать дорожные бетоны хорошего качества.

Библиографический список:

1. Чистов Ю.Д. Роль песчаных бетонов в реализации задач жилищной проблемы// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006.- №3. - С.
2. Морозов Н.М., Хозин В.Г. и др. Песчаный бетон высокой прочности// Строительные материалы. – 2005.- №11. - С.
3. Калашников В.И. Виды реологических матриц в бетонной смеси. Стратегия повышения прочности бетона и экономии его в конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2007, №5. - С.8 - 10.

УДК 624.131:624.155.1

Упругое взаимодействие вертикально нагруженной сваи с неоднородным грунтом

Девальтовский Е. Э., Скутина Е. В.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

Почти все грунты изменяют свои свойства с глубиной. В случае неоднородности, где есть несколько слоёв грунта, каждый из которых можно считать однородным, предполагается простое распределение деформаций сдвига. В этом случае значения сдвигающих $\tau_o(z)$ и сжимающих σ_z напряжений на какой-либо глубине можно установить путём изменения соответствующего модуля сдвига G_s , и коэффициента Пуассона ν_s [1].

Пусть свая проходит n слоёв грунтов со своими значениями G_{si} и ν_{si} . Для первого участка $(0 - z_1)$ будут справедливы выражения (3.105), (3.106) [1], которые можно записать в виде:

$$\sigma_z = \frac{\sinh(\mu_1 \cdot z)}{\sinh(\mu_1 \cdot z_1)} \sigma_1, \quad (1)$$

$$\tau_o(z) = \frac{\cosh(\mu_1 \cdot z)}{\sinh(\mu_1 \cdot z_1)} \cdot \frac{\mu_1 \cdot F_{s1}}{u_p} \sigma_1, \quad (2)$$

где σ_1 – сжимающие напряжения на границе 1-го слоя грунта.

Для j -го слоя грунта постоянные интегрирования C_1 и C_2 уравнения (3.20) [1] будем искать из следующих граничных условий:

- при $z = z_{i-1}$ (верхняя граница j -го слоя) $\sigma_z = \sigma_{i-1}$;
- при $z = z_i$ (нижняя граница j -го слоя) $\sigma_z = \sigma_i$.

В этом случае получим новое выражение для сжимающих напряжений в j -м слое:

$$\sigma_z = \frac{\sinh[\mu_j \cdot (z - z_{i-1})]}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \cdot \sigma_i + \frac{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z)]}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \cdot \sigma_{i-1} \quad (3)$$

где

$$\mu_j = \sqrt{\frac{U_p \cdot \beta_j}{k_j \cdot \lambda_j \cdot F_{sj}}} \quad (4)$$

Продифференцировав выражение (3) и подставив его в уравнение (3.5) [1], получим новое выражение для изменения сдвигающих напряжений $\tau_o(z)$ на контакте свая – грунт на j -м участке сваи:

$$\tau_o(z) = \frac{\mu_j \cdot F_{sj}}{U_p} \cdot \left\{ \frac{\cosh[\mu_j \cdot (z - z_{i-1})]}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \cdot \sigma_i - \frac{\cosh[\mu_j \cdot (z_i - z)]}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \cdot \sigma_{i-1} \right\} \quad (5)$$

Очевидно, что уравнения (3) и (5) включают в себя как частный случай и выражения (1) и (2).

Для определения неизвестных значений σ_i рассмотрим деформацию грунта на контакте двух слоёв j и $j+1$. Согласно уравнению (3.17) [1] можно записать:

$$\downarrow w_{sj}(z_i) = \frac{k_j}{G_{sj}} \cdot \tau_{0j}(z_i) \quad (6)$$

$$\uparrow w_{sj+1}(z_i) = \frac{k_{j+1}}{G_{sj+1}} \cdot \tau_{0j+1}(z_i) \quad (7)$$

где, учитывая уравнение (5):

$$\downarrow \tau_{0j}(z_i) = \frac{\mu_j \cdot F_{sj}}{U_p} \cdot \left\{ \coth[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] \cdot \sigma_i - \frac{1}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \cdot \sigma_{i-1} \right\} \quad (8)$$

$$\uparrow \tau_{0j+1}(z_i) = \frac{\mu_{j+1} \cdot F_{sj+1}}{U_p} \cdot \left\{ \frac{1}{\sinh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)]} \cdot \sigma_{i+1} - \coth[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] \cdot \sigma_i \right\} \quad (9)$$

На границе слоёв j и $j+1$:

$$\downarrow w_{sj}(z_i) = \uparrow w_{sj+1}(z_i)$$

или с учетом выражений (6) и (7)

$$\frac{k_j}{G_{sj}} \cdot \tau_{0j}(z_i) = \frac{k_{j+1}}{G_{sj+1}} \cdot \tau_{0j+1}(z_i) \quad (10)$$

откуда:

$$\tau_{0j+1}(z_i) = \frac{k_j}{k_{j+1}} \cdot \frac{G_{sj+1}}{G_{sj}} \cdot \tau_{0j}(z_i) \quad (11)$$

Подставляя уравнения (8) и (9) в уравнение (11), получим следующее выражение для σ_i :

$$\begin{aligned} \sigma_i = & \left[\frac{k_j}{k_{j+1}} \cdot \frac{G_{sj+1}}{G_{sj}} \cdot \frac{\mu_j \cdot F_{sj}}{\mu_{j+1} \cdot F_{sj+1}} \cdot \coth[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] \cdot \sinh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] + \cosh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] \right]^{-1} \cdot \sigma_{i+1} + \\ & + \left[\frac{k_{j+1}}{k_j} \cdot \frac{G_{sj}}{G_{sj+1}} \cdot \frac{\mu_{j+1} \cdot F_{sj+1}}{\mu_j \cdot F_{sj}} \cdot \coth[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] \cdot \sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] + \cosh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] \right]^{-1} \cdot \sigma_{i-1} \end{aligned} \quad (12)$$

Обозначим:

$$A_i = \left[\frac{k_{j+1}}{k_j} \cdot \frac{G_{sj}}{G_{sj+1}} \cdot \frac{\mu_{j+1} \cdot F_{sj+1}}{\mu_j \cdot F_{sj}} \cdot \coth[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] \cdot \sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] + \cosh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] \right]^{-1} \quad (13)$$

$$B_i = \left[\frac{k_j}{k_{j+1}} \cdot \frac{G_{sj+1}}{G_{sj}} \cdot \frac{\mu_j \cdot F_{sj}}{\mu_{j+1} \cdot F_{sj+1}} \cdot \coth[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] \cdot \sinh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] + \cosh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] \right]^{-1} \quad (14)$$

Тогда выражение (12) можно представить в виде:

$$\sigma_i = A_i \cdot \sigma_{i-1} + B_i \cdot \sigma_{i+1} \quad (15)$$

1. Напряжение на поверхности грунта обозначим σ_0 (оно может равняться 0, а может и нет). Модель позволяет учитывать влияние пригружающих основание напряжений (обозначенных σ_0) на взаимодействие сваи с грунтом.

2. Напряжение на уровне нижнего конца сваи длиной l обозначим σ_l , (им необходимо задаваться в процессе вычислений).

Для определения промежуточных значений напряжений на границах слоёв предлагается следующая последовательность вычислений:

1. Определяются значения A_i и B_i по уравнениям (13) и (14).
2. Определяются значения C_i и D_i по уравнениям (17) и (16).

$$D_i = \frac{B_i}{1 - A_i \cdot D_{i-1}} \quad (16)$$

(при $i = 1, D_{i-1} = 0$)

$$C_i = C_{i-1} \cdot \frac{A_i}{B_i} \cdot D_i \quad (17)$$

(при $i = 1, C_{i-1} = 1$)

3. Определяются значения K_{n-i} и L_{n-i} по уравнениям (18) и (19).

$$K_{n-i} = C_{n-i} + D_{n-i} \cdot K_{n-i+1} \quad (18)$$

(при $i = 1, K_{n-i+1} = 0$)

$$L_{n-i} = D_{n-i} \cdot L_{n-i+1} \quad (19)$$

(при $i = 1, L_{n-i+1} = 1$)

4. Определяются значения σ_{n-1} по уравнению (20).

$$\sigma_{n-i} = K_{n-i} \cdot \sigma_o + L_{n-i} \cdot \sigma_l \quad (20)$$

Распределение сжимающих напряжений σ_z в грунте и сдвигающих напряжений $\tau_o(z)$ по боковой поверхности сваи в пределах j -го слоя грунта можно определить по уравнениям (3) и (5), соответственно.

В общем виде нагрузка по стволу сваи определяется

$$P_s = [F_{s1} \cdot (K_1 - 1) + F_{s2} \cdot (K_2 - K_1) + \dots + F_{sn} \cdot K_{n-1}] \cdot \sigma_o + [F_{s1} \cdot L_1 + F_{s2} \cdot (L_2 - L_1) + \dots + F_{sn} \cdot (1 - L_{n-1})] \cdot \sigma_l \quad (21)$$

Нагрузку на нижний конец сваи можно определить из уравнения:

$$P_b = \frac{4 \cdot r_{o2} \cdot G_{s2}}{(1 - \nu_{s2}) \cdot \eta_2} \cdot w_b \quad (22)$$

где w_b – осадка нижнего конца сваи.

В упругой стадии работы ствола сваи

$$w_b = w_s(l) \quad (23)$$

где $w_s(l)$ – перемещение нижней точки ствола сваи за счет сдвиговой деформации, определяемой уравнением (3.17) [13]:

$$w_s(l) = \frac{k_n}{G_{sn}} \cdot \tau_o(l) \quad (24)$$

Нагрузка, передаваемая сваей грунту:

$$P_t = P_b + P_s \quad (25)$$

Осадку уплотнения межсвайного грунта будет определять уравнением (26):

$$S(0) = \frac{\beta_1}{E_{s1} \cdot \mu_1} \cdot \frac{\cosh(\mu_1 \cdot z_1) - 1}{\sinh(\mu_1 \cdot z_1)} \cdot (\sigma_l + \sigma_o) + \frac{\beta_2}{E_{s2} \cdot \mu_2} \cdot \frac{\cosh[\mu_2 \cdot (z_2 - z_1)] - 1}{\sinh[\mu_2 \cdot (z_2 - z_1)]} \cdot (\sigma_2 + \sigma_l) + \dots + \frac{\beta_j}{E_{sj} \cdot \mu_j} \cdot \frac{\cosh[\mu_j \cdot (z_j - z_{j-1})] - 1}{\sinh[\mu_j \cdot (z_j - z_{j-1})]} \cdot (\sigma_j + \sigma_{j-1}) + \dots + \frac{\beta_n}{E_{sn} \cdot \mu_n} \cdot \frac{\cosh[\mu_n \cdot (l - z_{n-1})] - 1}{\sinh[\mu_n \cdot (l - z_{n-1})]} \cdot (\sigma_l + \sigma_{n-1}) \quad (26)$$

Осадку уплотнения слоя межсвайного грунта в пределах от z до l можно определить из уравнения:

$$S(z) = \frac{\beta_j}{E_{sj} \cdot \mu_j} \cdot \left\{ \frac{(\cosh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})] - \cosh[\mu_j \cdot (z - z_{i-1})])}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \sigma_i + \frac{(\cosh[\mu_j \cdot (z_i - z)] - 1)}{\sinh[\mu_j \cdot (z_i - z_{i-1})]} \sigma_{i-1} \right\} +$$

$$+ \frac{\beta_{j+1}}{E_{sj+1} \cdot \mu_{j+1}} \cdot \frac{\cosh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)] - 1}{\sinh[\mu_{j+1} \cdot (z_{i+1} - z_i)]} (\sigma_{i+1} + \sigma_i) + \dots + \frac{\beta_n}{E_{sn} \cdot \mu_n} \cdot \frac{\cosh[\mu_n \cdot (l - z_{n-1})] - 1}{\sinh[\mu_n \cdot (l - z_{n-1})]} (\sigma_l + \sigma_{n-1})$$

По всей длине сваи имеет место условие:

$$w_s(z) + S(z) = \text{const} = w_s(l) = w_b \quad (28)$$

Осадка S_n уплотнения грунта ниже острия сваи от напряжений σ_l , будем определять из уравнения:

$$S_n = \frac{\sigma_l \cdot r_{mn} \cdot (1 - \nu_{sn})}{G_{sn}} \cdot \eta' \quad (29)$$

Полная осадка грунта:

$$w_t = w_s(z) + S(z) + S_n = w_b + S_n = w_s(l) + S_n \quad (30)$$

Таким образом получена система уравнений, позволяющая проанализировать упругое взаимодействие сваи с неоднородным грунтом.

Библиографический список:

1. Девальтовский Е.Э. Исследование работы свайных фундаментов с учётом их взаимодействия с межсвайным грунтом. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н., Л., ЛИСИ, 1982, и др.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

<p>А</p> <p>Афанасьев А. В. 98</p>	<p>О</p> <p>Отев К. С. 19</p>
<p>Б</p> <p>Базарова А. М. 5</p> <p>Балин В. А. 47</p> <p>Баранова Р. Р. 55</p> <p>Бутов А. В. 55</p>	<p>П</p> <p>Пекки Л. П. 87</p> <p>Петрушкин П. В. 27</p> <p>Пильник Ю. Н. 63</p> <p>Пискунова М. С. 35, 37</p> <p>Поликарпова М. В. 66</p> <p>Попов С. Е. 84</p> <p>Попова Л. В. 50</p>
<p>В</p> <p>Веряскина Е. М. 95</p>	<p>Р</p> <p>Рекова Е. В. 63</p> <p>Родионов А. В. 87</p> <p>Рожкин В. Д. 40</p> <p>Рылько Н. М. 50</p>
<p>Г</p> <p>Голиков И. Ю. 8</p> <p>Гурьянов С. Г. 76</p>	<p>С</p> <p>Савич В. Л. 47</p> <p>Саприн С. В. 70</p> <p>Севостьянова О. П. 58, 73</p> <p>Семяшкина Е. И. 30</p> <p>Скутина Е. В. 108</p>
<p>Д</p> <p>Девальтовский Е. Э. 108</p> <p>Дроздова А. Р. 70</p>	<p>Т</p> <p>Тимохова О. М. 92</p> <p>Томилов В. О. 35, 37</p>
<p>И</p> <p>Иванова Е. С. 98</p> <p>Ивенина И. В. 53</p> <p>Истомина С. Н. 47</p>	<p>Х</p> <p>Хухарев Д. Р. 32</p>
<p>К</p> <p>Каганяк Д. С. 12</p> <p>Кадомцева А. В. 35, 37</p> <p>Климова И. В. 58, 73</p> <p>Коломинова М. В. 79</p> <p>Король С. А. 84</p>	<p>Ц</p> <p>Цыпук А. М. 87</p>
<p>Л</p> <p>Лиджиев Б. С. 19</p> <p>Логинов М. А. 22</p>	<p>Ч</p> <p>Чемшикова Ю. М. 92</p> <p>Чихалина В. В. 55</p> <p>Чувашов А. А. 50</p>
<p>М</p> <p>Майорова Н. С. 104</p> <p>Матонина Ю. С. 58</p> <p>Меньшиков С. В. 82</p> <p>Митрофанов Н. А. 24</p> <p>Молева Е. С. 58</p> <p>Мучкинова Л. И. 19</p>	<p>Ш</p> <p>Шичев П. С. 8</p>
<p>Н</p> <p>Нор Е. В. 66</p>	<p>Щ</p> <p>Щетинин Е. В. 40</p>