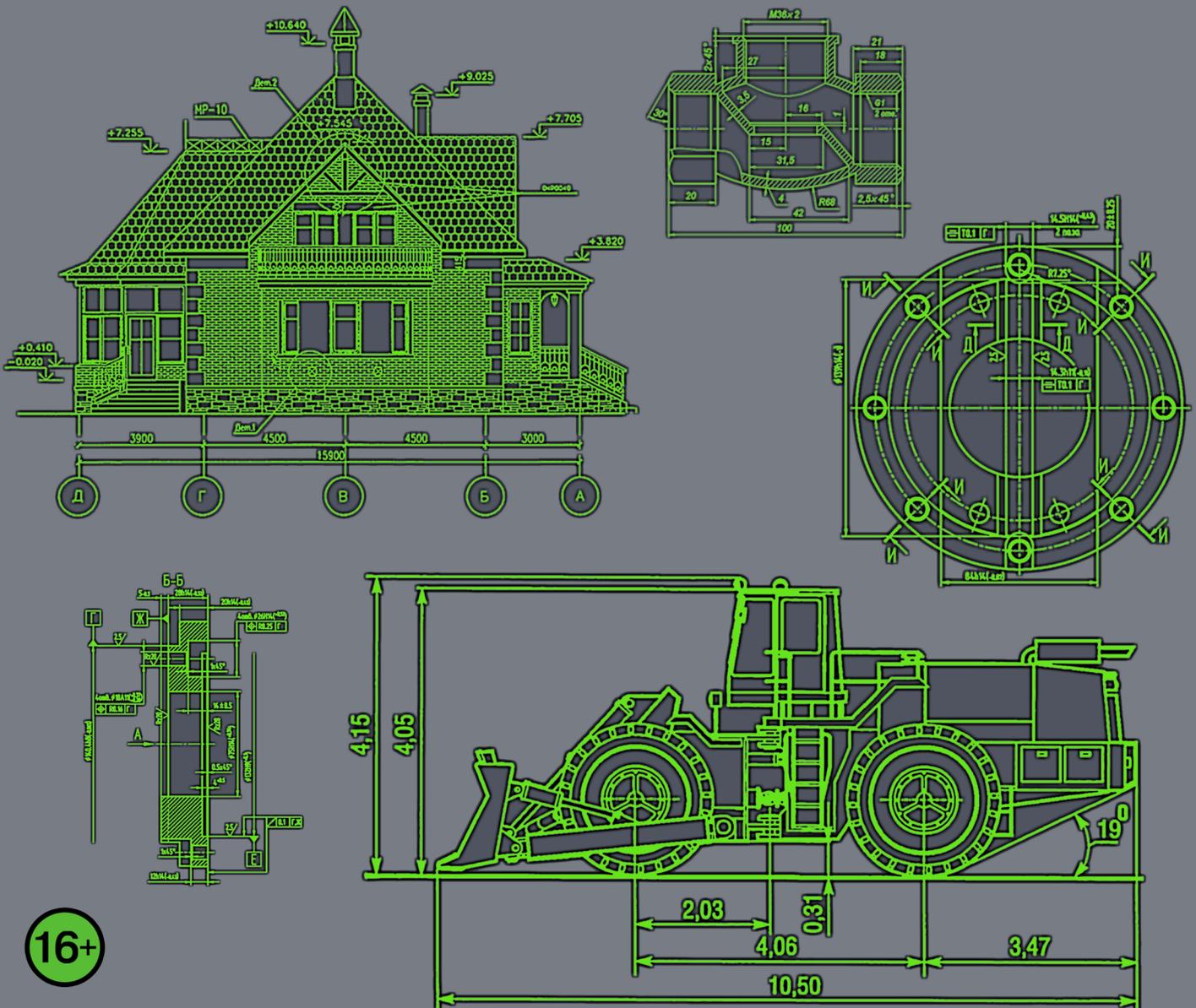


ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИКА ИНЖЕНЕРИЯ

международный научный журнал



ISSN 2410-7352

ТЕХНИКА ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРИЯ

Международный научный журнал

№ 1 (03) / 2017

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Члены редакционной коллегии:

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Руководитель редакционного отдела:

Кайнова Галина Анатольевна

Ответственные редакторы:

Осянина Екатерина Игоревна, Вейса Людмила Николаевна

Художник: Шишков Евгений Анатольевич

Верстка: Бурьянов Павел Яковлевич

Почтовый адрес редакции: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

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

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

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».

Тираж 500 экз. Дата выхода в свет: 10.02.2017. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.
Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*
Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*
Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, *кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)*
Бидова Бэла Бертовна, *доктор юридических наук, доцент (Россия)*
Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*
Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*
Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*
Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*
Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*
Демидов Алексей Александрович, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*
Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, *доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)*
Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*
Кайгородов Иван Борисович, *кандидат физико-математических наук (Бразилия)*
Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*
Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*
Колпак Евгений Петрович, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*
Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*
Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*
Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*
Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*
Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*
Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, *доктор философских наук, профессор (Россия)*
Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*
Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*
Узаков Гулом Норбоевич, *доктор технических наук, доцент (Узбекистан)*
Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*
Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*
Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Перекопский А.Н., Зыков А.В., Рожков Г.А.

Анализ технико-технологических решений при строительстве пунктов послеуборочной обработки семян зерновых культур в Ленинградской области 1

Юнин В.А., Гокоев И.А., Сенник Я.С., Зыков А.В.

Эффективность применения жидких консервантов в технологии прессованного сена 4

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Власов Д.А.

Современная фрактальная теория: визуализация и прикладные аспекты 8

Дупленко А.Г.

Направления защиты данных в интеллектуальных системах «Умный город» 11

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Альдебенева Е.П., Достовалов А.А.

Исследование физических свойств и областей применения кристаллов ниобата лития 14

Соловьев В.А.

Расчет несимметричных трехфазных цепей. 17

ЭНЕРГЕТИКА

Бобылев А.В., Зенкин В.А.

Математическая модель свободнопоршневого двигателя Стирлинга 22

Зингер М.А., Клементьева К.В., Захаров И.В.

Применение промышленных моторов с использованием высокотемпературной сверхпроводимости на морском флоте 27

Мысак Н.Б.

Статистический анализ динамики и прогнозирования добычи нефти Урьевского месторождения 33

МЕТАЛЛУРГИЯ

Замалетдинов И.И., Колобова Е.А.

О новейших методах изучения процессов питтинговой коррозии 36

СТРОИТЕЛЬСТВО

Чашин Д.В.

Динамика работы привода виброформовочной установки. 45

ТРАНСПОРТ

Бурдяк П.С.

Увеличение емкости железнодорожных путей в пунктах взаимодействия видов транспорта при организации мультимодальных перевозок 48

Карасёв С.В., Романов В.А.

Использование цифровых спутниковых снимков при решении задач развития технического оснащения и технологии работы железнодорожных станций 50

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Картавая М.Н.

Использование традиционных славянских орнаментов в отделке современного костюма с использованием термотрансферной печати 54

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Прокопьев Н.Я., Суфианова Г.З., Комаров А.П.

Многофункциональное устройство для подготовки лекарственных средств к употреблению (Патент РФ на полезную модель № 132347) 57

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Анализ технико-технологических решений при строительстве пунктов послеуборочной обработки семян зерновых культур в Ленинградской области

Перекопский Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент;

Зыков Андрей Владимирович, научный сотрудник;

Рожков Григорий Александрович, аспирант, младший научный сотрудник

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (Санкт-Петербург)

Специфической особенностью погодно-климатических условий Северо-Западного региона РФ является повышенное, а в отдельные годы избыточное увлажнение. В период массовой уборки зерновых культур (август — сентябрь) в регионе выпадает значительное количество осадков (150–170 мм), а относительная влажность воздуха составляет 70–85% при сравнительно низкой температуре воздуха в +10 — +15°C. Это обуславливает низкую вероятность получения при уборке зерна кондиционной влажности — 0,10–0,15.

Основными особенностями зернового вороха, поступающего на пункты послеуборочной обработки зерновых культур, являются: расчетная влажность вороха при уборке в условиях региона принята равной 26%; засоренность вороха зависит от культуры земледелия; ворох на пункты послеуборочной обработки поступает неравномерно (в отдельные дни его может поступать в 2–3 раза больше расчетного среднего поступления) [1, 2].

В 90-х годах совместно с финской фирмой Антти было разработано проектно-технологическое решение пункта послеуборочной обработки семян зерновых культур для совхоза «Красная Балтика» Ленинградской области. Принятая технология следующая: завальная яма, ворохоочиститель К527, бункера временного хранения, шахтная сушилка, бункера охлаждения, очистка К531, склад на 2 тыс. т семян. Особенность сушилки в том, что источником теплоты является пар от котельной поселка (в 2014 году установлены теплогенераторы ТБ-1,5).

В ЗАО «Первомайское» и ОПХ «Суйда» построены фермерские пункты на базе финских сушилок фирмы Антти сезонной производительностью до 400 тонн.

Как наиболее характерный пример для Ленинградской области можно привести проект реконструкции строительства в ЗАО «Волховское» комплекса послеуборочной доработки зерна. Для этого использовался ангар арочного типа 33,0×14,4 метра высотой 9 метров (рис. 1).

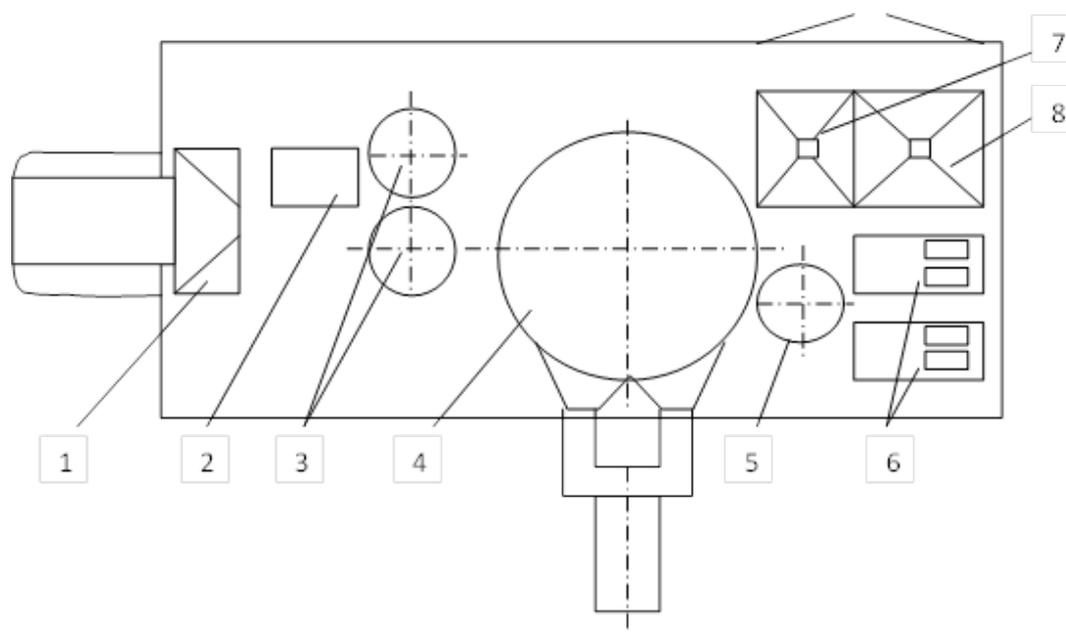


Рис. 1. Схема комплекса на базе сушилки СКЗ-8 в ЗАО «Волховское» Ленинградской области

Технологический процесс протекает следующим образом: привезенный от комбайна зерновой ворох выгружается в приемный бункер (1), поступает на предварительную очистку в машину К 527 (2) и в два укороченных бункера активного вентилирования БВ-40 (3). Из бункеров по ленточному транспортеру зерно поступает в сушилку СКЗ-8 (4). Из сушилки зерно поступает на охлаждение (отлежку) в укороченный бункер БВ-40 (5), а затем в зависимости от назначения: фуражное — в бункер фуража (7), семенное — на две семяочистительные машины К 531 (6) и в бункер семян (8).

После пуска в работу комплекса появилась возможность расширить посевные площади зерновых, тем самым полнее обеспечить потребность в концентрированных кормах собственного производства. Годовая загрузка комплекса составляет 1000–1500 т зерновых.

Аналогичные комплексы по послеуборочной доработке зерна на базе карусельной сушилки СКЗ-8 спроектированы и построены в ГПЗ «Новолодожский», ОПХ «Каложицы», ЗАО «Агробалт», ЗАО «Ополье» и ряде других. Реконструирован комплекс в ЗАО «Труд» установкой карусельной сушилки диаметром 6 метров [3].

Наиболее приспособленной при реконструкции и строительстве комплексов послеуборочной обработки зерна является конвейерная сушилка СКВС-6М. Ее можно установить в помещении высотой до 3,5 м, простая регулировка скорости движения транспортера, максимальная заводская сборка, возможность обработки зернового вороха с исходной влажностью до 40%, что очень важно для условий Ленинградской области. На базе сушилки СКВС спроектированы и построены комплексы в ЗАО «Заречье» и НПС «Клевер».

На базе шахтной сушилки С-20 открытого исполнения введены в действие пункты послеуборочной обработки в ЗАО «Остроговицы» и «Скреблово» производительностью 1500 тонн в сезон (рис. 2).

На базе шахтной сушилки С-20 открытого исполнения введены в действие пункты послеуборочной обработки в ЗАО «Остроговицы» и «Скреблово» производительностью 1500 тонн в сезон (рис. 2).



Рис. 2. Комплекс послеуборочной обработки семян зерновых культур на базе шахтной сушилки С-20 в ЗАО «Скреблово» Ленинградской области

В ЗАО «Ленинский путь» построен комплекс на базе бункерной сушилки СБВС-5 для сушки высоковлажных семян.

Одной из последних технологических линий послеуборочной обработки семян зерновых культур, построенных в Ленинградской области, является линия в Меньковской опытной станции. Технологическая линия состоит из отделения приема, отделения предварительной очистки, отделения сушки и отделения сортировки.

Отличительными признаками линия являются:

— установка двух бункеров временного хранения вороха семян перед сушкой для обеспечения дозревания и выравнивания влажности семян, а также поточности сушки и сортирования;

- выбор карусельной сушилки, как сушилки обеспечивающей наиболее мягкий режим сушки семян зерновых культур;
- применение четырех бункеров временного хранения семян после сушки вследствие большого разнообразия культур, сортов и репродукций;
- установка двух последовательно работающих очистительных машин для обеспечения наиболее полной очистки семян.

В настоящее время строятся в Ленинградской области универсальные комплексы послеуборочной обработки высоковлажных семян зерновых культур и фуража. Основными принципами при строительстве являются [1, 4, 5]:

Техническая характеристика комплексов послеуборочной обработки зерна

Показатели	Сезонная производительность, т	
	1000	2500
Производительность по сушке, пл. т/ч	8	15
по очистке семян, т/ч	2,5	8
Обслуживающий персонал, чел.	2	2
Трудозатраты, чел. ч/т	0,8	0,25
Установленная мощность, кВт	86,5	183

- Применение поточно-пульсирующей технологии сушки и сортировки семенного зерна без повторных пропусков и перевалочных операций.
- Поточность обеспечивается за счет применения компенсационных емкостей.
- Расположение всего технологического оборудования выше нулевой отметки.
- Применение бункеров активного вентилирования перед сушкой и бункеров для охлаждения и отлежки семян перед сортировкой.
- Использование в качестве приемного бункера вместительного аэрожелоба.

Показатели эффективности комплексов: на 100% исключен ручной труд, сбор зерна осуществляется в бункера; вместо пяти-шести рабочих и двух операторов работает два оператора на всем пункте (табл. 1).

Обобщая вышеизложенное можно сформулировать следующие требования оборудованию технологической линии послеуборочной обработки зерна с сезонной производительностью 1000 т зерна:

- емкость приемного бункера должна быть, как минимум 10 м³, а максимум 50–60 м³. При этом приемный бункер емкостью более 10 м³ должен быть вентилируемый, т. е. снабжен аэрожелобами,

- паспортная производительность ворохоочистителя должна быть в 5–10 раз превышать среднечасовое поступление зерна, т. е. составлять 20–40 т/ч. При этом производительность 20 т/ч допустима при наличии приемного бункера большой емкости, снабженного аэрожелобами,
- емкость вентилируемых хранилищ (бункеров) для хранения влажного вороха до сушки должна быть не менее 8% от сезонной производительности линии, т. е. не менее 80 т. Это обеспечивается постановкой двух вентилируемых бункеров БВ-40,
- производительность сушилки при валовом производстве 1000 т должна быть не менее 8 плановых тонн, чем обеспечивается производительность в семенном режиме при обработке зерна влажностью 26% производительность 2,5 т/ч или 50 т/сутки,
- емкость бункера после сушилки должна быть не менее полусуточной производительности сушилки, т. е. не менее 25 т для обеспечения проведения окончательной очистки в одну смену при круглосуточной работе сушилки,
- производительность машин окончательной очистки должна превышать производительность сушилки не менее, чем в два раза, т. е. в приведенном примере должна быть не менее 5 т/ч.

Литература:

1. Перекопский, А. Н., Чугунов С. В. Базовые технологии использования зерновых культур в качестве кормов и производства семян для хозяйств молочного направления Северо-Западного региона / Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. — СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2014. № 85. — С. 15–22.
2. Новиков, М. А., Ерошенко Л. И. Формирование технологических схем послеуборочной обработки зерна / Технологии и средства механизации сельского хозяйства. — СПб.: СПГАУ, — 2005, — с. 75–78.
3. Перекопский, А. Н. Карусельная сушилка высоковлажных семян / Сельский механизатор, 2015, № 5, — с. 6–7.
4. Смелик, В. А., Ерошенко Л. И. Проектирование и строительство пунктов по послеуборочной обработке и хранению продукции растениеводства для типовых хозяйств Северо-Запада / Крупный и малый бизнес в АПК: роль, механизмы взаимодействия, перспективы. — СПб.: СПГАУ, 2009, — с. 124.
5. Авдеев, А. В., Сечкин В. С., Новиков М. А. и др. Агрегаты и комплексы послеуборочной обработки и хранения зерна и семян. Учебное пособие. — СПб.: СПбГАУ, — 2005, — 115 с.

Эффективность применения жидких консервантов в технологии прессованного сена

Юнин Вячеслав Александрович, кандидат технических наук;

Гокоев Игорь Александрович, кандидат технических наук;

Сеник Яков Степанович, кандидат технических наук;

Зыков Андрей Владимирович, научный сотрудник

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (Санкт-Петербург)

В настоящее время недостаточно изучен вопрос об использовании химических консервантов при заготовке зеленых кормов. Химическое консервирование является одним из эффективных способов заготовки растительной массы, обеспечивающих минимальные потери питательных веществ и сохранение качества корма. За последние годы в нашей стране и за рубежом был испытан целый ряд бактериальных препаратов. Из них особый интерес по своему консервирующему действию, влиянию на качество корма представляет пропионовая кислота.

При проведении опытов мы применяли пропионовую кислоту, которая по данным ряда исследователей проявляет свои консервирующие действия не только через посредство подкисления корма, но и за счет бактериостатичности.

Этот препарат не подавляет деятельность молочнокислых бактерий, сильно задерживает развитие гнилостных микроорганизмов и бактерий типа кишечной палочки. Отмечается также, что пропионовая кислота, обеспечивает надежную сохранность корма, в процессе силосования частично (до 40%) распадается [6].

Мы в своих опытах поставили задачу оценить консервирующие свойства пропионовой кислоты при добавлении ее в разных дозах к различным видам растительного сырья, определить влияние концентрации рабочего раствора и способа его внесения на качество и сохранность корма, выявить действие этого препарата на переваримость питательность веществ.

В августе 2016 года были заложены опыты с растительным сырьем, обработанным пропионовой кислотой. В качестве сырья брали провяленную растительную массу влажностью от 18% до 36% (смесь разнотравье).

При прессовании растительного сырья в рулон поступающая масса на подборщике обрабатывалась пропионовой кислотой в дозе 5,8 и 10 л/тонну. Рабочий раствор вносили устройством разработанным и запатентованным в Институте агроинженерных и экологических проблем в 2012 году. [1].

Затем одна часть отобранных проб закладывалась в емкости для определения начальных показателей содержания питательных веществ, а другая шла на прессование рулонов. Рулоны заготовленной массы закладывались на хранение.

Для точного замера температуры в различных частях рулона были вмонтированы электрические термодатчики.

На протяжении всего времени консервирования и последующего хранения следили за изменением температуры и пришли к выводу, что температура внутри рулона, при влажности растительной массы от 24% до 32% практически не превышала температуру окружающей среды, была выявлена динамика изменения температуры в рулоне, которая является следствием протекания процессов самосогревания и порчи корма. Определен удельный расход химического консерванта при консервировании корма в зависимости от его влажности во время прессования (см. рисунок 1). Норма внесения химических консервантов в зависимости от влажности приведена в Таблице 1

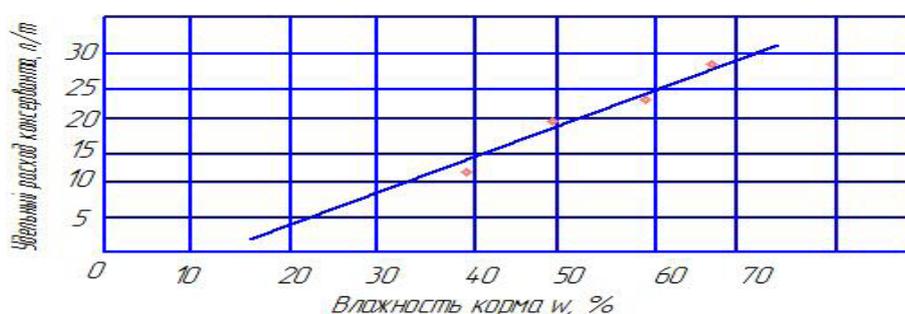


Рис. 1. Удельный расход пропионовой кислоты

Таблица 1

Отношение влажности корма к норме внесения

Консервант	Влажность трав, %		
	до 25	25–30	31–35
Расход консерванта, л/т			
Пропионовая кислота	5	8	10

Установлено, что с увеличением влажности (выше 35 %) проявленных трав надежность сохранения сена, обработанного химическими консервантами, снижается, так как усиливаются интенсивность дыхания растений и жизнедеятельность нежелательных организмов.

При производственных испытаниях обработка сена пропионовой кислотой получено, что разогрев сена тем сильнее, чем ниже доза вводимого жидкого консерванта. Анализ обработанного сена показал, что пропионовая кислота прочно связывается с компонентами корма. Её концентрация колеблется от 0,28 до 0,38 %. Оптимальная доза консерванта при влажности сена 25–35 % — 6–8 литров реагента на 1 тонну.

Выявлено, что консерванты при заготовке сена в рулонах снижают разогрев массы по сравнению с необработанной массой на 15–20°C. Так, если в необработанном консервантами массе максимальная температура достигала 50°C, то в обработанной массе пропионовой кислотой в дозе 1/6 температура не превысила 36°C [4,5].

Расчетное уравнение описывающее удельный расход пропионовой кислоты:

$$q = 0,71 \cdot [W + (9,2 - 1,2W)]. \quad (1)$$

Глубина проникновения жидкого консерванта в слой растительной массы зависит от плотности укладки массы дозы консерванта и степени разведения водой. Исследования глубины проникновения консерванта при поверхностном внесении проведены на естественных травах и при плотности укладки 160–200 кг/м³.

Модель процесса изменения содержания питательных веществ в корме в зависимости от вида консервирующего препарата и погодных-климатических условий невозможно выразить напрямую. Динамика содержания питательных веществ непосредственно зависит от времени проявлявания, хранения и влажности корма. В свою очередь, выбор консерванта, как и время проявлявания зависит от складывающихся в период заготовки погодных-климатических условий.

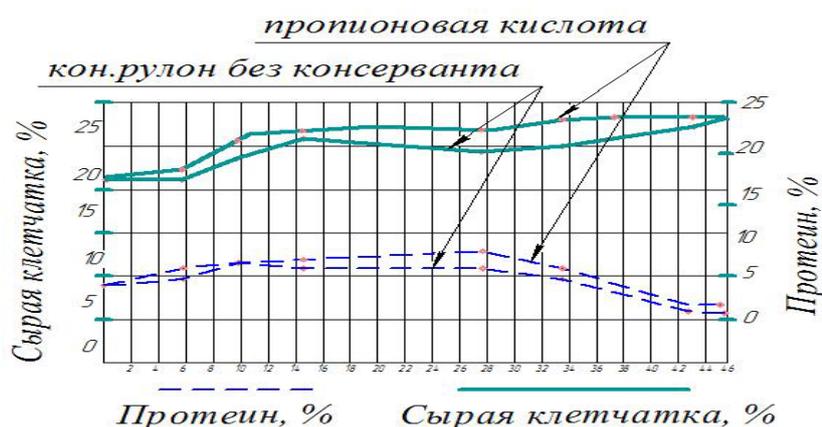


Рис. 2. Динамика сырой клетчатки (C_K) и протеина (Π) в сухом веществе в зависимости от времени хранения

В результате обработки при прессовании проявленной травяной массы пропионовой кислотой корм имеет более высокие качественные показатели на протяжении всего периода проведения исследований (0–46 дней): по содержанию протеина на 0–2 %, сырой клетчатки — 0–2,5 %. Тренд изменения данных качественных показателей корма, практически, одинаков.

Модель изменения динамики протеина в процессе хранения с достоверностью $R^2=0,932$:

$$\Pi = -0,00085t^2 + 0,089t + 16,9. \quad (2)$$

Модель изменения динамики сырой клетчатки в процессе проявлявания с достоверностью $R^2=0,751$:

$$C_K = -0,052t + 20,98. \quad (3)$$

В результате исследований было выявлено, что содержание каротина в корме в течении первых двух недель одинаковое, однако затем он начинает уменьшаться в корме, который не обработан консервантом. В корме же обработанным химическим консервантом каротин не распадается в течении одного месяца, а затем происходит его резкое разрушение. Содержание и динамика изменения переваримого протеина в корме обработанного химическим консервантом и не обработанного существенно не отличается.

Модель изменения динамики каротина в процессе хранения с достоверностью $R^2=0,799$:

$$K = -0,0039t^2 + 0,353t + 26,01. \quad (4)$$

Модель изменения динамики переваримого протеина в процессе хранения с достоверностью $R^2=0,933$:

$$\Pi\Pi = -0,015t^2 + 0,959t + 119,89. \quad (5)$$

В процессе хранения содержание кормовых единиц и обменной энергии в корме при обработке химическим консервантом выше, чем в контрольном рулоне.

Модель изменения динамики кормовых единиц в процессе хранения с достоверностью $R^2=0,795$:

$$К.Е. = -0,0011t + 1,22 . \quad (6)$$

Модель изменения динамики обменной энергии в процессе хранения с достоверностью $R^2=0,75$:

$$ОЭ_{Скон} = -0,0122t + 10,21 . \quad (7)$$

В общем виде математическая модель динамической системы изменения питательности корма в процессе хранения выглядит следующим образом [3]:

$$\frac{dP_P}{dt} = f(W_B, N_B, T_B) . \quad (8)$$

$$\frac{dP_P}{dt} = b \cdot W_B + c \cdot N_B + d \cdot T_B . \quad (9)$$

При $t=1$:

$$P_0 - P_1 = b \cdot W_B + c \cdot N_B + d \cdot T_B . \quad (10)$$

Математическая модель питательности имеет вид:

$$P_1 = X + a \cdot P_0 - (b \cdot W_B + c \cdot N_B + d \cdot T_B) , \quad (11)$$

где P_1 — питательность после стабилизации температуры рулона, к.е.;

X — константа математической модели;

P_0 — начальная питательность травы, к.е.;

N_B — норма внесения консерванта, л/т,

W_B — относительная влажность корма, %;

T_B — температура в рулоне, °С;

a, b, c, d — соответствующие коэффициенты влияния показателей на процесс хранения.

Так математическая модель динамической системы изменения питательности клеверотимофеечной смеси пресованной рулонным пресс-подборщиком в процессе хранения с достоверностью $R^2=93,89\%$ выглядит следующим образом:

$$P_1 = 7,534 + 0,99332 \cdot P_0 - 0,28358 \cdot W_0 - 0,02634 \cdot N_B + 0,31914 \cdot T_B . \quad (12)$$

Анализируя полученные уравнения можно сделать вывод, что основным фактором, определяющим динамику питательных веществ в траве является применение консервантов, влияющих на продолжительность хранения и сохранение основных веществ.

Использование химических консервантов при заготовке кормов может обеспечить не только высокую технологическую, но и энергетическую эффективность из провяленной травы до влажности 22–55 %. Следовательно, разработка технологических режимов, параметров основных рабочих органов и оборудования для сохранения влажного кормового сырья является актуальной темой исследования.

В результате обработки при пресовании провяленной травяной массы пропионовой кислотой корм имеет более высокие качественные показатели на протяжении всего периода проведения исследований — 0–46 дней (хранения):

- по содержанию протеина на 0–2 %;
- сырой клетчатки — 0–2,5 %;
- переваримого протеина — 0–4 %;
- обменной энергии — 0–19 %.

Получены модели изменения энергетической и питательной ценности пресованного корма из трав обработанных химическим консервантом в зависимости от времени хранения, которые используются в алгоритме при оценке энергетической эффективности производства сена с внесением химического консервирующего препарата.

Модели процесса изменения качественных показателей пресованной провяленной травы в процессе ее хранения в зависимости от объема внесения жидких химических препаратов позволяют прогнозировать время и оценивать целесообразность хранения корма и заготовку его при неблагоприятных погодных условиях.

На основании полученных моделей и выявленных зависимостей можно осуществлять оперативное управление технологическим процессом заготовки кормов из трав, за счет расчета различных технологических сценариев протекания всего процесса заготовки кормов, как в целом, так и на уровне отдельных технологических операций. Полученные результаты в дальнейшем будет использован при разработке программного продукта по управлению машинными технологиями производства кормов из трав.

Литература:

1. Зыков, А.В. Устройство для внесения консервирующих препаратов в растительную массу / Зыков А.В., Попов В.Д., Юнин В.А., Сенник Я.С., Гокоев И.А. // патент на изобретение RUS 249093320.03.2012
2. Юнин, В.А., Интенсификация кормопроизводства в условиях Северо-Западного региона / Юнин В.А., Зыков А.В., Кузнецов Н.Н. // В сборнике: Технические науки в России и за рубежом Материалы V Международной научной конференции. 2016. с. 82–85.
3. Валге, А.М. Использование информационных технологий при проектировании процессов производства продукции растениеводства / Валге А.М., Папушин Э.А., Пакскина Е.Г. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 3. с. 17–18.
4. Кузнецов, Н.Н. Технология заготовки высококачественного сена в условиях повышенного увлажнения / Кузнецов Н.Н., Терентьев А.В. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2008. № 80. с. 106–111.
5. Попов, В.Д. Технология заготовки высококачественного сена в рулонах / Попов В.Д., Кузнецов Н.Н. // В сборнике: Экология и сельскохозяйственная техника Материалы 5-й международной научно-практической конференции: в 3-х томах.. 2007. с. 107–110.
6. Сухопаров, А.И. Условия и показатели управления технологиями заготовки кормов из трав и зерна / Сухопаров А.И. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2010. № 82. с. 17–24.

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

**Современная фрактальная теория:
визуализация и прикладные аспекты**

Власов Дмитрий Анатольевич, кандидат педагогических наук, доцент
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (г. Москва)

В центре внимания статьи — современная фрактальная теория, одно из перспективных направлений, используемых для анализа социально-экономических проблем и ситуаций. Представлены примеры визуализации фракталов в базе знаний и наборе вычислительных алгоритмов WolframAlpha, раскрыты прикладные аспекты фрактальной теории (исследовательские и методические аспекты).

Ключевые слова: фрактал, самоподобие, фрактальная теория, визуализация, WolframAlpha, циклические колебания, экономическая кибернетика

Происхождение термина «фрактал» связано с латинским словом *fractus* (разбитый, сломанный, дробленый). Основным свойством фрактала как математического множества является свойство самоподобия. Благодаря этому свойству целый объект имеет форму, аналогичную форме частей. Отметим существенный вклад французского и американского математика Бенуа Мандельброта, автора монографии «Фрактальная геометрия природы» как в создание фрактальной геометрии, так и в популяризацию фракталов. Новые информационные технологии *WolframAlpha* [1, 2, 9] предоставляют широкие возможности по визуализации геометрических структур в виде фракталов и предфракталов, изучении их необычных свойств.

К наиболее популярным фракталам, получаемым с помощью специальных рекурсивных процедур, относятся:

- **кривая дракона** (модификация *Dragon curve*; 1 итерация, 3 итерации, 10 итераций рис. 2);
- **кривая Коха** (*Koch snowflake*; 1 итерация, 2 итерации, 100 итераций, рис. 1);
- **кривая Миньковского** (модификация *Minkovski sausage*; 1 итерация, 2 итерации, 100 итераций рис. 1);
- **кривая Пеано** (модификация *Peano curve*; 1 итерация, 2 итерации, 4 итераций, рис. 2);
- **кривая «Причудливый узор»** (*Curlicue fractal*; константа π , 1 итерация, 25 итерации, 100 итераций, рис. 2);
- **кривая «Квадрат льда»** (*Square ice fractal*; 1 итерация, 3 итерации, 25 итераций, рис. 1);
- кривая Леви; кривая Мякишева; кривая Гильберта; дерево Пифагора и др.

Мы считаем, что изучение различных свойств фракталов и фрактальных кривых должно найти отражение

в системе целеполагания прикладной математической подготовки бакалавра [4].

Одним из модных подходов к моделированию и прогнозированию экономики в последние годы стала *фрактальная теория*. Несмотря на попытки создания, однозначного математического определения понятия «фрактал» к настоящему времени не создано. Сейчас фрактал определяют как *крайнюю непредсказуемость постоянного нелинейного и нерегулярного сложного движения, возникающую в динамической системе*. Существенная зависимость от имеющихся начальных условий динамической системы объясняет своеобразную *непредсказуемость фракталов*. Именно благодаря этой зависимости одним из выводов фрактальной теории является невозможность предсказать будущее (как по причине существующих ошибок наблюдений и измерений, так и по причине неполноты информации о рассматриваемой экономической проблеме и ситуации). При этом именно современные экономические проблемы и ситуации составляют содержание прикладной математической подготовки бакалавра менеджмента [7] и бакалавра экономики [8].

Широкое применение фрактальной теории в экономике связано с исследованиями американского экономиста Чарльз Доу, раскрывшего новые механизмы функционирования финансовых рынков посредством введения в рассмотрение *циклических колебаний* [10].

В середине XX века американский экономист Ральф Эллиот обобщил теорию изменения цен на финансовые активы с использованием понятия «фрактал». Сегодня мы воспринимаем волновую теорию Эллиота как одну из классических теорий технического анализа финансового рынка. Заслуга Ральфа Эллиота в инструмен-

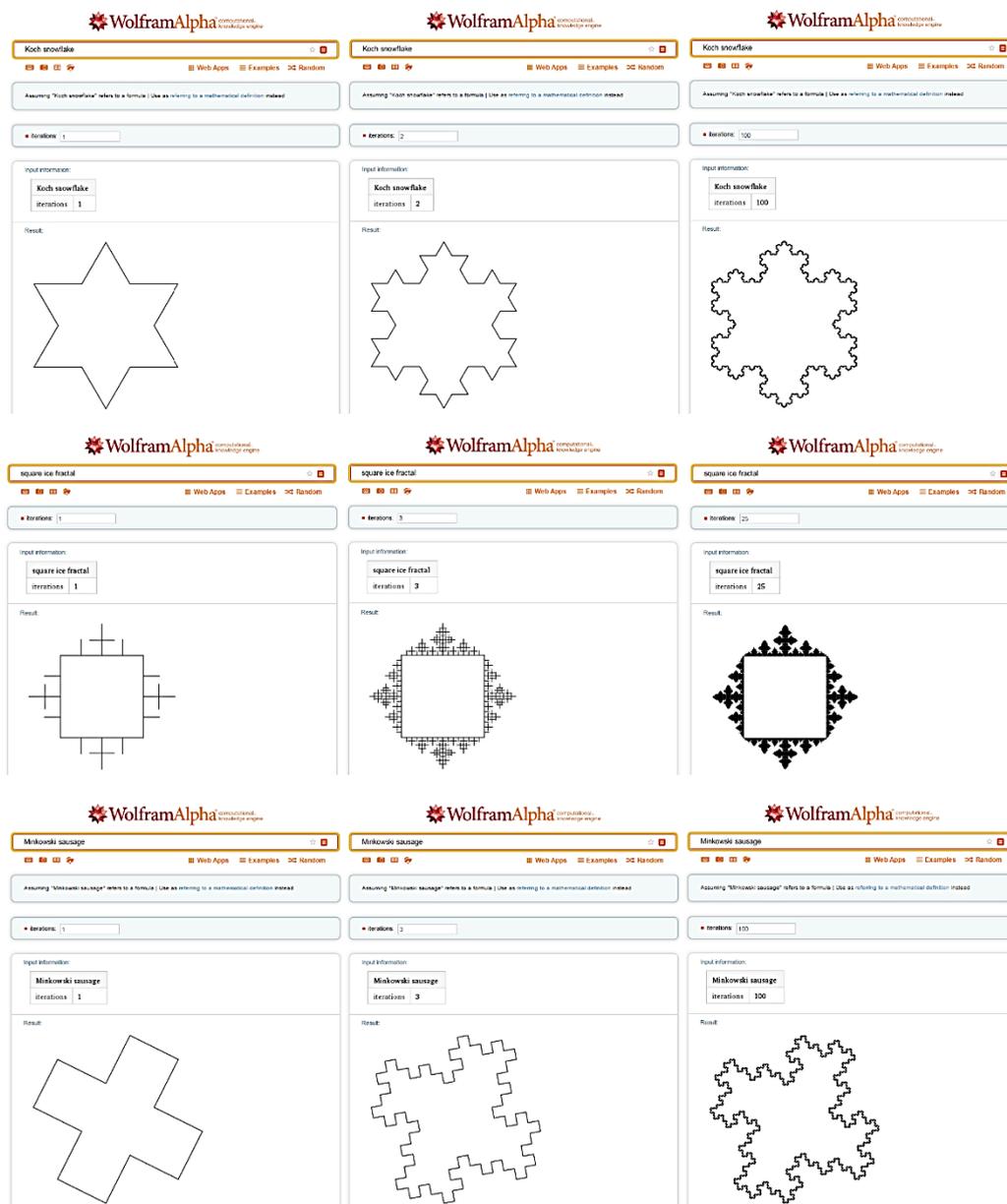


Рис. 1. Примеры визуализации фракталов в *WolframAlpha*

тальном применении достижений фрактальной теории с целью представления тенденции в виде системы из более мелких, понятных и поддающихся анализу компонентов, в рамках которых становится возможным технический анализ риска и доходности финансовых инструментов [11].

Однако существование и развитие фрактальной теории достаточно неоднозначно соседствует с классической наукой. В силу непредсказуемости фракталов в настоящее время есть возможность прогнозировать исключительно модель поведения исследуемой экономической системы (невозможно построить прогноз в классическом понимании, и следовательно, невозможно провести его проверку). На современном этапе

развития *экономической кибернетики* [3] не существует полноценного инструментального применения фрактальной для исследования множества экономических проблем и ситуаций, поэтому настаивать на обязательном применении фрактальной теории нельзя. Наряду с этим, фрактальная теория является современным перспективным направлением прикладной математики с точки зрения исследования и визуализации разнообразных экономических проблем и ситуаций, в том числе в финансовой сфере [5], а *WolframAlpha* как развивающаяся система предоставляет новые инструментальные возможности [6], способные существенно повысить уровень прикладной математической подготовки бакалавров.

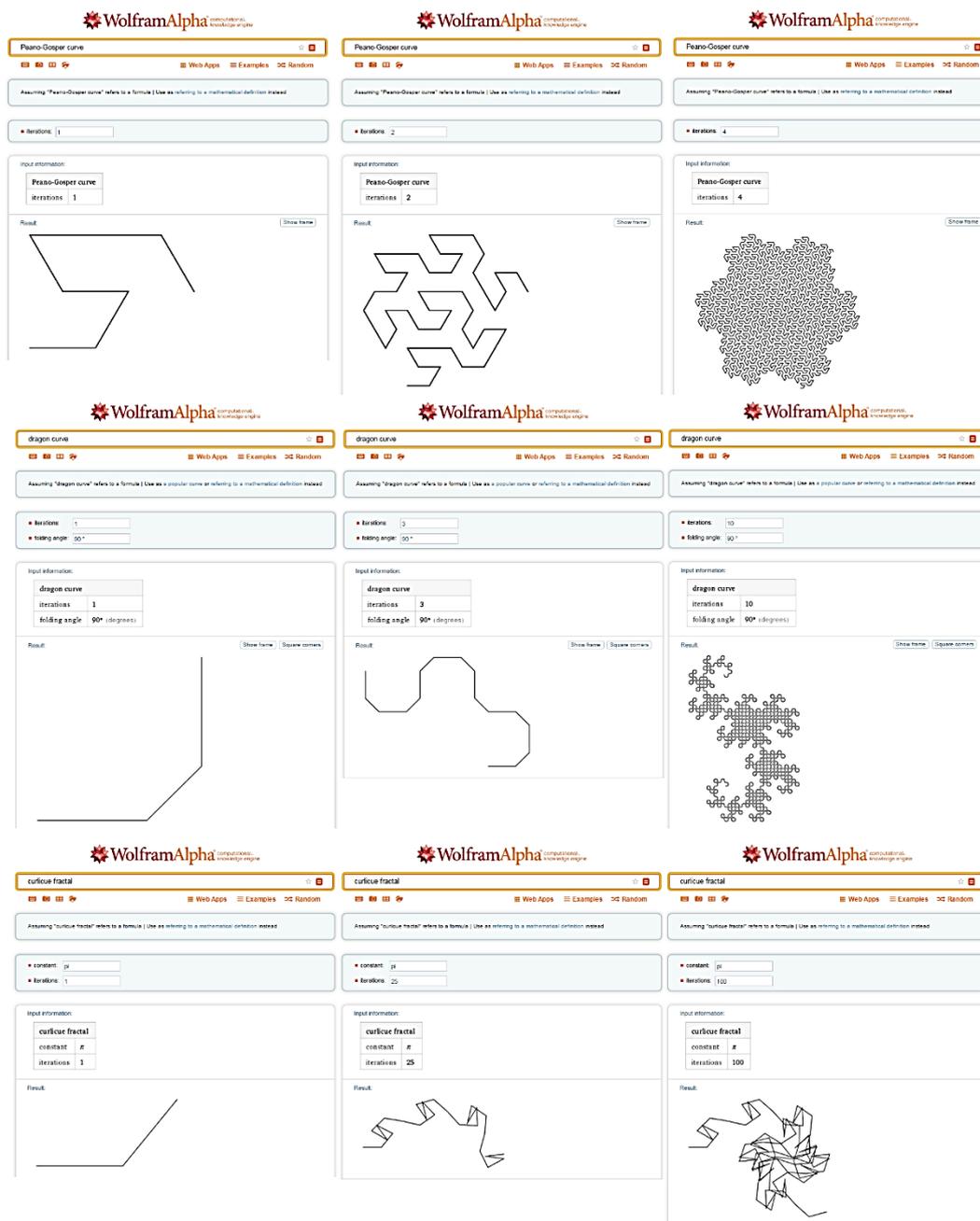


Рис. 2. Примеры визуализации фракталов в *WolframAlpha*

Литература:

1. Власов, Д. А. Возможности профессиональных математических пакетов в системе прикладной математической подготовки будущих специалистов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. — 2009. — № 4. — с. 52–59.
2. Власов, Д. А. Информационных технологии в системе математической подготовки бакалавров: опыт МГГУ им. М. А. Шолохова // Информатика и образование. — 2012. — № 3. — с. 93–94.
3. Власов, Д. А. Особенности и математические основы современной экономической кибернетики // Техника. Технологии. Инженерия. — 2016. — № 2. — с. 4–7.
4. Власов, Д. А. Особенности целеполагания при проектировании системы обучения прикладной математике // Философия образования. — 2008. — № 4. — с. 278–283.
5. Власов, Д. А. Технология визуализации проблем и ситуаций финансовой сферы // Педагогика высшей школы. — 2016. — № 2. — с. 35–38.
6. Власов, Д. А., Синчуков А. В. Новые технологии WolframAlpha при изучении количественных методов студентами бакалавриата // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. — 2013. — № 4. — с. 43–53.

7. Власов, Д. А., Синчуков А. В. Прикладная математическая подготовка бакалавра менеджмента // Образование и воспитание. — 2016. — № 4. — с. 57–60.
8. Власов, Д. А., Синчуков А. В. Принципы проектирования прикладной математической подготовки бакалавра экономики // Образование и воспитание. — 2016. — № 3. — с. 37–40.
9. Качалова, Г. А., Власов Д. А. Технологии Wolframalpha при изучении элементов прикладной математики студентами бакалавриата // Молодой ученый. — 2013. — № 6. — с. 683–691.
10. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. — М.: «Интернет-трейдинг», 2004. — 304 с.
11. Тихомиров, Н. П., Тихомирова Т. М. Риск-анализ в экономике. — М.: Издательство «Экономика». — 2010. — 318 с.

Направления защиты данных в интеллектуальных системах «Умный город»

Дупленко Александр Геннадьевич, студент;

Научный руководитель: Алешников С. И., кандидат физико-математических наук, доцент

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград)

В статье рассмотрены основные угрозы функционирования интеллектуальных систем «Умный город», представлено сравнение наиболее распространенных сетевых стандартов KNX, LonWorks и BACnet по таким параметрам безопасности, как аутентификация, целостность и конфиденциальность. Рассмотрены основные направления криптографической защиты данных в системах «Умный город», в том числе способы защиты систем автоматизации на базе специальных криптографических надстроек, решения в области малоресурсной (легковесной) криптографии и др.

Ключевые слова: информационная защита, криптографическая защита, легковесная криптография, умный город

Почти во всех странах мира в последние десятилетия наблюдается стремительный рост городского населения. К настоящему времени, по некоторым оценкам, в городах живет более половины населения мира, в экономически развитых странах доля городского населения еще выше — в среднем 75 процентов [1]. В течение следующих десятилетий, по мнению многих экспертов, преимущественный рост городских поселений не только не замедлится, но и может ускориться. И здесь можно привести слова вице-президента IBM по направлению «Интеллектуальный город» Джерри Муни: «Если XIX век был веком империй, а двадцатый — веком национальных государств, то XXI век станет эпохой городов» [2, с. 12].

Вследствие роста городов и увеличения их населения чрезвычайно острой стала проблема эффективного управления городскими административными и коммунальными службами. Традиционные формы перестают удовлетворять современным требованиям, все чаще происходят различные аварии, падает эффективность управления.

Решить все эти проблемы призвана концепция так называемого «Умного города» («smart city»). Она подразумевает объединение в единую систему всех городских систем жизнедеятельности на базе использования самых передовых информационно-коммуникационных технологий, что позволит добиться экономичности, экологичности, надежности и безопасности использования всех этих систем.

Современные информационные технологии являются важнейшей составляющей любого «Умного го-

рода», они играют активную роль в функционировании всех его компонентов. Так, энерго- и водоснабжение «Умного города» предполагает использование интеллектуальной системы учета и удовлетворения спроса на электроэнергию и воду, программно-аппаратного комплекса управления интеллектуальной энергосетью, водоснабжением и водоотведением. Контроль транспортных потоков, управление дорожным движением и общественным транспортом также осуществляется с помощью программно-аппаратного комплекса. Аналогичная ситуация — с управлением системами безопасности (видеонаблюдение, видеофиксация, система оповещения, система обеспечения вызова экстренных оперативных служб). На использовании информационных технологий основано и электронное правительство «Умного города».

Повсеместное и непрерывное использование информационных технологий обуславливают высокую степень уязвимости интеллектуальной системы «Умный город» перед возможными сбоями функционирования.

Потенциальными носителями угрозы сбой функционирования вследствие ошибок в программном обеспечении являются его разработчики. К угрозам сбой функционирования системы вследствие внешних проблем с оборудованием можно отнести его хищение обслуживающим персоналом или злоумышленниками; неумышленный или умышленный вывод из строя (уничтожение) оборудования, а также носителей данных. К угрозам сбой функционирования системы вследствие проблем с данными относятся порча данных, их модифи-

кация при разрешенном доступе (обслуживающий персонал); как умышленные, так и неумышленные ошибки ввода; искажение данных и ввод ложной информации при несанкционированном доступе и т. п. К угрозам сбоя функционирования системы вследствие нарушения информационного обмена можно отнести блокирование (установка помех, закладок) ТС, каналов связи, проходов, задержку передачи информации (замедление, выставление дополнительных требований, пауза...); выход системы из штатного режима эксплуатации вследствие случайных или преднамеренных действий обслуживающего персонала, пользователей, злоумышленников (превышение расчетного числа запросов, чрезмерный объем обрабатываемой информации и т. д.).

Высокая уязвимость информационной системы «Умный город» и значительная потенциальная опасность последствий, которые могут возникнуть в результате сбоев ее функционирования, делают очень актуальной и важной проблему обеспечения защиты данных в интеллектуальных системах «Умный город», в том числе криптографическую. Согласно результатам исследования, проведенного Институтом статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, защита данных в интеллектуальных системах является одним из глобальных технологических трендов [3].

Среди российских специалистов, которые занимаются данной проблемой, можно назвать Е.Б. Александрову, П.Д. Зегжда, Д.С. Лаврову, А.В. Лукацкого, А.И. Качалина, Н.В. Смирнова и других.

В качестве основных направлений предотвращения угроз безопасности интеллектуальных систем типа «Умный город» чаще всего называют стандартизацию протоколов беспроводной передачи данных в распределенных сетевых инфраструктурах, использование гомоморфных алгоритмов шифрования информации, а также защиту содержания зашифрованных пакетов данных в облачных сервисах. Выработан и ряд базовых правил, которые позволяют защитить интеллектуальные системы. По аналогии с «Умным домом» к ним можно отнести разделение сети Интернет и сети «Умного города», отключение от управления автоматизированной системой жизненно важных функций городского хозяйства, а также запрет на установку таких небезопасных функций, как, например, управление по SMS и т. п. [4, с. 15].

Однако даже те системы, которые отвечают данным базовым правилам, нельзя назвать безопасными [5, с. 55]. По мнению некоторых специалистов, в частности, А.Г. Бельтова, А.В. Новицкого, В.Н. Конева, М.И. Фомина, В.Л. Евсеева, С.Д. Фесенко, безопасность стандартов автоматизации целесообразно рассматривать на базе следующих важнейших стандартов: возможность проведения аутентификации, проверка целостности и проверка принимающей стороны (конфиденциальность) [4, с. 16–17].

В таблице представлено сравнение наиболее распространенных сетевых стандартов KNX, LonWorks и BACnet по данным параметрам безопасности.

Таблица 1

Сравнение сетевых стандартов по параметрам безопасности [4, с. 16]

Сетевой стандарт	Аутентификация	Целостность	Конфиденциальность
KNX	32-бит пароль	-	-
LonWorks	64-бит MAC 48-бит ключ	64-бит MAC 48-бит ключ	-
BACnet	DES	DES	DES

Проверка аутентификации необходима для того, чтобы ограничить доступ к штатному контролеру, который может отправлять в сеть управляющие команды, и не дать злоумышленникам возможности управления сетью автоматизации. Проверка целостности необходима для защиты уже отправленных сообщений от их несанкционированных изменений. Параметр конфиденциальности означает невозможность для злоумышленника, подключившегося к сети, отправлять сообщения, которые могут восприниматься и приниматься к исполнению сетевыми устройствами.

По параметрам безопасности лучшие показатели — у стандарта BACnet. В KNX единственным защитным механизмом является предотвращение несанкционированного доступа к управляющим службам с помощью текстовых паролей. В LonWorks помимо параметра аутентификации контролируется также параметр целостности. Данный протокол имеет механизм для идентификации

отправителя и контроля целостности данных — четырехшаговый «клик-отзыв», основанный на хеш-функции, с помощью которой шифруется 64-битный MAC-код (Message Authentication Code) на 48-битном секретном ключе. Однако из-за малой длины ключа функцию нельзя признать надежной. В BACnet все три параметра безопасности (аутентификация, целостность и конфиденциальность) достигаются благодаря симметричному алгоритму шифрования DES (Data Encryption Standard). К сожалению, данный алгоритм также не является безопасным — уже несколько лет в открытом доступе публикуются работы, посвященные его взлому.

Для обеспечения надежной информационной защиты интеллектуальных систем типа «Умный город» необходимо использовать, помимо остальных, способы защиты систем автоматизации на базе специальных криптографических надстроек. Некоторые специалисты предлагают использовать их на базе протокола KNX путем

замены разветвителей на спроектированные с реализацией защищенных функций, в т. ч. по генерации, задаче, ограничению времени действия и аннулированию ключей [4].

С развитием интеллектуальных систем типа «Умный город» возрастает также и значение так называемой малоресурсной (легковесной) криптографии (lightweight cryptography, LWC), под которой понимается раздел криптографии, имеющий своей целью разработку алгоритмов для применения в устройствах, которые не способны обеспечить большинство существующих шифров достаточными ресурсами (память, электропитание, размеры) для функционирования [6, с. 84].

Следует отметить, что к настоящему времени не найдено решение в области малоресурсной криптографии,

которое подходило бы для использования в различных приложениях — и RFID, и бесконтактных смарт-картах, и сенсорах и др. По мнению ряда экспертов, направление малоресурсной криптографии будет одним из определяющих в развитии криптографии в ближайшие годы [7].

К направлениям защиты данных в интеллектуальных системах типа «Умный город» можно отнести также такие, как автоматизация поиска уязвимостей с помощью обратной трассировки графа передачи управления; обеспечение безопасности гетерогенных систем с применением гомоморфной модулярной криптографии; система распределенной аутентификации на основе изогений эллиптических кривых; оценка безопасности киберфизических систем на основе фрактальных методов и др.

Литература:

1. Николаев, В. Умные города — будущее сегодня // ИТ-портал «Инфосистемы Джет». 2016. URL: <http://www.jetinfo.ru/stati/umnye-goroda-buduschee-segodnya> (дата обращения: 28.11.2016).
2. Геращенко, К. Звездный час «умных городов» // Сайт «ITRN: тенденции и прогнозы». — 2012. — № 6(74). — с. 12.
3. Глобальные технологические тренды / Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ // Сайт НИУ «Высшая школа экономики». 2016. URL: <https://issek.hse.ru/trendletter/news/172112565.html> (дата обращения: 28.11.2016)
4. Бельтов, А. Г., Новицкий А. В. и др. Анализ уязвимостей технологий автоматизации умного дома // Спецтехника и связь. — 2012. — № 4. — с. 15–19.
5. Стариковский, А. В., Жуков И. Ю. и др. Исследование уязвимостей систем умного дома // Спецтехника и связь, 2012. — № 2. — с. 55–57.
6. Кяжин, С. Н., Моисеев А. В. Криптография в облачных вычислениях: современное состояние и актуальные задачи // Безопасность информационных технологий. — 2013. — № 3. — с. 83–86.
7. Криптография в эпоху облаков и всеобщей связности // Сайт конференции «РусКрипто». 2016. URL: <http://www.ruscrypto.ru/press-center/publications/2012-05-31.html> (дата обращения: 28.11.2016).

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Исследование физических свойств и областей применения кристаллов ниобата лития

Альдебенева Екатерина Петровна, студент

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Достовалов Александр Александрович, студент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)

Ниобат лития имеет кристаллическую структуру. Закономерности строения элементарных структурных единиц, в особенности, степень симметричности, определяют физические свойства материала

Благодаря теории групп было доказано, что все типы кристаллических структур можно разложить на 14 типов решеток Браве [1] (рисунок 1).

Каждая система (ромбическая, тригональная, кубическая и прочие) обладают собственными соотношениями

сторон элементарной ячейки a, b, c и кристаллографическими углами α, β, γ . На рисунке 2 изображены кристаллографические оси координат и углы между ними.

Для связи с внешней огранкой кристалла в геометрической кристаллографии применяется кристаллографическая система осей — X, Y, Z. Оси могут быть неортогональными. При выборе системы координат руководствуются, в первую очередь, симметрией внешней огранки.

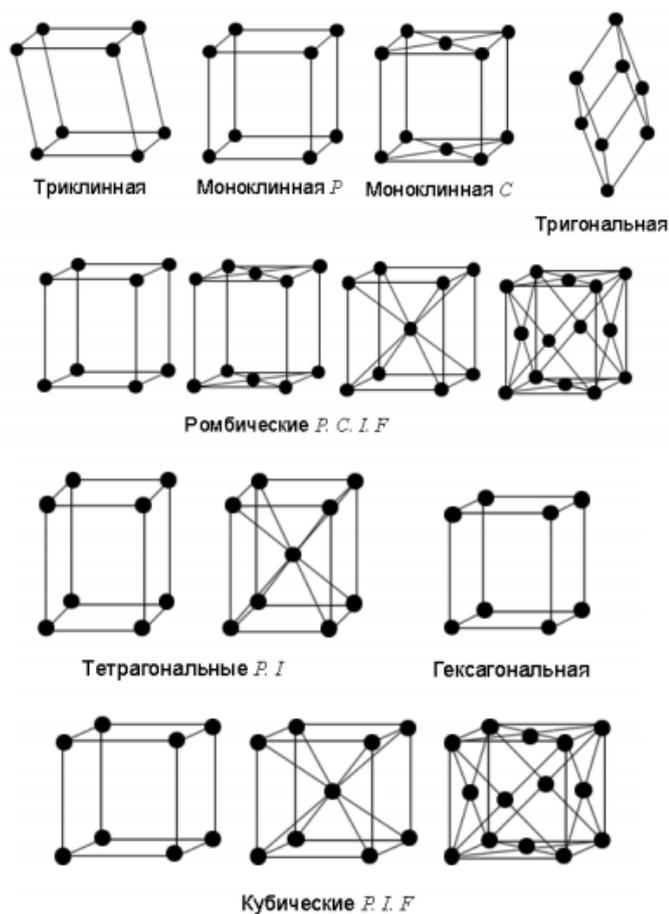


Рис. 1. Решетки Браве

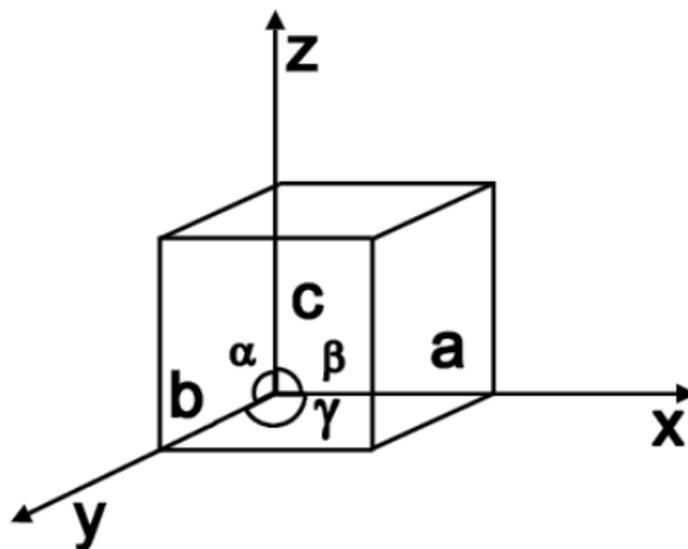


Рис. 2. Кристаллографические оси координат [1]

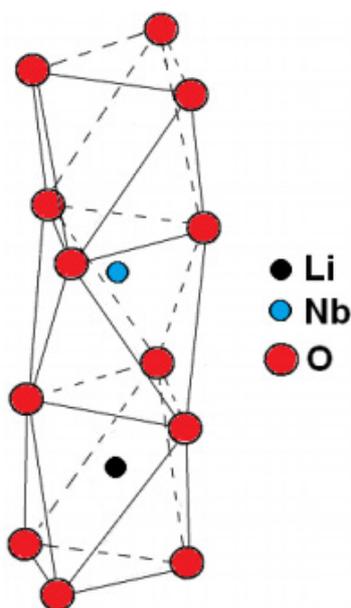
Кристалл ниобата лития в сегнетоэлектрической фазе при низкой температуре имеет ромбическую решетку [2]. Кристалл лития подвержен явлению анизотропии — показатель преломления, электропроводность и другие свойства меняются в зависимости от направления. Этот факт становится очевидным, если принять во внимание кристаллическую структуру ниобата лития, показанную на рисунке 3.

Для разных применений из материала вырезают пластину с нужной ориентацией кристаллической структуры. Срез кристалла обозначается с помощью декартовых координат. В общем случае, принимают кристалл идеальным, и привязывают к нему декартовы координаты [1]. Для лучшего понимания, рассмотрим на рисунке 4 самый простой случай: срез совпадает с плоско-

стью, которая определяется двумя осями координат, к примеру, X, Y.

Нормаль к данной плоскости совпадает с осью Z. Срезы подобного вида называются стандартными, а данный срез, в частности, называется Z-срезом. Аналогично определяют кристаллы X и Y-срезов.

У ниобата лития неравное соотношение сторон кристаллической решетки. Главным отличием свойств кристаллов разных срезов является то, что X-срез обладает двулучепреломлением, а Z-срез — нет. В добавление к этому, у них разные электрооптические, акустооптические, пьезоэлектрические и др. коэффициенты. Отсюда и различное применение, обусловленное анизотропией физических свойств. На рисунке 5 изображена фотография пластин из ниобата лития.


 Рис. 3. Структура $LiNbO_3$ [2]

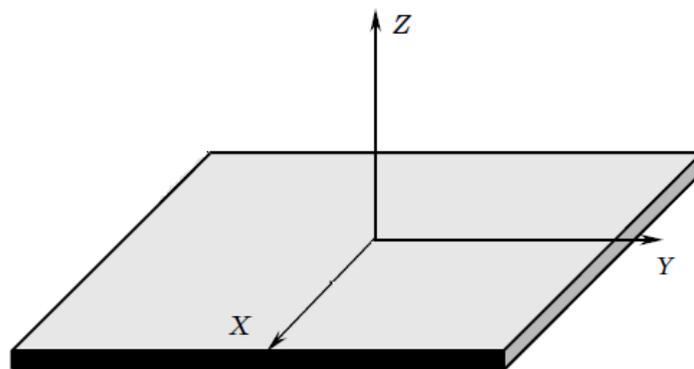


Рис. 4. Схематичное изображение пластины Z-среза [1]



Рис. 5. Пластины из ниобата лития

В 80-х годах прошлого столетия, в исследованиях посвященных стабильности работы интегральных оптических систем, рассматривались модуляторы, основанные на титанодиффузионных волноводах, подложки которых были созданы из ниобата лития Z-среза [3]. Однако в 2000-х годах выходят работы о волноводах, сформированных на подложках X-среза. Модуляторы, образованные на X-срезе имеют лучшую стабильность, обладают схожими процессами образования дрейфа показателя преломления оптических волноводов для титанодиффузионных и протонообменных модуляторов.

Поляризованные по Z-оси кристаллы ниобата лития приобрели широкое распространение в акустооптических системах, применяются как удвоители частот, как оптические параметрические генераторы, а также, в качестве устройств с квази-согласованной фазой.

Кристаллы X-среза используются для создания гироскопов в авиационной и морской навигации. Из этих кристаллов делают пьезоэлектрические преобразователи.

Пластины X-среза могут пропускать узкий диапазон длин волн. Благодаря этому свойству большое распространение пластины X-среза имеют в создании интерференционно-поляризационных фильтров.

Таким образом, ниобат лития имеет широчайшее применение, как в исследовательской работе, так и в прикладных задачах. Данный факт подчеркивает актуальность изучения данного кристалла. Однако для его эффективного использования необходимо учитывать структуру кристалла, и, соответственно, зависящие от этого физические свойства.

Литература:

1. Блистанов, А. А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики [Текст] / А. А. Блистанов. — М.: МИСИС, 2000. — 426 с.

2. Sanna, S. Lithium niobate X-cut, Y-cut and Z-cut surfaces from ab initio theory / Sally Sanna // Physical Review Letters. — NY., 2010 — P. 28–34.
3. Ярив, А. Оптические волны в кристаллах: пер. с англ. [Текст] / А. Ярив, П. М. Юх, А. В. Газорян. — М.: Мир, 1987. — 616 с.

Расчет несимметричных трехфазных цепей

Соловьев Владимир Алексеевич, студент

Ульяновский государственный технический университет

Трехфазные системы передачи электрической энергии состоят из источников энергии, линий передачи, трансформаторов и электродвигателей. В результате какой-либо аварии (например, короткого замыкания или обрыва провода) или при несимметричной нагрузке на элементах системы (электродвигателях, трансформаторах, самой линии передачи) возникают несимметричные напряжения.

Распространенным случаем аварии в трехфазной системе является короткое замыкание на землю. Короткие замыкания, как правило, сопровождаются увеличением токов в поврежденных фазах до значений, превосходящих в несколько раз номинальные значения, а также понижением уровня напряжения в электрической сети.

Протекание токов КЗ приводит к увеличению потерь электроэнергии в проводниках и контактах, что вызывает их повышенный нагрев. Нагрев может ускорить старение и разрушение изоляции, вызвать сваривание и выгорание контактов, потерю механической прочности шин и проводов и т. п.

Снижение напряжения на шинах у потребителя может привести к опасным последствиям. Особенно чувствительна к снижениям напряжения двигательная нагрузка. При глубоких снижениях напряжения уменьшается вращающий момент электродвигателя до значений, меньших момента сопротивления механизма. Электродвигатель тормозится, что влечет за собой увеличение потребляемого им тока. При этом еще больше увеличивается падение напряжения в сети, вследствие чего может развиться лавинообразный процесс, захватывающий все большее количество потребителей электроэнергии [4].

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что расчет токов короткого замыкания является одной из главных задач энергетики. Необходимость определения токов КЗ в процессе эксплуатации может возникнуть:

- при изменении схемы питания энергетического объекта для проверки электрооборудования на термическое и электродинамическое действие токов КЗ, пригодности существующих установок релейной защиты, средств грозозащиты;
- при частичной замене электрооборудования на электростанции или подстанции, если намеченные к установке машины и аппараты по своим паспортным данным отличаются от демонтируемых;
- вследствие изменения условий эксплуатации электрического объекта;
- при создании нового энергетического объекта [3, с. 3].

Целью работы является рассмотрение метода симметричных составляющих и его практическое применение для расчета токов короткого замыкания.

Основным методом расчета несимметричных трехфазных систем является метод симметричных составляющих. Для описания основных положений метода симметричных составляющих, проведем расчет простой трехфазной цепи с несимметричным источником.

Параметры элементов: $\underline{E}_A = 100 \cdot e^{j10^\circ}$ В; $\underline{E}_B = 150 \cdot e^{-j100^\circ}$ В; $\underline{E}_C = 120 \cdot e^{j110^\circ}$ В; $L = 6$ мГн; $R = 5$ Ом. Найти токи: I_A, I_B, I_C .

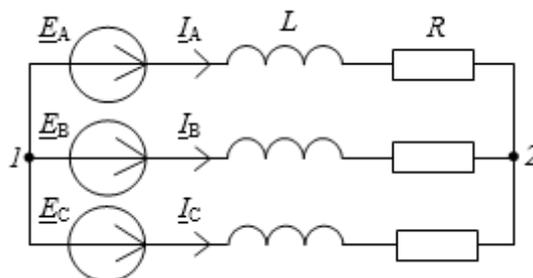


Рис. 1. Исходная схема цепи

Расчет токов методом симметричных составляющих. Раскладываем напряжения и токи, на напряжения и токи прямой, обратной и нулевой последовательности [1, с. 200]

$$\begin{cases} \underline{E}_A = \underline{E}_1 + \underline{E}_2 + \underline{E}_0; \\ \underline{E}_B = a^2 \cdot \underline{E}_1 + a \cdot \underline{E}_2 + \underline{E}_0; \\ \underline{E}_C = a \cdot \underline{E}_1 + a^2 \cdot \underline{E}_2 + \underline{E}_0; \end{cases} \quad (1) \quad \begin{cases} \underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \\ \underline{I}_B = a^2 \cdot \underline{I}_1 + a \cdot \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \\ \underline{I}_C = a \cdot \underline{I}_1 + a^2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \end{cases} \quad (2)$$

где $a = e^{j120^\circ}$ - оператор трехфазной системы; индексом 1 обозначается прямая последовательность; индексом 2 обозначается обратная последовательность; индексом 0 обозначается нулевая последовательность.

Составим для схемы на рис.1 уравнение по первому закону Кирхгофа:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0; \quad (3)$$

Решая системы (1) и (2), найдем $\underline{E}_1, \underline{E}_2, \underline{E}_0$ и $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_0$;

$$\begin{cases} \underline{E}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{E}_A + a \cdot \underline{E}_B + a^2 \cdot \underline{E}_C); \\ \underline{E}_2 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{E}_A + a^2 \cdot \underline{E}_B + a \cdot \underline{E}_C); \\ \underline{E}_0 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C); \end{cases} \quad (4) \quad \begin{cases} \underline{I}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_A + a \cdot \underline{I}_B + a^2 \cdot \underline{I}_C); \\ \underline{I}_2 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_A + a^2 \cdot \underline{I}_B + a \cdot \underline{I}_C); \\ \underline{I}_0 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C); \end{cases} \quad (5)$$

При подстановке уравнения (3) в систему (5) ток нулевой последовательности будет равен нулю. Следовательно, напряжения и токи цепи не будут содержать составляющую нулевой последовательности [2, с. 26].

Рассчитаем эквивалентное сопротивление:

$$Z_\Theta = j\omega L + R = j1,9 + 5 = 5,3 \cdot e^{j20,6^\circ} \text{ Ом.}$$

Составим эквивалентные схемы замещения цепи для прямой и обратной последовательности рис.2.

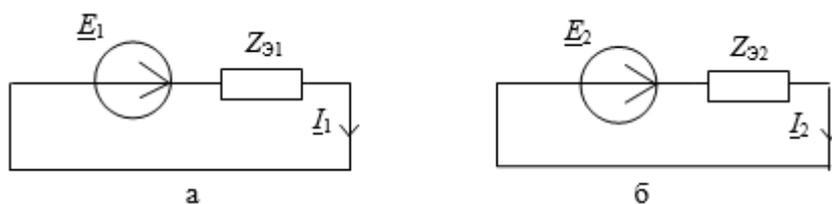


Рис. 2. Схема замещения цепи для прямой (а) и обратной (б) последовательности

Нагрузка симметрична поэтому эквивалентные сопротивления прямой и обратной последовательности равны: $Z_\Theta = Z_{31} = Z_{32}$.

Находим токи прямой и обратной последовательности по закону Ома:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{E}_1}{Z_\Theta}; \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{E}_2}{Z_\Theta}.$$

Подставим численные значения и найдем $\underline{E}_1, \underline{E}_2$:

$$\underline{E}_1 = \frac{1}{3} \cdot (100 \cdot e^{j10^\circ} + e^{j120^\circ} \cdot 150 \cdot e^{-j100^\circ} + e^{j240^\circ} \cdot 120 \cdot e^{j110^\circ}) = 120,3 \cdot e^{j7,6^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{E}_2 = \frac{1}{3} \cdot (100 \cdot e^{j10^\circ} + e^{j240^\circ} \cdot 150 \cdot e^{-j100^\circ} + e^{j120^\circ} \cdot 120 \cdot e^{j110^\circ}) = 32,1 \cdot e^{j166,8^\circ} \text{ В}.$$

Для проверки правильности нахождения $\underline{E}_1, \underline{E}_2$ построим векторную диаграмму.

Используя метод сложения векторов, по формулам системы (4) строим векторы $\underline{E}_1, \underline{E}_2$. Векторная диаграмма приведена на рис.3.

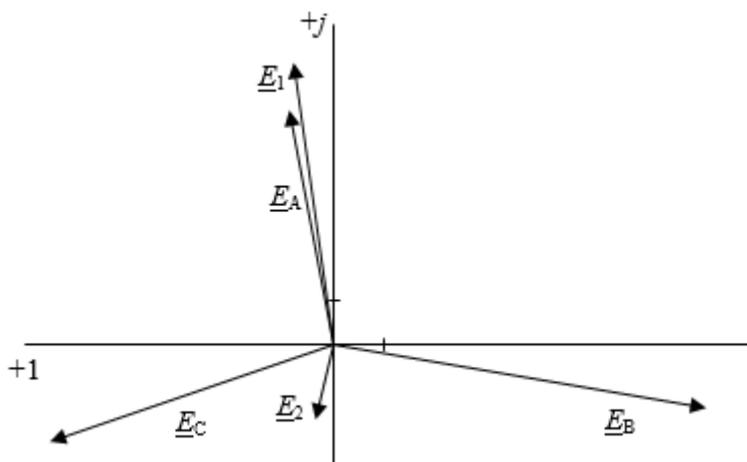


Рис.3. Векторная диаграмма источников ЭДС

Подставляем найденные значения в систему (2):

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= \frac{120,3 \cdot e^{j7,6^\circ}}{5,3 \cdot e^{j20,6^\circ}} + \frac{32,1 \cdot e^{j166,8^\circ}}{5,3 \cdot e^{j20,6^\circ}}; \\ \underline{I}_B &= e^{j240^\circ} \cdot \frac{120,3 \cdot e^{j7,6^\circ}}{5,3 \cdot e^{j20,6^\circ}} + e^{j120^\circ} \cdot \frac{32,1 \cdot e^{j166,8^\circ}}{5,3 \cdot e^{j20,6^\circ}}; \\ \underline{I}_C &= e^{j120^\circ} \cdot \frac{120,3 \cdot e^{j7,6^\circ}}{5,3 \cdot e^{j20,6^\circ}} + e^{j240^\circ} \cdot \frac{32,1 \cdot e^{j166,8^\circ}}{5,3 \cdot e^{j20,6^\circ}}; \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} \underline{I}_A = 17,2 \cdot e^{-j5,8^\circ} \text{ A}; \\ \underline{I}_B = 27,6 \cdot e^{-j125,1^\circ} \text{ A}; \\ \underline{I}_C = 24,4 \cdot e^{j92,8^\circ} \text{ A}; \end{cases} \quad (6)$$

Расчет тока короткого замыкания линейного провода на землю. Исходная схема приведена на рис.4. Требуется аналитически провести расчет тока короткого замыкания линейного провода на землю.

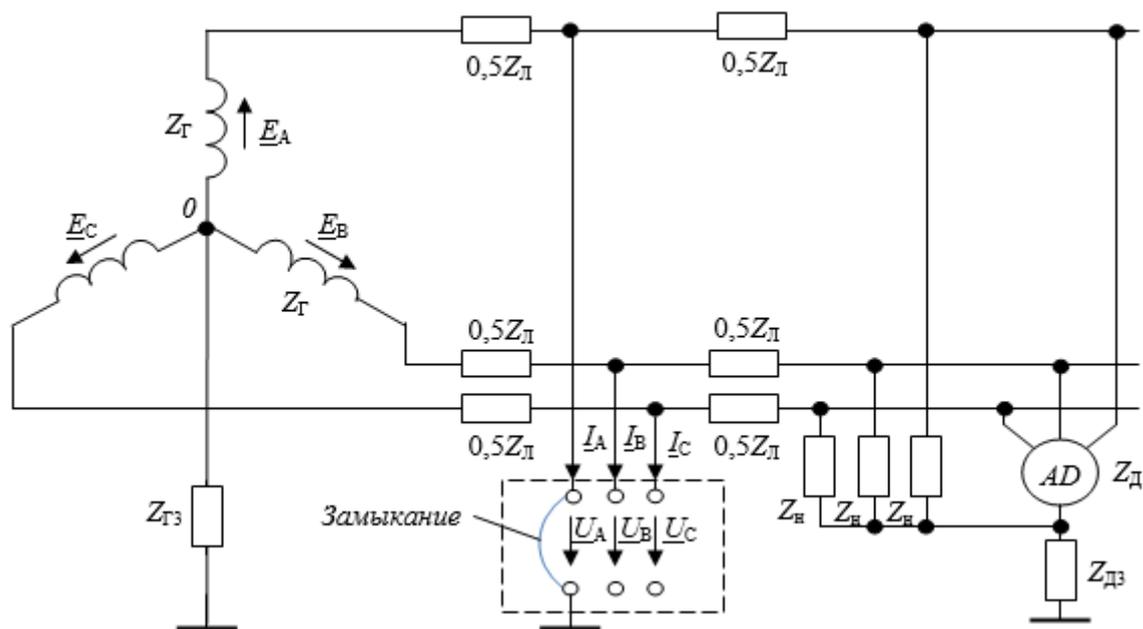


Рис.4. Исходная схема цепи

Составим эквивалентные схемы замещения цепи для прямой, обратной и нулевой последовательности рис.5.

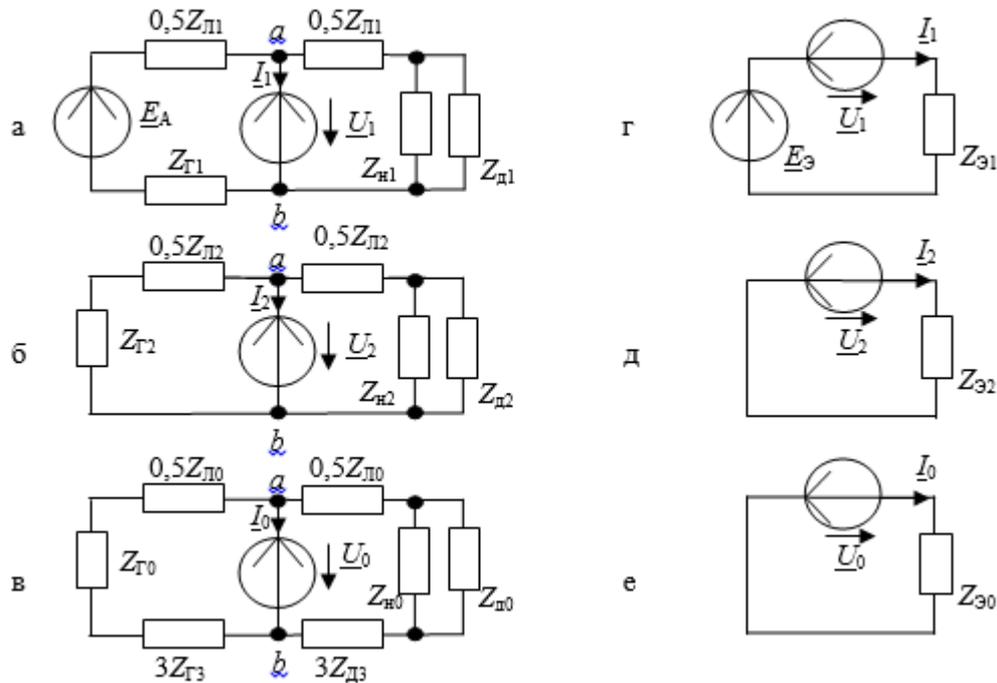


Рис. 5. Схемы замещения для прямой, обратной и нулевой последовательности

Место аварии на рис.4 окружено штриховой линией. Несимметричные напряжения, образовавшиеся в месте аварии, обозначены $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$, а токи на землю в месте аварии $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$. Из рисунка видно, что $\underline{U}_A = 0$, и $\underline{I}_B = \underline{I}_C = 0$. В соответствии с методом симметричных составляющих три фазных напряжения и три фазных тока представим через их симметричные составляющие:

$$\begin{cases} \underline{U}_A = \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0; \\ \underline{U}_B = a^2 \cdot \underline{U}_1 + a \cdot \underline{U}_2 + \underline{U}_0; \\ \underline{U}_C = a \cdot \underline{U}_1 + a^2 \cdot \underline{U}_2 + \underline{U}_0; \end{cases} \quad (7) \quad \begin{cases} \underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \\ \underline{I}_B = a^2 \cdot \underline{I}_1 + a \cdot \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \\ \underline{I}_C = a \cdot \underline{I}_1 + a^2 \cdot \underline{I}_2 + \underline{I}_0. \end{cases} \quad (8)$$

где $a = e^{j120^\circ}$ — оператор трехфазной системы; индексом 1 обозначается прямая последовательность; индексом 2 обозначается обратная последовательность; индексом 0 обозначается нулевая последовательность.

Схема на рис.5, а составлена для токов и напряжений прямой последовательности в фазе А, схема на рис.5, б составлена для токов и напряжений обратной последовательности в фазе В, схема на рис.5, в составлена для токов и напряжений нулевой последовательности в фазе С, Так как генератор дает симметричную систему ЭДС прямой последовательности $\underline{E}_A, \underline{E}_B, \underline{E}_C$, а ЭДС обратной и нулевой последовательностей не содержит, то ЭДС \underline{E}_A имеется только в схеме на рис.5,а, в схемах на рис.5,б,в ЭДС генератора отсутствует.

Утроение сопротивления заземления генератора и двигателя в схеме на рис.5,е для нулевой последовательности объясняется тем, что по нулевому проводу течет ток, в три раза больший, чем по фазовому проводу [1, с. 205].

Схемы на рис.5, а, б, в, заменяем их эквивалентами на рис.5, г, д, е, не затрагивая при этом источники ЭДС, напряжение на которых равно $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_0$.

Параметры схемы на рис. 5, г (находим $\underline{E}_Э$ методом эквивалентного генератора):

$$z_{э1} = \frac{1}{a_1 + b_1}; \quad E_{Э} = \frac{\underline{E}_A \cdot a_1}{a_1 + b_1};$$

$$a_1 = \frac{1}{0,5 \cdot Z_{Л1} + Z_{Г1}}; \quad b_1 = \frac{1}{0,5 \cdot Z_{Л1} + \frac{Z_{Н1} \cdot Z_{Д1}}{Z_{Н1} + Z_{Д1}}}$$

Параметры схемы на рис. 5, д:

$$z_{э2} = \frac{1}{a_2 + b_2}; \quad a_2 = \frac{1}{0,5 \cdot Z_{Л2} + Z_{Г2}}; \quad b_2 = \frac{1}{0,5 \cdot Z_{Л2} + \frac{Z_{Н2} \cdot Z_{Д2}}{Z_{Н2} + Z_{Д2}}}$$

Параметры схемы на рис. 5, е:

$$z_{30} = \frac{1}{a_0 + b_0}; a_0 = \frac{1}{Z_{Г0} + 0,5 \cdot Z_{Л0} + 3 \cdot Z_{Г2}}; b_0 = \frac{1}{0,5 \cdot Z_{Л0} + 3 \cdot Z_{Д2} + \frac{Z_{Н0} \cdot Z_{Д0}}{Z_{Н0} + Z_{Д0}}}$$

Затем для схем на рис5, г, д, е составляем уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} \underline{U}_1 + \underline{I}_1 \cdot Z_{31} = \underline{E}_3; \\ \underline{U}_2 + \underline{I}_2 \cdot Z_{32} = 0; \\ \underline{U}_0 + \underline{I}_0 \cdot Z_{30} = 0; \end{cases} \quad (9)$$

Исходя из исходных данных $\underline{U}_A = 0$, и $\underline{I}_B = \underline{I}_C = 0$, мы можем найти ток на фазе А, который равен току короткого замыкания. Решаем систему (9) путем сложения всех её уравнений:

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_0 + (\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0) \cdot (Z_{31} + Z_{32} + Z_{30}) = \underline{E}_3. \quad (10)$$

Согласно уравнениям систем (7) и (8), заменяем сумму симметричных составляющих напряжений и токов на $\underline{U}_A, \underline{I}_A$. Уравнение (10) примет вид:

$$\underline{I}_A \cdot (Z_{31} + Z_{32} + Z_{30}) = \underline{E}_3;$$

$$\underline{I}_{КЗ} = \underline{I}_A = \frac{\underline{E}_3}{Z_{31} + Z_{32} + Z_{30}}.$$

Вывод. Расчет несимметричных трехфазных цепей является важным вопросом в энергетике, так как правильность его расчета влияет не только на энергоэффективность, но и на безопасность рабочих. Метод симметричных составляющих хорошо справляется с этой задачей, так как данный метод позволяет перейти от несимметричной системы, к симметричной, ведь тогда оказывается возможным исключить соотношения, обусловленные взаимной индукцией, и избежать связанных с ними осложнений при решении тех или иных вопросов.

Литература:

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для бакалавров / Л.А. Бессонов. — 12-е изд., исправ. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — 701 с.
2. Вагнер, К.Ф., Эванс Р.Д. Метод симметричных составляющих. / К.Ф. Вагнер, Р.Д. Эванс. Л — М.: ОНТИ, 1936. — 407 с.
3. Беляева, Е.Н. Как рассчитать ток короткого замыкания. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 136 с.
4. Короткие замыкания в электроустановках // Все об электростанциях. URL: http://www.gigavat.com/obschie_svedeniya_ob_elektroustanovkah5.php (дата обращения: 28.12.2016).

ЭНЕРГЕТИКА

Математическая модель свободнопоршневого двигателя Стирлинга

Бобылев Александр Викторович, студент;
Зенкин Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана;

Представлено описание термодинамической модели двигателя Стирлинга, приведены основные уравнения и результаты моделирования 57-киловаттной свободно-поршневой установки бета-типа.

Ключевые слова: *двигатель Стирлинга, математическая модель, термодинамическая модель, свободно-поршневой двигатель, двигатель Била*

Двигатель Стирлинга — это машина, работающая по замкнутому термодинамическому циклу, в которой циклические процессы сжатия и расширения происходят при различных уровнях температур, а управление потоком рабочего тела осуществляется путем изменения его объема [1]. В настоящее время они применяются, когда необходима длительная работа энергетической установки без обслуживания, в случае жестких требований по многогопливности, или, например, по шуму. Данные двигатели применяют в солнечной энергетике, подводном флоте, различной спецтехнике. В космической отрасли двигатели Стирлинга возможно использовать в качестве энергетических установок, работающих на атомных или радиоизотопных источниках тепла.

Для задач проектирования в настоящее время применяют математические модели различного уровня сложности. Эти модели необходимы для того, чтобы подобрать параметры двигателя, получить его предварительные характеристики исходя из заданных требований.

Их разработка и реализация в настоящее время активно продолжается как в России [4], [5], [6], так и за рубежом [7], [8], [9].

В качестве первого этапа расчетного анализа двигателя Стирлинга широко применяются термодинамические математические модели, разработке которой и посвящена настоящая статья.

Математическая модель описывает рабочий процесс свободнопоршневого двигателя Стирлинга. За основу была выбрана установка, разрабатываемая NASA [3] в качестве генератора электрической энергии на космических станциях, приводимая в работу от ядерного реактора либо от солнечных батарей. Рабочее тело — гелий. Схема свободнопоршневого двигателя Стирлинга представлена на рис. 1.

При формулировке математической модели был принят ряд допущений:

рабочая область разбита на восемь объемов:

- полость сжатия, V_c ;
- холодильник, V_k ;
- регенератор, разбитый на три объема, V_r ;
- нагреватель, V_h ;
- полость сжатия, V_e ;
- буферная полость, V_b ;
- газ, находящийся внутри каждого из объемов, описывается первым законом термодинамики для открытых систем;
- движение вытеснителя и рабочего поршня — свободное, описано вторым законом Ньютона;
- тепловое состояние деталей конструкции не изменяется во времени и предполагается заданным;
- теплообмен в теплообменниках и регенераторе описывается законом Ньютона-Рихмана;
- утечки через зазоры отсутствуют;
- перетекание газа из объема в объем рассчитывается по квазистационарным соотношениям.

Схема сил, действующих на вытеснитель и рабочий поршень представлена на рис. 2.

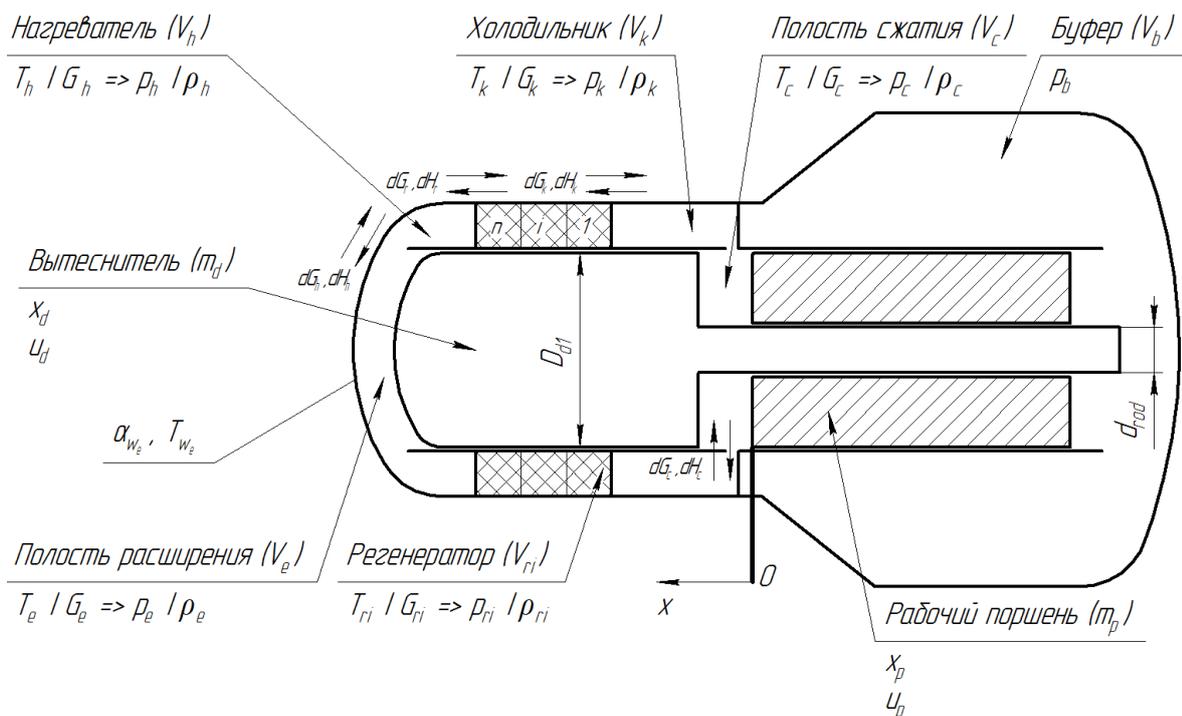


Рис. 1. Схема свободнопоршневого двигателя Стирлинга

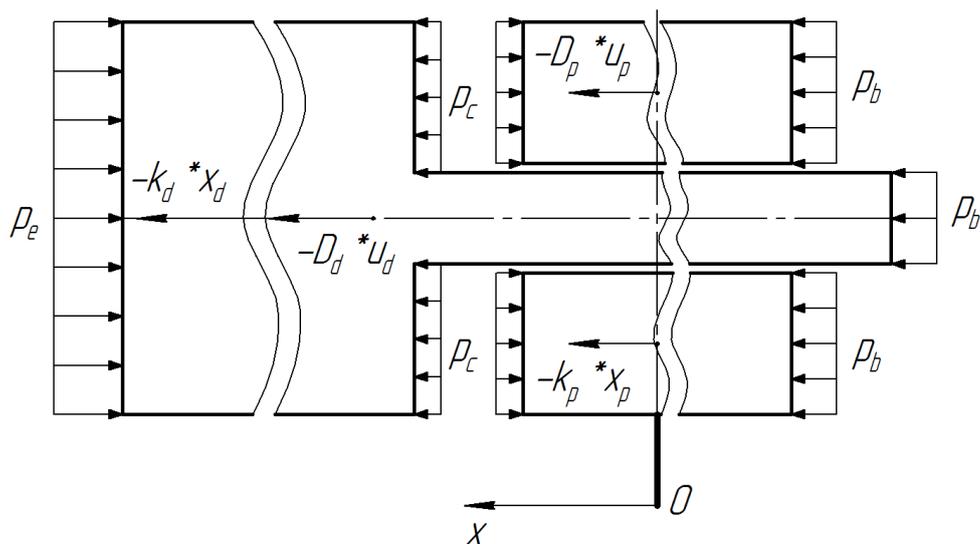


Рис. 2. Схема приложения сил к вытеснителю и рабочему поршню

Модель двигателя описывается восемнадцатью интегрируемыми уравнениями, которые приведены ниже:

1) Уравнение перемещения вытеснителя

$$\dot{x}_d = u_d,$$

где x_d — перемещение вытеснителя, м;

u_d — скорость вытеснителя, м/с.

2) Уравнение перемещения рабочего поршня

$$\dot{x}_p = u_p,$$

где x_p — перемещение рабочего поршня, м;

u_p — скорость рабочего поршня, м/с.

3) Уравнение скорости вытеснителя

$$\dot{u}_d = (p_b \cdot A_{rod} + p_c \cdot A_{dC} - p_e \cdot A_{dE} - D_d \cdot u_d - k_d \cdot x_d) / m_d,$$

где p_b , p_c , p_e — давления в буферной полости, полости сжатия и полости расширения соответственно, Па;

A_{rod} , A_{dC} , A_{dE} — площади штока, вытеснителя со стороны полости сжатия и вытеснителя со стороны полости расширения соответственно, м^2 ;

D_d — коэффициент демпфирования вытеснителя, кг/с ;

k_d — коэффициент жесткости пружины вытеснителя, кг/с^2 ;

m_d — масса вытеснителя, кг .

4) Уравнение скорости рабочего поршня

$$\dot{u}_p = \left[(p_b - p_c) \cdot A_p - D_p \cdot u_p - k_p \cdot x_p \right] / m_p,$$

где A_p — площадь рабочего поршня, м^2 ;

D_p — коэффициент демпфирования рабочего поршня, кг/с ;

k_p — коэффициент жесткости пружины рабочего поршня, кг/с^2 ;

m_p — масса рабочего поршня, кг .

5) Уравнения расхода рабочего тела через полость сжатия

$$G_c = G_{ck},$$

где $G_{ck} = -\mu F_c \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{p_k}{p_c} \right)^{2/k} - \left(\frac{p_k}{p_c} \right)^{(k+1)/k} \right]} \cdot \sqrt{p_c \cdot \rho_c}$, если $p_c > p_k$ — расход через проходное сечение

между полостью сжатия и холодильником, кг/с . Остальные расходы через проходные рассчитываются аналогично;

p_k — давление в холодильнике, Па ;

ρ_c — плотность рабочего тела в полости сжатия, кг/м^3 ;

k — показатель адиабаты;

μF_c — площадь проходного сечения из полости сжатия в холодильник.

6) Уравнение расхода рабочего тела через холодильник

$$G_k = -G_{ck} + G_{kr1}$$

7) Уравнение расхода рабочего тела через первую полость регенератора

$$G_{r1} = -G_{kr1} + G_{r1r2}$$

8) Уравнение расхода рабочего тела через вторую полость регенератора

$$G_{r2} = -G_{r1r2} + G_{r2r3}$$

9) Уравнение расхода рабочего тела через третью полость регенератора

$$G_{r3} = -G_{r2r3} + G_{r3h}$$

10) Уравнение расхода рабочего тела через нагреватель

$$G_h = -G_{r3h} + G_{he}$$

11) Уравнение расхода рабочего тела через полость расширения

$$G_e = -G_{he}$$

12) Уравнение внутренней энергии для полости сжатия

$$\dot{U}_c = (\dot{x}_p - \dot{x}_d) \cdot A_p \cdot p_c + \dot{H}_c,$$

где $\dot{H} = c_p \cdot T_{ucm} \cdot G$ — поток энтальпии через проходное сечение, Дж/с ;

c_p — удельная теплоемкость рабочего тела при постоянном давлении.

13) Уравнение внутренней энергии для холодильника

$$\dot{U}_k = As_k \cdot \alpha_k \cdot (T_{wk} - T_k) - \dot{H}_c + \dot{H}_k,$$

где As — площадь поверхности теплообмена в соответствующей полости, м^2 ;

α_k — коэффициент теплоотдачи в соответствующей полости, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

T_{wk} — температура поверхности теплообмена, К ;

T — температура рабочего тела, К .

14) Уравнение внутренней энергии для первой полости регенератора

$$\dot{U}_{r1} = As_{r1} \cdot \alpha_{r1} \cdot (T_{wr1} - T_{r1}) - \dot{H}_k + \dot{H}_{r1}$$

15) Уравнение внутренней энергии для второй полости регенератора

$$\dot{U}_{r2} = As_{r2} \cdot \alpha_{r2} \cdot (Tw_{r2} - T_{r2}) - \dot{H}_{r1} + \dot{H}_{r2}$$

16) Уравнение внутренней энергии для третьей полости регенератора

$$\dot{U}_{r3} = As_{r3} \cdot \alpha_{r3} \cdot (Tw_{r3} - T_{r3}) - \dot{H}_{r2} + \dot{H}_{r3}$$

17) Уравнение внутренней энергии для нагревателя

$$\dot{U}_h = As_h \cdot \alpha_h \cdot (Tw_h - T_h) - \dot{H}_{r3} + \dot{H}_h$$

18) Уравнение внутренней энергии для полости расширения

$$\dot{U}_e = \dot{x}_d \cdot A_d \cdot p_e - \dot{H}_h$$

Значения констант и коэффициентов для рассматриваемого двигателя были приняты, основываясь на [3].

В качестве среды разработки использовался программный комплекс Matlab [2]. Модель была составлена в соответствии с функциональной парадигмой программирования, для интегрирования дифференциальных уравнений был применен метод Рунге-Кутты четвертого порядка.

Результаты математического моделирования

В результате интегрирования системы уравнений, описанных выше, были получены характеристики рабочего процесса двигателя, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Интегральные характеристики свободнопоршневого двигателя Стирлинга

Эффективная мощность, кВт	57,4
Частота, Гц	94,3
Средняя температура в нагревателе, К	894,9
Средняя температура в холодильнике, К	469
Среднее давление, МПа	13,8
Амплитуда рабочего поршня, мм	15,1
Амплитуда вытеснителя, мм	8,1
Фаза между вытеснителем и поршнем, градус	61,1
Фаза между вытеснителем и давлением, градус	74,7
Фаза между поршнем и давлением, градус	13,6

Мгновенные значения параметров моделируемой системы приведены на рисунках ниже. PV-диаграмма представлена на рис. 3. На рис. 4 представлен график движения поршней, на рис. 5–6 представлены графики параметров газа в теплообменниках.

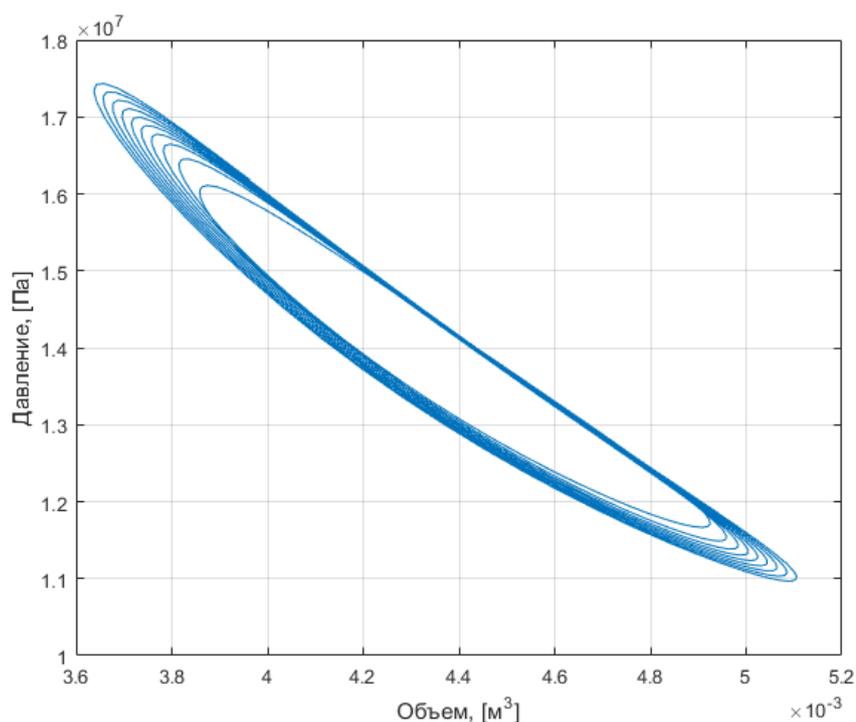


Рис. 3. PV-диаграмма двигателя

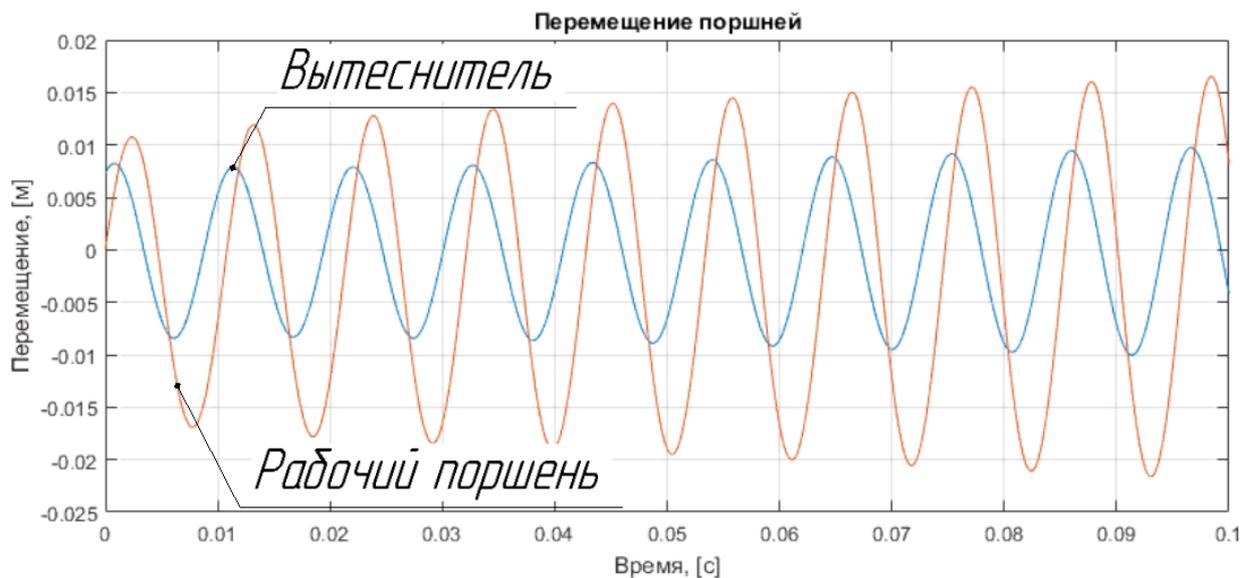


Рис. 4. График перемещения вытеснителя и рабочего поршня в зависимости от времени

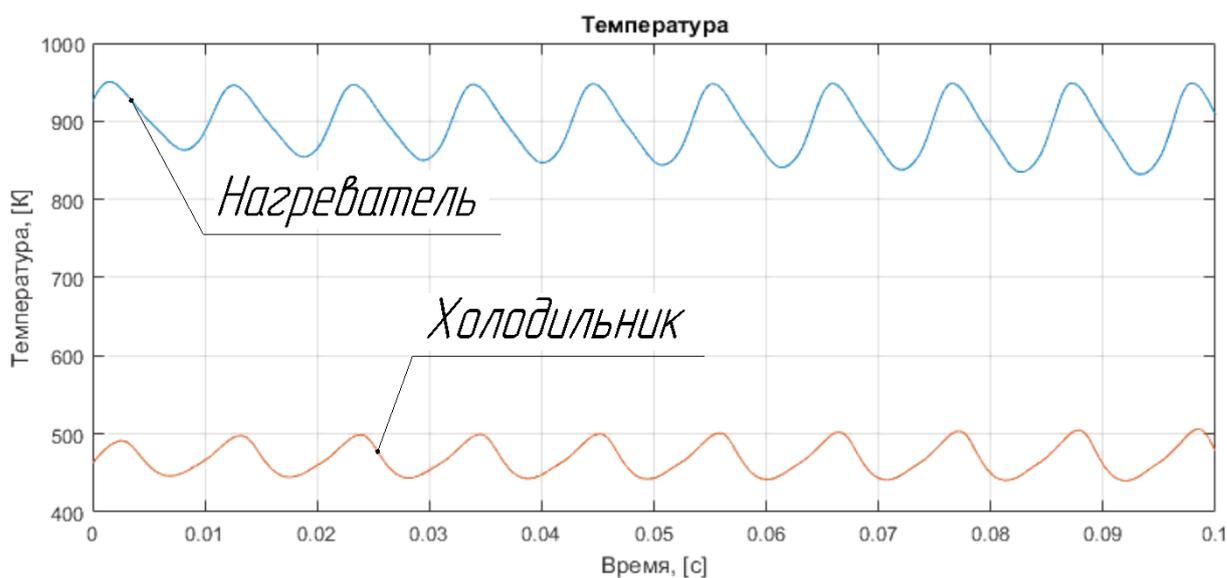


Рис. 5. Температура в холодильнике и нагревателе в зависимости от времени

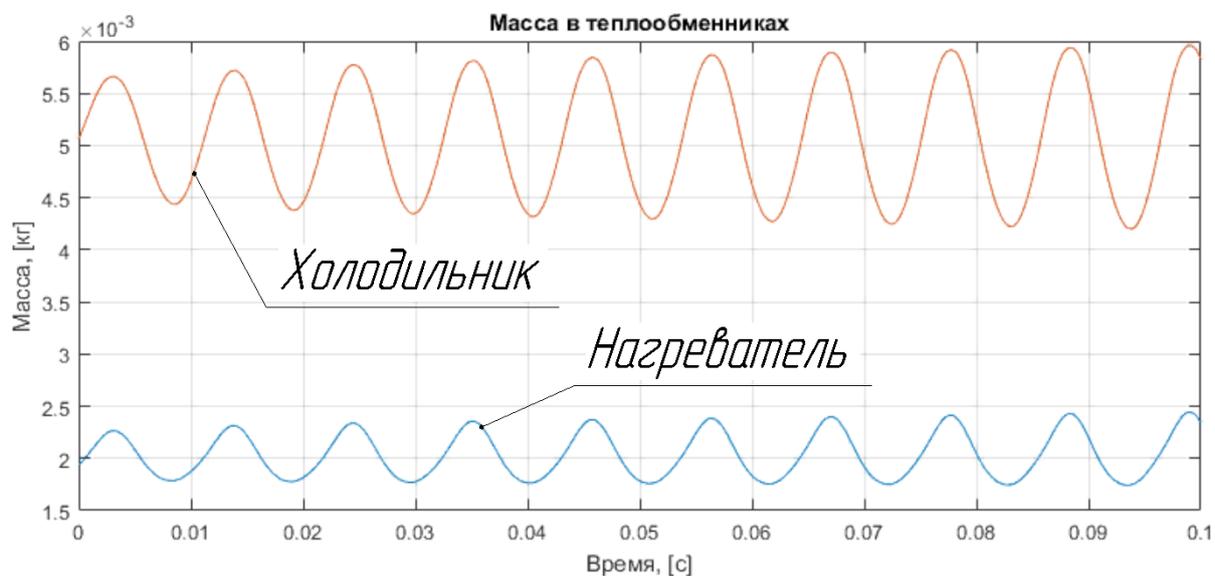


Рис. 6. Масса рабочего тела в холодильнике и нагревателе в зависимости от времени

Заключение

В результате проделанной работы была создана математическая модель свободнопоршневого двигателя Стирлинга, которая может быть использована для первичной оценки показателей двигателя, анализа его рабочего процесса, решения вопросов управления и функционирования в рамках надсистем.

Литература:

1. Уокер, Г. Двигатели Стирлинга/Сокр. пер. с англ. Б. В. Сутугина и Н. В. Сутугина. — М.: Машиностроение, 1985. — 408 с., ил.
2. Программный комплекс MATLAB. Режим доступа: <http://matlab.ru> (дата обращения 21.12.16).
3. Langlois, Justin L. R. Dynamic computer model of a Stirling space nuclear power system. Trident Scholar project report no. 345. — Annapolis: US Naval Academy, 2006.
4. Светлов, В. А., Ефимов С. И., Иващенко Н. А., Сячинов А. В. Методика определения параметров теплообмена во внутреннем контуре двигателя Стирлинга// «Двигатель — 97». Материалы международной научно-технической конференции. — М.: Изд. МГТУ. — 1997.
5. Веревкин, М. Г. Метод комплексного теплового и конструкторского расчета термомеханического генератора // Известия ВУЗов. Машиностроение, 2004. — № 10. — с. 33–37.
6. Абакшин, А. Ю. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена в цилиндрах двигателя с внешним подводом теплоты / А. Ю. Абакшин, Г. А. Ноздрин, М. И. Куколев // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2012. — № 2–2 (1477). — с. 164–167.
7. Kouji Kumagai, Hiroyuki Yamasaki. Performance Prediction of Linear Stirling Power Generator with Two Displacers// 6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC) (28–30 July 2008, Cleveland, Ohio).
8. Kwanchai Kraitong. Numerical modelling and design optimisation of Stirling engines for power production// World Renewable Energy Congress 2011 (8–13 May 2011, Linkoping, Sweden).
9. Hang-Suin Yang, Chin-Hsiang Cheng. A Nonlinear Non-dimensional Dynamic Model for Free Piston Thermal-lag Stirling Engine// Energy Procedia (December 2014)

Применение промышленных моторов с использованием высокотемпературной сверхпроводимости на морском флоте

Зингер Мария Александровна, магистрант;

Клементьева Ксения Вячеславовна, магистрант

Захаров Игорь Вячеславович, доктор технических наук, профессор

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова (Казахстан)

Высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП), открытая в 1986 г. активно входит во многие энергоемкие отрасли промышленности: энергетику (электроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика), металлургию, медицину, транспорт [1,2,3]. Есть примеры использования ВТСП устройств в авиации [4].

Ниже приводится обзор применения ВТСП на морском транспорте, где для этого существуют широкие возможности.

Сверхпроводниковые технологии чрезвычайно важны для применения на флоте как гражданском, так и военном. Сверхпроводниковые приводы и генераторы отличаются высокой компактностью при массе в 2–3 раза меньшей, чем у традиционных аналогов. Уровень вибраций и шумов также значительно ниже, что важно не только для военного применения, но и для круизных лайнеров и рыболовецких судов. Низкая шумность силовых установок круизных лайнеров способна гарантировать комфорт и тишину во всех пассажирских помещениях при возросшей скорости и вместимости лайнера. Отказ от механических редукторов и переход к пря-

мому приводу гребного винта электродвигателем существенно поднимает коэффициент полезного действия (КПД) силовой установки, следует помнить также и об отсутствии омических потерь в сверхпроводниках. Даже с учетом потребляемой криогенным обеспечением мощности КПД ВТСП электродвигателей выше, чем у традиционных. Однако основной выигрыш от сверхпроводниковых технологий на флоте заключается в свободе конструирования судна: дизеля (или турбины), работающие на компактные ВТСП генераторы, могут быть размещены без жесткой привязки к гребному валу. Вынос ВТСП гребных электродвигателей в гондолы за пределы корпуса судна не только высвобождает массу места в кормовой части, но и позволяет радикально улучшить гидродинамику. Если же гондолы с гребными электродвигателями сделать поворотными, то можно резко улучшить маневренность судна, не прибегая к установке дополнительных боковых подруливающих устройств.

В связи с постоянным ростом цен на нефть и ужесточением экологических норм на выбросы окиси азота и двуокиси углерода (для морского транспорта сформули-

рованных в конвенциях СОРЗ и NOX Международной Морской Организации) резко возрос интерес к экономичным и экологически чистым двигательным установкам, в том числе и к судовому электрическому приводу.

Японская компания Mitsubishi Heavy Industries дала оценку перспектив электрического привода (как сверхпроводящего, так и обычного) на морском транспорте.

В Японии работы по улучшению судового электропривода проводятся в рамках R&D Super Eco-Ship Project под эгидой Министерства Природы, Инфраструктуры и Транспорта.

Широко используемые на больших кораблях двухтактные низкооборотные дизели, обладают наиболее высоким среди двигателей внутреннего сгорания КПД

и при сохранении традиционных для кораблей компоновочных схем любой электропривод (даже на основе сверхпроводящих генераторов и электродвигателей) будет в заведомом проигрыше по тепловому КПД. Однако недавно компания Mitsubishi Heavy Industries представила высокоскоростной паром с одним гребным винтом и гибридным приводом: на гребной вал совместно работают два дизеля и электродвигатель (рисунок 1). Подобная компоновка позволила оптимизировать обводы корпуса, резко сократить гидродинамическое сопротивление и поднять КПД силовой установки по сравнению с традиционной двухвинтовой схемой на 13%. Из-за необычной компоновки привода гребного винта данную схему можно реализовать только с использованием электропривода [5].

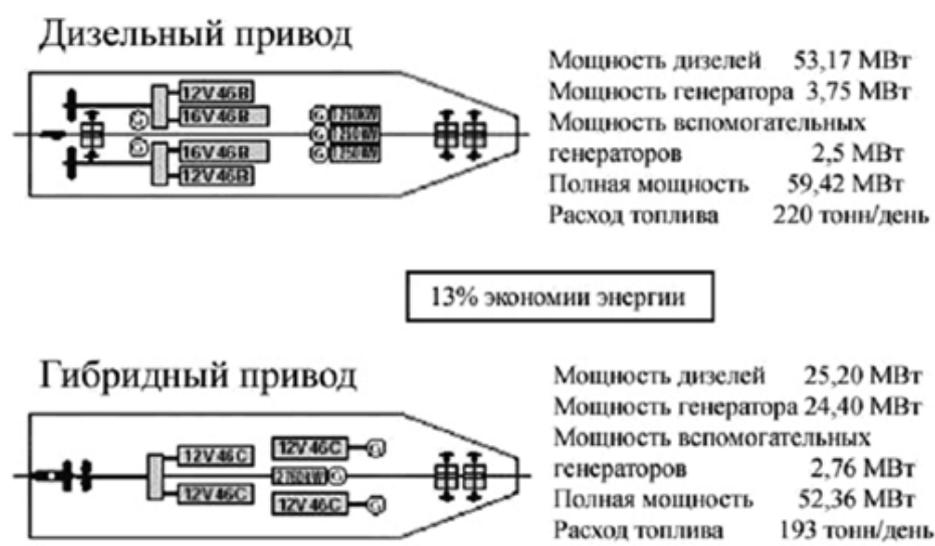


Рис. 1. Сопоставление гибридной и традиционной схем судовых силовых установок

Использование сверхпроводящих генераторов и двигателей позволит еще дальше пойти по пути сокращения размеров судовых силовых установок, что придаст новый импульс в развитии кораблестроения.

Одно из подразделений American Superconductor Corporation (AMSC) Super Machines Business Unit — занимается разработкой и изготовлением ВТСП электрических машин и устройств. Основные направления работ подразделения — промышленные моторы с вы-

сокой производительностью и низкой стоимостью технического обслуживания. AMSC разрабатывает ВТСП промышленный мотор на 5000 л. с. Ежегодный рынок промышленных моторов составляет 1,2 млрд. долл.

Генераторы для морских судов (рисунок 2) предназначены для военных и коммерческих приложений с низким уровнем шумов, малым весом при большей эффективности.

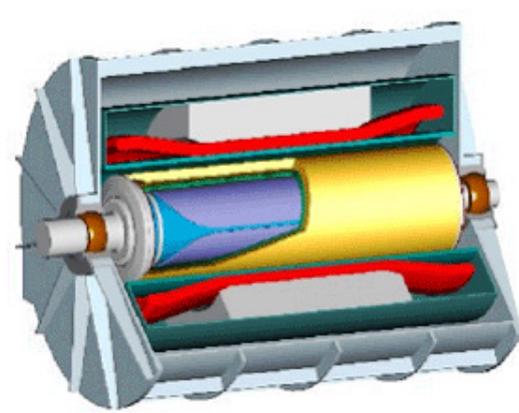


Рис. 2. Генератор для морских судов

Движительные системы для судов (Ship Propulsion Systems) — для военных и коммерческих приложений с повышенной эффективностью, ударной прочностью, низким уровнем шумов, небольшими размерами, допускающими повышенные нагрузки. Naval Research заключила с AMSC контракт (70 млн. долл.) на создание и поставку 36,5 МВт (49000 л. с.) ВТСП мотора (вес мотора — 69 тонн в сравнении с 200-тонным традиционным аналогом). Этой разработке предшествовали два ВТСП мотора — на 1000 л. с. и 5000 л. с., исследования и испытания по которым заложили основу успеха для новой разработки 36,5 МВт мотора.

Был изготовлен макетный образец ВТСП электродвигателя мощностью 5 МВт (230 об/мин, напряжение 4160

В) с электронной системой управления для испытания на морских судах. 5 МВт низкооборотный ВТСП электродвигатель с большим вращающим моментом — первый шаг в разработке двигателей с номинальными мощностями 25 МВт и 36 МВт для полностью электрифицированных военных кораблей. Ожидается, что ВТСП электродвигатели мощностью 25 МВт и 36 МВт будут обладать в пять раз лучшими массогабаритными показателями по сравнению с двигателями традиционного исполнения [6].

Эффективность применения ВТСП электрических генераторов наглядно отражает преимущества компактной системы, оборудованной ВТСП генератором, в сравнении с традиционной системой генерации мощности (Siemens) [7].

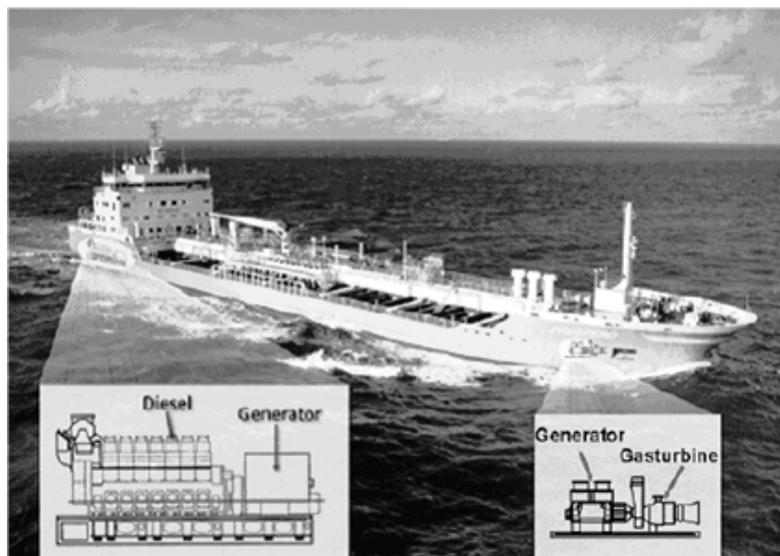


Рис. 3. Эффективность применения ВТСП электрических генераторов

В 70–80 гг. прошлого века было несколько проектов сверхпроводниковых судовых электродвигателей. Они не были осуществлены, так как их реализация на низкотемпературных сверхпроводниках требовала сложного и ненадежного криогенного обеспечения. С появлением коммерчески доступных Bi-2223 ВТСП проводников в мире началось сразу несколько проектов по созданию двигателей, генераторов и синхронных компенсаторов для использования на флоте. Однако при температуре жидкого азота (77К) Bi-2223 ВТСП проводники обладают существенным недостатком: чрезвычайно сильной зависимостью их критического тока от магнитного поля, уже при магнитной индукции в 0,1 Тл критический ток таких проводников падает более чем в два раза. При охлаждении Bi-2223 проводников до уровня температур в 20–40 К, проблема полевой зависимости ВТСП проводников снимается, а критический ток возрастает.

Электрические машины на основе Bi-2223 проводников мощностью выше 100 кВт, как правило, работают при температурах существенно меньших, чем 77 К, а для их охлаждения требуется весьма сложное и дорогое криогенное обеспечение. К счастью, наработка на отказ современных криокулеров достигает 20000 часов, что позво-

ляет говорить о возможности их использования на флоте, однако криогенное обеспечение на 77 К в любом случае будет компактнее, эффективнее, надежнее и дешевле. Ожидаемый эффект от использования ВТСП электродвигателей и генераторов на флоте настолько велик, что даже устройства на основе Bi-2223 проводников, работающие при температуре 20–40 К, будут востребованы, даже при современном уровне цен на ВТСП материалы и криогенное оборудование. Разработка электрических машин на основе Bi-2223 проводников, работающих при температуре 77 К представляется чрезвычайно сложной задачей, так как магнитная индукция на обмотке не должна превышать 0,1 Тл, что требует специальных мер по оптимизации обмоток и ферромагнитных сердечников. Мощность электрических машин на основе Bi-2223 проводников, работающих при 77 К пока не превышает 100 кВт, а массогабаритные показатели лишь незначительно лучше, чем у обычных электрических машин. С появлением ВТСП проводников 2-го поколения, для которых зависимость критического тока от магнитного поля значительно слабее, чем у Bi-2223 проводников, стало возможно создание по настоящему эффективных ВТСП электрических машин, работающих при температуре

жидкого азота. Пока электрические машины на основе ВТСП проводников 2-го поколения представлены лишь несколькими маломощными макетными образцами [8].

Ниже подробно описано несколько различных проектов синхронных электрических машин для флота.



Рис. 4. Судовой двигатель компании AMSC

AMSC и Northrop Grumman (NOC) в 2007 г. объявили об успешном завершении испытаний крупнейшего в мире ВТСП судового электродвигателя мощностью 36,5 МВт (рисунок 4). В проекте также участвовали Rapog Inc, и Electric Machinery Company. Масса электродвигателя составляет 75 т, что в три раза меньше чем для двигателя традиционного исполнения. По завершению испытаний электродвигатель передали ВМФ США с вероятной установкой на новейший эсминец класса DDG-1000.

В силу военной направленности проекта доступно крайне мало технических деталей устройства. Можно лишь с уверенностью сказать, что мотор изготовлен из Bi-2223 производства AMSC и работает при температуре около 30 К. Известно, что весь проект обошелся примерно в 90 млн. долл.

Doosan Heavy Industries. В рамках корейской программы по разработке сверхпроводниковых технологий

для электроэнергетики (DAPAS) запланировано создание ВТСП электродвигателей мощностью 70 кВт, 1 МВт и 5 МВт. Были изготовлены синхронные электродвигатели на 100 л. с. (74 кВт; 1800 об/мин.) и 1300 л. с. (957 кВт; 3600 об/мин.). ВТСП обмотки выполнены из Bi-2223 ленты производства AMSC. Рабочая температура обмоток у обоих моторов 30 К, с охлаждением от криокулеров.

Siemens. Работы над ВТСП электродвигателями начались в Siemens еще в 1999 г. Помимо Siemens в проекте участвуют компании: TransMIT Gesellschaft für Technologietransfer mbH, ThyssenKrupp Marine Systems AG и Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH, финансовую поддержку оказывает Министерство по экономике и технологиям Германии. Был успешно испытан ВТСП синхронный электродвигатель мощностью 400 кВт, а также мотор-генератор на 4 МВт (рисунок 5).



Рис. 5. Синхронный ВТСП генератор Siemens мощностью 4 МВт

ВТСП электрические машины отличаются недостижимой для традиционных устройств перегрузочной способностью до 700% по крутящему моменту в кратковременном режиме и 150% в течение 15 минут по мощности. ВТСП обмотки обоих устройств охлаждаются криокулерами через теплообменный газ до температуры 25 К [8]. Основные параметры электрических машин Siemens и Doosan приведены в таблице 1.

В таблицах 2÷4 приведены наиболее крупные проекты сверхпроводниковых электрических машин для морского флота.

Представленный материал позволяет сделать следующие выводы:

- К преимуществам электродвижения относятся
 - пониженные выбросы окиси азота;
 - увеличение доступного пространства и гибкость компоновки;
 - уменьшение шума и вибраций;
 - улучшение управляемости судна, в случае выноса электродвигателей в гондолы.

К недостаткам электродвижения относятся

Таблица 1

Основные параметры электрических машин Siemens и Doosan

Показатель	Siemens		Doosan	
	Номинальная мощность, кВт	400	4000	74
Крутящий момент, Н·м	2600	10600	-	-
Скорость вращения, об/мин.	1500	3600	1800	3600
Рабочее напряжение, В	380	6600	380	-
Рабочая частота, Гц	3–50	3–60	-	-
КПД (с учетом криогеники), %	96,8	98,7	-	-
Масса, т	-	6,9	-	2
Габариты (без криогеники), м	-	1,9×1,2	-	1,3×0,8

Таблица 2

Проекты НТСП и ВТСП электромашин [9]

Разработчик	Мощность, МВ·А	Число полюсов	Скорость вращения, об/мин	Проводник	Способ охлаждения	Назначение
General Atomics, США, генератор	36,5	униполярный	120	NbTi	Униполярный двигатель для ВМФ США	
Siemens, Германия, генератор	4	2	3600	Bi-2223 лента	Жидкий неон, 30 К	Генератор для морских судов
American Superconductor, США электродвигатель	5		230	Bi-2223 лента	Двигатель для ВМФ США	
	36,5		120	Bi-2223 лента		

Таблица 3

Проекты ВТСП электродвигателей [10]

Организация	Страна	Год	Тип изделия	Мощность, МВт	Число оборотов в минуту	Масса, т	КПД, %	Финансирование проекта	ВТСП материалы
AMSC	США	2003	Судовой электродвигатель	5	230	-	-	8 млн.\$	BSCCO
Sumitomo Electric Industries	Япония	2007	Судовой электродвигатель	0,365	250	4,4	-	-	BSCCO
AMSC	США	2007	Судовой электродвигатель	36,5	120	< 75	-	100 млн.\$	BSCCO
Siemens	Германия	2008	Судовой электродвигатель	4,0	120	-	-	-	BSCCO

Проекты электротехнического оборудования на основе ВТСП [11]

Устройства	Название проекта	Производитель	Сроки выполнения, годы	Характеристики	Стоимость, \$
Сверхпроводниковые двигатели	NAVSEA Motor study	AMSC	2003–2012	Гребной электродвигатель 36,5 МВт	6492000
Кабельная техника	Кабель постоянного тока	CAPS, Southwire, NSWC	2007–2013	Изучение охлаждаемого газобразным гелием сверхпроводящего кабеля постоянного тока для ВМФ; демонстрация 1 кВ 30 м кабеля	-

- суммарное значение КПД на 10–15% хуже, чем у традиционного варианта с дизелем. (Эта оценка зависит от конкретных элементов системы электродвигателя, поэтому является весьма неоднозначной);
- высокие капитальные затраты.

В целом следует сказать, что применение высокотемпературной сверхпроводимости на объектах морского флота является очевидным фактом и в силу своих преимуществ она будет все шире распространяться в этой области транспортной техники.

Литература:

1. Бупежанова, А.Б., Зингер М.А., Клементьева К.В., Захаров И.В. Применение высокотемпературной сверхпроводимости в электроэнергетических устройствах // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова, Энергетическая серия, № 1. — Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2016.
2. Стоякин, В.В. ВТСП электроэнергетика в США // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2013. — т. 10, № 4. — с. 1–3.
3. Никонов, А.А., Щербаков В.И. Сверхпроводниковые устройства для металлургии // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2007. — т. 4, № 6. — с. 7–8.
4. Смаев, М.П. ВТСП для авиации // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2007. — т. 4, № 5. — с. 7–8.
5. Superconductivity Web 21, 2007.
6. American Superconductor Corporation (AMSC) // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2004. — т. 1, № 2. — с. 5–9.
7. Proc. IEEE, 2004, no. 10, p. 1688.
8. Щербаков, В.И. ВТСП приводы и генераторы для нужд флота // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2007. — т. 4, № 3. — с. 8–10.
9. Сегодняшние проекты НТСП и ВТСП электромашин // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2006. — т. 3, № 3. — с. 9.
10. Существующие в мире проекты ВТСП электродвигателей и генераторов // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2008. — т. 5, № 3. — с. 3–4.
11. Дегтяренко, П.Н. Современное состояние электротехнического оборудования на основе высокотемпературных сверхпроводников // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». — М: НИЦ Курчатовский институт, 2014. — т. 11, № 2. — с. 10–11.

Статистический анализ динамики и прогнозирования добычи нефти Урьевского месторождения

Мысак Наталья Богдановна, студент
Тюменский индустриальный университет

В статье проведен анализ динамики основных показателей добычи нефти Урьевского месторождения. На основе кривых роста осуществлено моделирование выявленных тенденций, оценены перспективы развития на следующие 3 года.

Ключевые слова: Урьевское месторождение, добыча нефти, статистический ряд, прогноз развития, полиномиальная аппроксимация

Нефтяная промышленность является важнейшим сектором народного хозяйства. Актуальным в наше время является то, что инвестиции идут в бурение дополнительных скважин на месторождениях, где нефть идет относительно просто, происходит стимулирование тех пластов, которые и так дают хорошую отдачу. Форсируя извлечение нефти вместо соблюдения норм различными дешевыми способами, действительно повышают добычу, нефть идет еще быстрее. Однако давление в пласте падает раньше, чем рассчитано по схеме оптимальной разработки. Существует риск, что качая больше сегодня, значительную часть запасов нефти на месторождении мы просто не добудем завтра. Вследствие того, что в пласты не всегда рационально закачивают воду, их обводненность может достигнуть до 98%. Такие действия могут помочь увеличить темпы роста добычи нефти, но чреваты крутым падением. В дальнейшем они могут затруднить применение новых технологий, которые бы позволили достать нефть, которая лежит не на самом верху. Поддержать текущий уровень нефтедобычи в России можно только за счет разработанных еще в советское время скважин Западной Сибири. Разработка новых месторождений осложняется экономическими рисками — снижением стоимости нефти и продолжающимися санкциями. Однако рентабельность

текущих проектов, запасы в которых истощаются, падает вследствие того, что новых разведанных крупных месторождений осталось немного. Поэтому увеличение дебета на разрабатываемых месторождениях является одной из ключевых задач в текущих условиях.

Основой научно-технической политики нефтегазодобывающих предприятий являются мероприятия по увеличению добычи нефти, выполнение геолого-технических мероприятий: ввод новых добывающих скважин, ввод новых скважин под закачку с целью поддержания пластового давления, методы повышения нефтеотдачи пластов, перевод нерентабельных скважин в бездействие, возвраты на другие горизонты, ремонтно-изоляционные работы и т. п.

Урьевское месторождение расположено в Ханты-Мансийском автономном округе, Тюменской области. Месторождение было открыто в 1971 году, а его освоение началось в 1978 году.

Запасы нефти по состоянию на 2014 г. составляют более 300 млн. барр. Плотность нефти — 35° API. Содержание серы составляет 0,86%. Срок действия лицензии на осуществление разработки — до 2038 года.

Добыча нефти (тыс. т.) на Урьевском месторождении характеризуется следующими данными:

Таблица 1

Динамика добычи нефти на Урьевском месторождении в 2006–2014 гг.

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Добыча нефти, тыс. т.	1847	2227	2394	2618	2861	3094	3437	2912	2472

По данным статистического ряда проанализируем динамику добычи нефти на Урьевском месторождении, рассчитав следующие показатели: абсолютные приросты, темпы роста и темпы прироста цепным и базисным способом, абсолютный размер одного процента прироста.

Среднегодовой объем добычи нефти на Урьевском месторождении за 2006–2014 гг. составляет 2651,33 тыс. т. Всего за анализируемый период было добыто 23862 тыс. т. нефти. Максимальный рост по сравнению с 2006 г. (базисным годом) наблюдается в 2012 г. и составляет 86,09%. С помощью метода цепных подстановок был определен ряд промежуточных значений результативного показателя, таким образом, наибольший прирост наблюдается в 2007 г. и составляет 380 тыс. т. нефти.

Затем, за счет увеличения эксплуатационного бурения и формирования системы поддержания пластового давления, прирост добычи в 2008–2012 гг. варьировался в диапазоне 7,5–11,09%. Однако, с 2013 г. тенденция роста прекращается, и добыча нефти резко идет на спад.

Прогнозирование возможных в будущем показателей исследуемого признака — одна из основных задач статистических методов исследования. Ведущую роль здесь играет расчет прогнозов на основе тренда и колеблемости динамического ряда.

Статистический анализ динамики добычи нефти Урьевского месторождения показывает, что показатели ряда претерпевают самые различные изменения. Уровни динамического ряда на протяжении всего рассматри-

Анализ динамики добычи нефти на Урьевское месторождении в 2006–2014 гг.

Год	Добыча нефти, тыс. т.	Абсолютный прирост, тыс. т.		Темп роста, %		Темп прироста, %		Абсолютный размер одного процента прироста, тыс. т.
		цепной	базисный	цепной	базисный	цепной	базисный	
2006	1847,00	-	1845,15	-	100,00	-	0,00	-
2007	2227,00	380,00	380,00	120,57	120,57	20,57	20,57	18,47
2008	2394,00	167,00	547,00	107,50	129,62	7,50	29,62	22,27
2009	2618,00	224,00	771,00	109,36	141,74	9,36	41,74	23,94
2010	2861,00	243,00	1014,00	109,28	154,90	9,28	54,90	26,18
2011	3094,00	233,00	1247,00	108,14	167,51	8,14	67,51	28,61
2012	3437,00	343,00	1590,00	111,09	186,09	11,09	86,09	30,94
2013	2912,00	525,00	1065,00	84,73	157,66	-15,27	57,66	34,37
2014	2472,00	440,00	625,00	84,89	133,84	-15,11	33,84	29,12
Динамическая средняя	2651,33	78,13	-	103,71	-	3,71	-	-

Таблица 3

Прогноз динамики добычи нефти на Урьевском месторождении в 2006–2014 гг.

Прогноз добычи нефти	По среднему абсолютному приросту	По среднему темпу роста	По кривым роста			Порядковый номер года
			Линейная	Степенная	Полиномиальная	
на 1 шаг (на 2015 г.)	2550,13	2563,72	3244,4	3155,11	2370,00	10
на 2 шага (на 2016 г.)	2628,25	2658,85	3363,0	3220,40	1964,00	11
на 3 шага (на 2017 г.)	2706,38	2757,51	3481,7	3281,19	1462,61	12

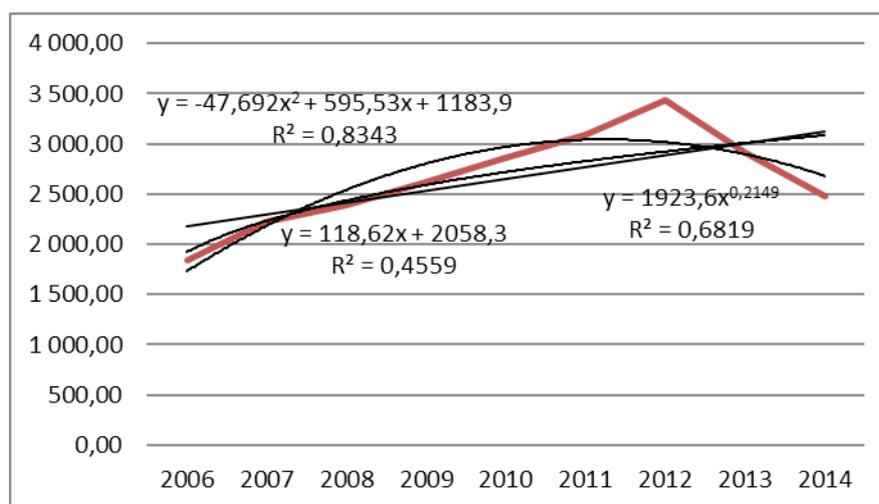


Рис. 1. График динамики добычи нефти (тыс. т.) с различными моделями аппроксимации

ваемого периода то возрастают, то убывают. В данном случае можно говорить лишь об общей тенденции к снижению показателей добычи нефти. Наиболее вероятный прогноз развития, был определен с помощью полиномиальной аппроксимации. Близкое к единице значение $R^2 = 0,83$ свидетельствует о хорошем совпадении кривой с данными. Использование линейной и степенной линии тренда, хоть и показывает более позитивный прогноз динамики добычи нефти, но дает низкую достоверность.

Зачастую, месторождения, находящиеся на поздней стадии эксплуатации, характеризуются снижением добычи нефти, низкими темпами разработки и постоянным ростом обводненности продукции. Это приводит к убыточной эксплуатации таких скважин, и, следовательно, к снижению эффективности работы всего нефтегазодобывающего предприятия, поэтому очень важно спрогнозировать и вовремя предпринять меры по стабилизации, или снижению темпов падения добычи нефти.

Литература:

1. Дружинина, И. В. Статистические методы обработки данных [Текст]: конспект лекций и задания для практических занятий для обучающихся по направлению подготовки магистров 210401 «Нефтегазовое дело» / И. В. Дружинина. — Тюмень: ТГНГУ, 2015. — 45 с.
2. ПАО Лукойл [Электронный ресурс] / Основные факты. Режим доступа: http://www.lukoil.ru/static_6_5id_2160_.html.
3. Pearl, J., Glymour M., Jewell N. P. Causal Inference in Statistics: A Primer. — Chichester: John Wiley & Sons, 2016.

МЕТАЛЛУРГИЯ

О новейших методах изучения процессов питтинговой коррозии

Замалетдинов Ильфат Ибрагимович, доктор технических наук, старший научный сотрудник;
Колобова Евгения Алексеевна, студент
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В статье обобщены современные методики изучения питтинговой коррозии (ПК), включающие метод использования нейронных сетей, 3D метод исследования морфологии при росте питтинга, метод конечных элементов, эллипсометрический метод и др. Получена полезная информация, углубляющая наши представления о механизме и кинетике роста питтинговой коррозии.

Ключевые слова: питтинговая коррозия, нейронные сети, скорость роста питтинга

On the latest methods for studying the processes of pitting corrosion

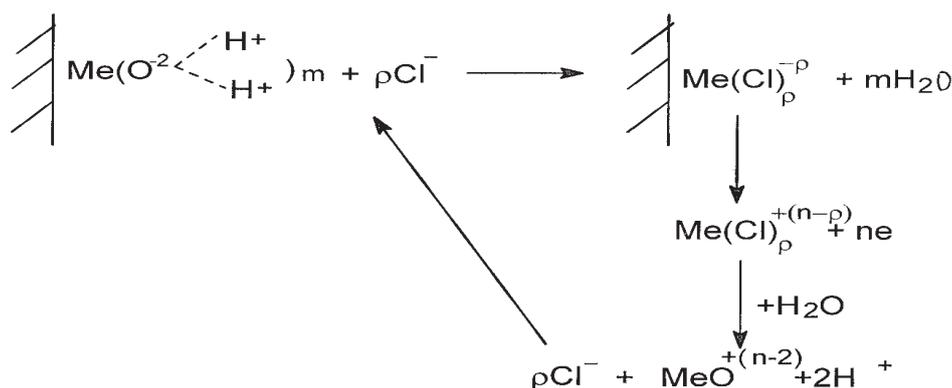
Zamaletdinov I.I.;
Kolobova E.A.
State national research polytechnic university of Perm

There are summarizes of current methods for studying pitting (PC), including a method of using neural networks, 3D method for studying the morphology during the growth of pitting, finite element method, ellipsometry method, and others. Get useful information to deepen our understanding of the mechanism and kinetics of growth of pitting corrosion.

Keywords: Pitting corrosion, neural networks, velocity of pitting's growth

Питтинговая коррозия является опасным видом локального поражения металлов и сплавов, которая, помимо перфорации стенок оболочкового оборудования химических производств, может инициировать процессы коррозионного растрескивания и коррозионной усталости. Поэтому интерес к изучению ПК возрастает в связи с развитием металловедения, с необходимостью создания устойчивых к локальным видам коррозии металлов и сплавов. Прежде чем перейти к новейшим исследованиям в области ПК кратко охарактеризуем условия возникновения ПК и теоретические представления о ПК, которые базируются на работах научных школ Я. М. Колотыркина [1], И. Л. Розенфельда [2], Н. Д. Томашова [3] и др.

Питтинговая коррозия характерна для пассивирующихся металлов в средах, содержащих в первую очередь галиды (Cl^- , Br^- , I^-) металлов. При достижении критического потенциала питтингообразования E_{no}^{kp} на активных центрах поверхности металла адсорбируются агрессивные анионы и при достижении критической концентрации $C_{кр}$ вызывают растворение в виде соли. Схематически процесс можно представить в виде следующих последовательных стадий [4]:



Пассивацию металла вызывают молекулы воды, которые к атому металла обращены кислородным концом. Ионы хлора вытесняют молекулы воды с поверхности и образуют с металлом интермедиаы (комплексы), переходящие в раствор. Далее следует быстрая стадия гидролиза с высвобождением хлор-ионов, вступающих в новое поверхностное взаимодействие с атомами металла. Таким образом формируется циклический или автокаталитический путь реакции питтингообразования [4].

В работе [5] изучали ПК на аэрокосмических сплавах (Al-5,6 Zn-2,5 Mg-1,6 Cu) путем использования искусственных нейронных сетей для моделирования процесса. При этом были использованы оптическая профилометрия и функции Вейбулла для характеристики распределения по глубинам и диаметрам питтингов. Авторы использовали временные эмпирические зависимости скорости роста питтингов, полученные ранее исследователями [6,7]:

$$d = Kt^b, \quad (1)$$

где t — время, d — глубина или диаметр питтинга, K и b — константы, где b принимает значения от 0,3 до 0,5 [6]. Далее применили трехпараметровую Вейбуловскую функцию распределения для определения популяции питтингов по глубине и диаметру:

$$F(d) = 1 - \exp\left(-\frac{d-\gamma}{\beta}\right)^\alpha, \quad \alpha > 0, \quad \beta > 0, \quad (2)$$

где d — глубина питтинга или эквивалентный ей диаметр, α — Вейбуловский параметр формы питтинга, β — параметр масштаба. γ — параметр сдвига (локализации). Методом практической профилометрии установлено, что параметром сдвига можно пренебречь, поэтому выражение (2) авторы [5] упростили:

$$F(d) = 1 - \exp\left(-\frac{d}{\beta}\right)^\alpha, \quad (3)$$

где параметры уравнения такие же, что и в уравнении (2). Вейбуловские параметры глубины и диаметра (обозначенные как $\alpha_{гд}$, $\beta_{гд}$, $\alpha_{диам}$, $\beta_{диам}$) были использованы в создании искусственных нейронных сети (ИНС). Входами во все ИС были показатели температуры, pH, $[Cl^-]$, время экспозиции, в то время как выходами были максимальная глубина питтингов, максимальный диаметр питтинга, $\alpha_{гд}$, $\beta_{гд}$, $\alpha_{диам}$, $\beta_{диам}$. Каждый параметр, (т. е. температура, глубина питтинга и т. д.) был нормализован между значениями 0 и 1 перед подачей в ИНС. Поскольку температура и величина pH равномерно распределены по их весам, они были нормализованы в соответствии с линейными правилами. Например, температура была нормализована в соответствии с уравнением

$$T_{норм} = \frac{T_i - T_{мин}}{T_{макс} - T_{мин}}, \quad (4)$$

где $T_{норм}$ — нормализованная температура, T_i — температура i -ого опыта, $T_{мин}$, $T_{макс}$ — минимальная и максимальная температура соответственно. Аналогичной нормализации была подвергнута величина pH, а концентрация хлорида, время, глубина и диаметр питтинга были нормализованы по логарифмической зависимости:

$$T_{норм} = \frac{\lg t_i - \lg t_{мин}}{\lg t_{макс} - \lg t_{мин}}. \quad (5)$$

Нейроносетевое моделирование проводилось с помощью программного обеспечения JMP8. Программное обеспечение позволило выбрать определенный процент данных вначале для тренинга ИНС (67 % было использовано для определения $\beta_{гд}$ и 90 % для остальных).

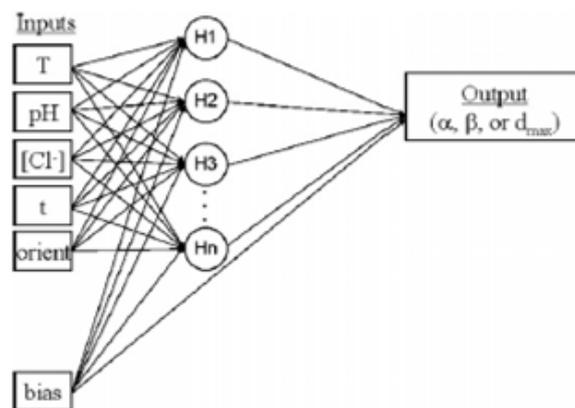


Рис. 1. Нейроносетевая структура для всех конечных параметров (вид параметра, α ; параметр шкалы, β ; максимальная глубина питтинга или диаметр $d_{макс}$). Число нод (H_n) в промежуточном слое варьируется для каждого параметра. Входные параметры: температура, pH, концентрация Cl, время, ориентация (продольная и поперечная) зерен после прокатки, смещение. Выходные параметры α , β или $d_{макс}$.

3D — изображение [5], полученное оптической профилометрией представлено на рис. 2.

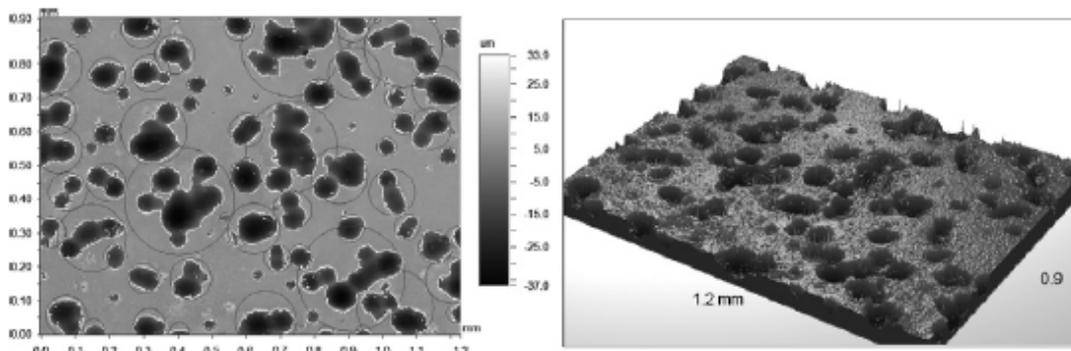


Рис. 2. Слева: Очерченные круговые контуры групп питтингов для съемки на оптическом профилометре сплава алюминия AA 7075 (время испытаний 720 часов при температуре 60°C в растворе 0,6 М хлорида, pH = 6. Справа: 3D изображение образца после испытания

Каждый питтинг был зафиксирован программой в виде круга, пронумерован, расположение и размеры глубин и диаметров были записаны.

В табл. 1 приведено определенное пользователем число узлов (в скрытом слое), использованное для каждой ИНС.

В циклических условиях возникают напряжения, вызывающие рост трещин из глубоких питтингов. Поэтому измеренная действительная максимальная глубина питтингов была сопоставлена с результатами расчета ИНС. Результаты представлены на рис. 3.

Таблица 1

Число нод искусственной нейронной сети при употреблении входящих параметров

Параметр	Число нод
$\alpha_{\text{глубина питтинга}}$	10
$\beta_{\text{глубина питтинга}}$	10
$\alpha_{\text{диаметр питтинга}}$	10
$\beta_{\text{диаметр питтинга}}$	9
Максимальная глубина	11
Максимальный диаметр	12

Видно, что данные обучения/проверки ИНС со средним квадратичным отклонением $R^2 = 0,71$ хорошо согласуются с результатами опытов со средним квадратичным отклонением $R^2 = 0,90$. При анализе результатов использования ИНС было установлено, что на максимальную глубину питтингов оказывало влияние время испытаний, температура и pH раствора, а концентрация хлорида и ориентация тонкой структуры после прокатки сплава не оказывало существенного влияния. Незначительное влияние концентрации хлорида объяснено достаточным количеством хлорида для роста питтингов, влияние хлорида возможно возникнет в опытах при более низких концентрациях.

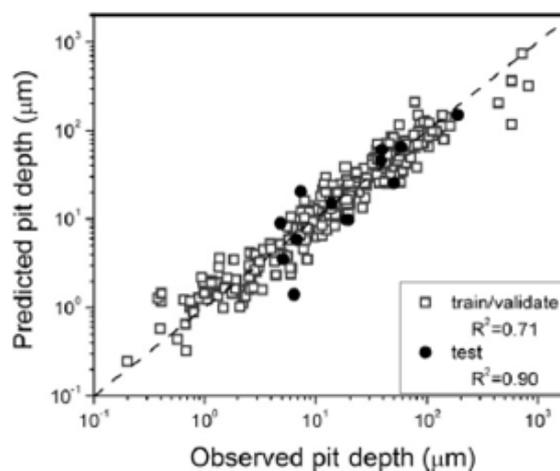


Рис. 3. Действительные максимальные глубины питтингов и рассчитанные ИНС максимальные глубины ложатся на одну прямую [5]

Временные уравнения роста питтингов были получены обученной ИНС: кинетика $t^{1/4}$ была характерна для щелочных сред и для повышенных температур, а кинетика $t^{1/2}$ была свойственна для кислых сред и для пониженных температур, однако для многих промежуточных значений pH и температур кинетика была $t^{1/3}$. Показатель степени от 0,3 до 0,5 для большинства сред соответствовал литературным данным [6,7]. Кроме того, выявленные закономерности кинетики роста питтингов в литературе и результаты предсказаний нейронной сети по величинам степени b делают ей доверие, несмотря на интерполяционный ее характер.

В работе [8] проводились анализы электрохимического шума с использованием временной и частотной зависимостей и статистических параметров потенциала и значений тока, полученные на нержавеющей стали AISI 316 в процессе питтинговой коррозии в деаэрированном 0,5 М растворе NaCl и в процессе коррозионного растрескивания под напряжением в кипящем подкисленном растворе NaCl. Визуальные наблюдения и статистические анализы значений спектрального оценивания тока и потенциала, использующего метод максимальной энтропии, дали полезную информацию на установление различия между этими коррозионными процессами и на влияние напряжения на усиление питтинговой коррозии. Результаты хорошо согласовывались с оптическими микроскопическими наблюдениями.

Исследователи [9] изучали трехмерную питтинговую коррозию, инициированную на включениях MnS стали A537 при циклических нагрузках. При этом использовали софокусный сканирующий лазерный микроскоп с элементным анализом. Ими установлено, что при циклических механических нагрузках питтинги растут анизотропно, т. е. скорости растворения стенок питтинга и дна различаются. Существенно более высокая скорость роста была обнаружена в перпендикулярном направлении оси нагрузок. Конечный элементный анализ указывает на то, что локальная продольная нагрузка играет важную роль на рост питтинга. Кинетика роста питтинга вширь доминировала в продольном направлении. Слияние питтингов в дальнейшем увеличивает скорость роста питтингов, как и предсказывалось методом конечного анализа.

Объектом исследования [9] служила горячекатаная плита из стали A537, которая используется для изготовления нефтяной платформы. Химический состав стали, масс. %: 0,13 C; 1,48 Mn; 0,46 Si; 0,012 P; 0,005 S; 0,04 Cr; 0,19 Ni; 0,05 V; 0,17 Cu; 0,016 Mo, остальное железо. Матрица стали состоит из ферритно-перлитной структуры, полученной при прокатке и коротких поперечных перемещениях, включающей в большом количестве включения MnS в феррите. Статистика измерений показала, что размеры включений MnS в длину составила $27,1 \pm 16,4$ мкм, в ширину — $2,3 \pm 0,8$ мкм с объемной фракцией $0,24 \pm 0,11$ % [9].

Испытания на растяжение проводили на универсальной испытательной машине (Shimadzu, модели AG-100KNG) при номинальной скорости деформации $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ при комнатной температуре на трех прямоугольных стандартных образцах по направлению прокатки оси нагрузки. Во время испытаний на растяжение деформация записывалась тензосметром. Механические свойства были следующие: предел текучести 303 ± 3 МПа, прочность на растяжение 513 ± 1 МПа, относительное удлинение 33 ± 1 %, модуль Юнга (E) 206 ± 5 ГПа [9].

Образцы гантельной формы с калибровочными размерами длиной и шириной соответственно 15 и 6 мм, и толщиной 6 мм были использованы для тестов на усталостную коррозию. Осевая нагрузка была вдоль направления прокатки. Все образцы были отполированы сначала наждачной бумагой с зёрнами карбида кремния, затем алмазной пастой на полировочной машине. Коррозионные усталостные испытания проводили на установке Shimadzu, модели ENF-EAS с генератором синусоидальных колебаний с частотой 1 Гц с отношением напряжений 0 при комнатной температуре 20–25 °С. Серия усталостных испытаний проводилась при различных количествах циклов (1×10^4 , 4×10^4 , 7×10^4 , 1×10^5 , 2×10^5) при напряжении 140 МПа. Было установлено, что коррозионная усталость до разрушения составляла примерно 1×10^6 циклов. Не было коррозионных трещин в питтингах вплоть до 2×10^5 циклов, как установлено растровой электронной микроскопией. Поэтому это количество циклов являлось идеальным для исследования влияния циклических напряжений на рост питтингов [9]. Схема установки испытаний на коррозионную усталость представлена на рис. 4.

Из резервуара раствор 3,5 % NaCl со скоростью 20 мл/мин центробежным насосом нагнетался через нижний штуцер в сосуд с образцом, при этом жидкость контактировала с площадкой 1 см^2 (остальная поверхность изолировалась силиконовым клеем) узкой части испытуемого образца. Через верхний штуцер жидкость самотеком поступала обратно в резервуар.

После коррозионных испытаний продукты коррозии удаляли раствором этилендиаминотетрауксусной кислотой (готовили 200 мл 1,5 % -ный раствор). Раствор не растворял матрицу и включения MnS.

Морфологию питтингов изучали в продольно-поперечном направлении конфокальным сканирующим лазерным микроскопом (OLYMPUS LEXT OLS3000). Тестировалось более 40 окрестностей вокруг включений MnS. На рис. 5 представлена картина поверхности, на которой форма питтингов была нерегулярной. Поэтому 3D — измерения (длина, ширина и глубина) обчисывалась программным обеспечением, установленном на OLYMPUS LEXT OLS3000. В случае слияния питтингов их рассматривали как один питтинг.

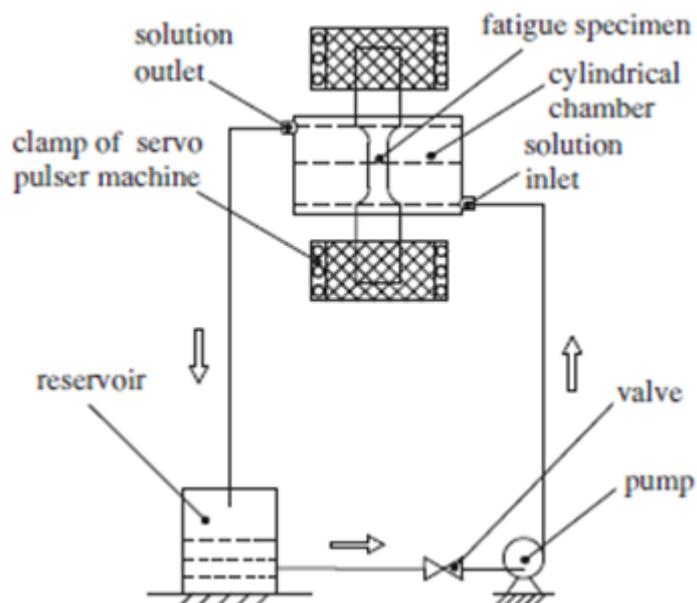


Рис. 4. Схема установки для испытаний на коррозионную усталость

Установлено, что из всех направлений рост в глубину оказался наименьшим после 200 кс испытаний без циклических нагрузок. В условиях циклических нагрузок рост питтинга ускоряется как в ширину, так и в глубину, но со значительным ускорением в ширину. Имеется незначительный рост скорости в длину для циклически напряженных образцов после 100 кс. Явление, по-видимому, связано со слиянием питтингов.

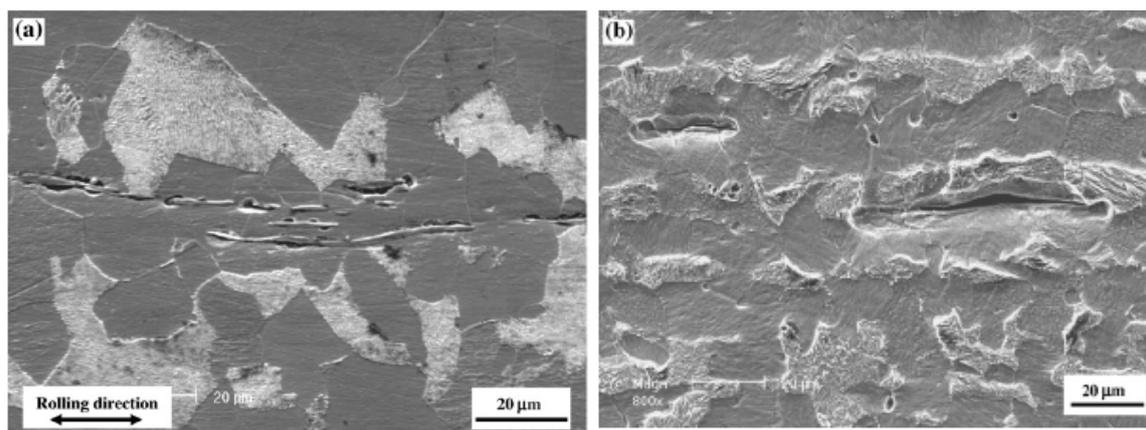


Рис. 5. (а) Поверхность до коррозионных испытаний; (б) питтинги, инициированные после испытаний в растворе 3,5 % NaCl без приложения напряжений

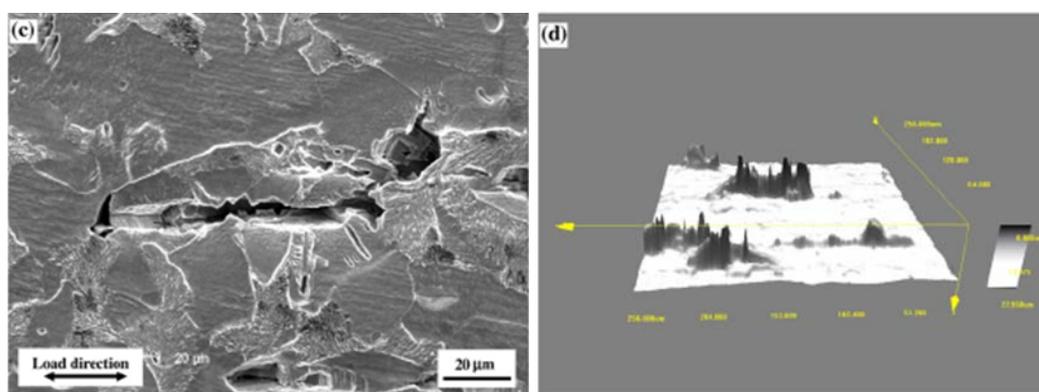


Рис. 5. (с) Питтинги, инициированные после циклических напряжений; (d) 3D — питтинги, снятые софокусным сканирующим микроскопом, обратная картинка с Z фактором 1,5

Кинетику роста питтинга в 3D направлении можно представить в виде уравнения [9]:

$$f(t) = a + bt^n \quad (6)$$

где $f(t)$ представляет ширину, длину и глубину питтингов, a , b , n экспериментальные константы. Константа a представляет инициативный размер питтинга, возникший на включении MnS. Результаты расчетов кинетических параметров [9] представлены в табл.2.

Таблица 2

Сравнение кинетических данных 3D размеров питтингов, полученных без циклических нагрузок и с ними.

3D размер	Амплитуда напряжений, МПа	a , мкм	b , мкм·с ⁻ⁿ	n	R ²
Ширина	0	3,6±2,7	0,20	0,32±0,14	0,981
	140	7,5±0,2	1,3·10 ⁻⁵	1,15±0,05	0,998
Длина	0	20,4±4,9	0,84	0,28±0,11	0,993
	140	31±1,4	3,9·10 ⁻³	0,72±0,10	0,991
Глубина	0	3,4±0,26	2,0·10 ⁻⁴	0,76±0,23	0,948
	140	4,3±0,8	1,7·10 ⁻³	0,68±0,19	0,963

Показано, что константа “ a ” для ширины питтинга была больше, чем усредненный размер включения (т. е. 2,3 мкм). Это объяснено авторами [9] наличием трещины между включением MnS и матрицей (рис. 5(a)). Относительно большие различия, которые найдены для рассчитанной «оригинальной длины» подтверждают, что оригинальная длина питтингов варьируется на различных образцах.

Рассчитанная экспонента n роста питтинга в ширину увеличивалась от 0,32 до 1,15, когда была приложена циклическая нагрузка. Можно сделать сравнение данных табл. 2 и уравнения (6) скорости роста питтинга для образцов, испытанных без напряжений и с напряжением. Например, для после испытаний продолжительностью 200 кс скорости роста в ширину были 16 и 93 пм/с соответственно без нагрузки и с нагрузкой. Результаты свидетельствуют, что скорость роста в ширину может значительно ускоряться при воздействии циклических нагрузок.

В общем, циклические нагрузки усиливают скорость роста питтингов. Питтинги, инициированные на включениях MnS, продемонстрировали анизотропное поведение роста. Скорости роста питтингов в ширину и глубину после воздействия циклических нагрузок были выше, чем скорость роста в длину. Чтобы понять этот феномен рассчитывали методом анализа конечных элементов напряжения вокруг питтингов и их распределение.

Локальные напряжения и распределение напряжений одиночного полуэллипсоидного питтинга были промоделированы методом конечных элементов. Выбраны граничные условия, при которых движение левой стороны модели питтинга фиксировалось вдоль направления x , в то время как движения вдоль направлений y и z были свободными, как показано на рис. 6а. Одноосное растягивающее напряжение 280 МПа (нагрузка от 0 до 280 МПа колебаний с синусоидной волной) была приложена к правой стороне модели. Направление нагрузки было параллельно длинной оси полуэллипсоидного питтинга (направление x на рис. 6а). В соответствии со статистическими результатами типичные длина, ширина и глубина питтингов были 45, 15 и 7,5 мкм соответственно. 3D усредненные напряжения отдельного полуэллипсоидного питтинга показано на рис. 6.

Авторы [10] для изучения процессов ПК сталей 304 и 904L применили метод электрохимической высокочастотной модуляции (ЭВЧМ). Метод заключается в наложении к анодному процессу ПК сигналов возмущения, состоящих из синусоидальных колебаний. Поясняющая схема приведена на рис.7. На корродирующую поверхность подается потенциал, который вырабатывает соответствующий ток (величина тока есть функция потенциала). На нижнем снимке потенциал возмущения состоит из двух синусоидальных волн, наложенных методом ЭВЧМ. В ответ будут получены дополнительные и более высокие частоты, являющиеся нелинейными из-за явлений, протекающие при питтингообразовании. Производится математический анализ токовых сигналов по соответствующим уравнениям для расчета тока коррозии тафелевых наклонов.

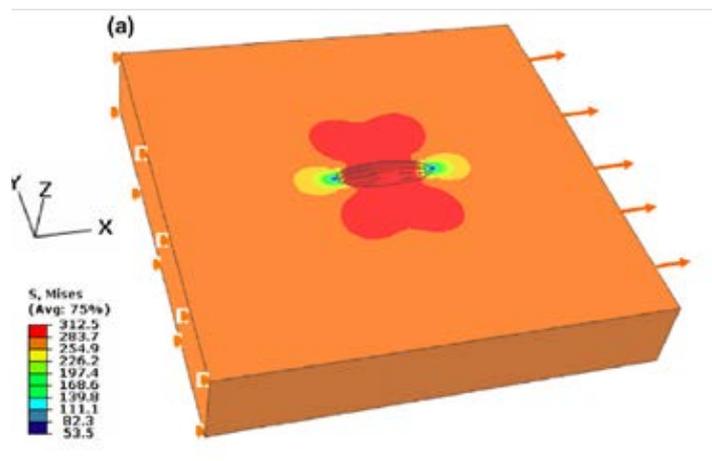


Рис. 6. 3D зоны напряжений вокруг единичного полуэллиптического питтинга (длиной 45 мкм, шириной 15 мкм и глубиной 7,5 мкм). Направление деформации показано стрелками. Зона концентраций согласованных напряжений направлена по оси x. Цветовая гамма с цифрами напряжений приведена слева от рисунка

Соответствующая математическая модель разрабатывалась, чтобы изучить реакцию на возмущение при потенциалах ниже и выше потенциодинамического потенциала питтингообразования. Ставилась цель быстрого нахождения области нелинейного изменения тока с потенциалом. Ток как функция потенциала может определяться по уравнению (7).

$$i = \left[i_{corr} + K_2 \cdot \exp[K_3(E - E_{pit})] - i_{corr} \cdot \exp\left[-\frac{E - E_{corr}}{b_c}\right] \cdot \ln(10) \right], \quad (7)$$

где i_{corr} — ток коррозии, K_2 и K_3 — параметры, ассоциируемые с ПК, b_c — катодный тафелевский наклон. Здесь E , E_{corr} , E_{pit} — соответствующие приложенный потенциал, потенциал коррозии и потенциал питтингообразования. Параметры K_2 и K_3 ассоциируются с ПК и их значения выбираются по уравнению (7) для представления стремительного роста тока с потенциалом, происходящего при инициировании питтинга.

В ЭВЧМ технике авторы [10] применяли возмущающий сигнал потенциала, состоящий из двух синусоидальных волн, как показано ниже

$$E = E_{dc} + \left(U_o \cdot \sin\left(f_1 \cdot 2\pi \cdot \frac{n}{128}\right) \right) + U_o \cdot \sin\left(f_2 \cdot 2\pi \cdot \frac{n}{128}\right), \quad (8)$$

где U_o — амплитуда потенциала возмущения, f_1 и f_2 — частоты возмущения в Гц и E_{dc} — потенциал двойного слоя. Подстановка уравнения (8) в уравнение (7) дает ток во временной области, который может быть затем преобразован в частотной области. Для определения теоретических значений факторов причин ниже потенциала питтингообразования и вблизи потенциала ПО, были выбраны параметры, приведенные в таблице 3.

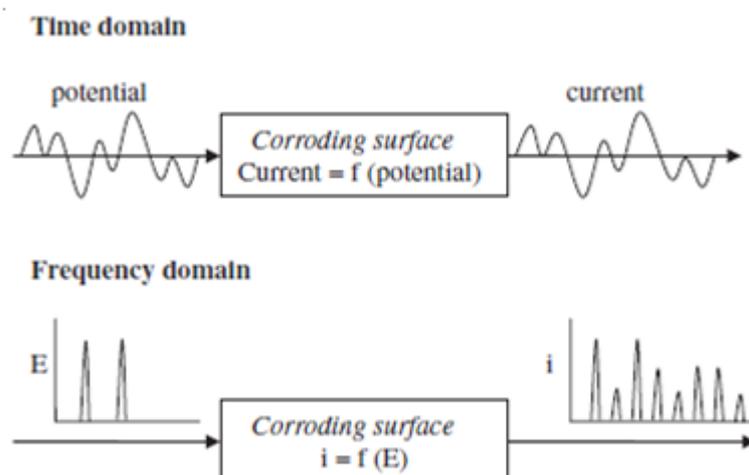


Рис. 7. Верхняя часть временной домен тока как функции потенциала; нижняя часть — частотный домен

Коррозионные параметры, показывающие свои соответствующие входные значения для симуляции цепи

Параметр	Характеристика	Входные значения
i_{cor}	Ток коррозии	1 мкА
E_{pit}	Потенциал питтингообразования	0,4 В
K_2	Питтинговый параметр	1 мкА
K_3	Нелинейный параметр	92 мВ ⁻¹
U_0	Амплитуда потенциала	10 мВ
b_c	Катодный тафелевский наклон	120 мВ на декаду
E_{corr}	Потенциал коррозии	0 В
f_1	Первая частота	2 Гц
f_2	Вторая частота	5 Гц
E_{dl}	Потенциал двойного слоя	-0,3, -0,2.....0,6

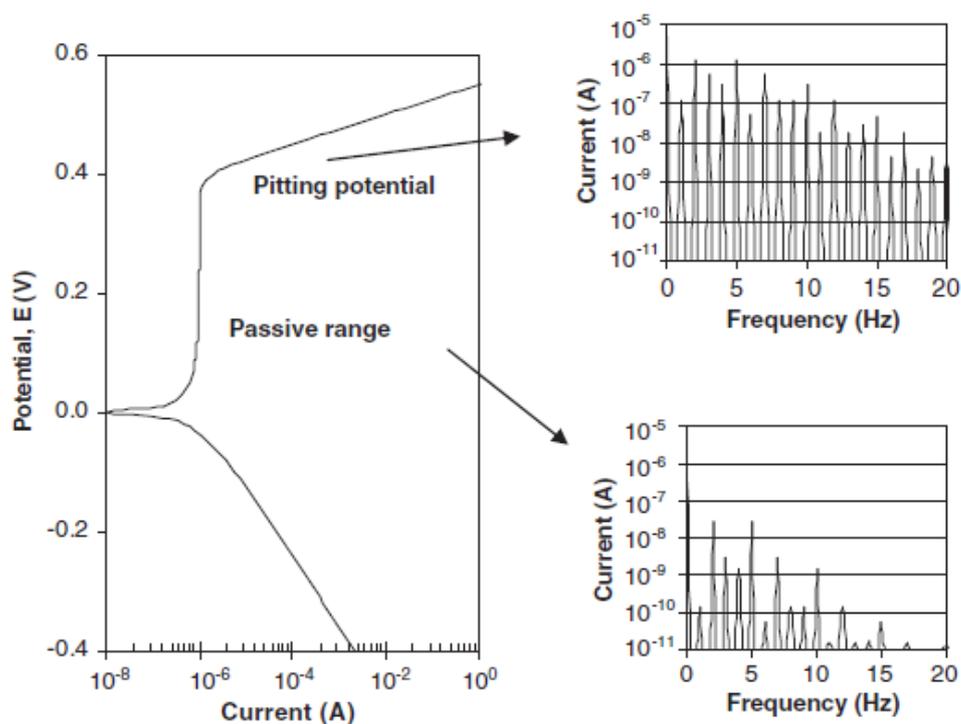


Рис. 8. Поляризационная кривая. Различные нелинейные изменения тока в области роста питтингов и в пассивной области. Потенциал коррозии равен 0 В, а потенциал питтингообразования равен 0,4 В

Видно, что токовые компоненты в области питтинговой коррозии существенно выше, чем токи в пассивной области.

Принимая во внимание данные, полученные с помощью современных методов изучения питтинговой коррозии, можно сделать соответствующие выводы:

1. Метод нейронносетового моделирования позволил выяснить наиболее влиятельные на рост глубины питтингов во время циклических нагрузок входные параметры. Для изучения процесса также использовался метод оптической профилометрии

2. В ходе исследования [9] установлен анизотропный характер роста питтингов при циклических механических нагрузках. В период приложения нагрузки, экспонента n роста питтингов в ширину возрастала более чем в 2 раза, что свидетельствует о воздействии циклической нагрузки на скорость роста в ширину

3. При приложении одноосного растягивающего напряжения к полу-эллипсообразному питтингу, напряжения, возникающие перпендикулярно оси растяжения, превышают значение приложенной нагрузки, увеличивая скорость роста ПК в ширину и глубину

4. Метод электрохимической высокочастотной модуляции позволяет отследить инициирование роста питтинга, в связи со стремительным ростом силы тока и потенциала в этот период.

Литература:

1. Колотыркин, Я. М. Металл и коррозия. М.: Металлургия, 1985. — 88 с.
2. Розенфельд, И. Л. Ингибиторы коррозии. Монография. — М.: Химия, 1977. — 352 с.: ил.
3. Томашов, Н. Д. Коррозия металлов с кислородной деполяризацией. Учебник: — М., Л.: Издательство АН СССР, 1947. — 250 с.
4. Розенфельд, И. Л. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов (теория и практика)/ И. Л. Розенфельд, К. А. Жигалова. М.: Металлургия, 1966. — 348 с.
5. Modeling the environmental dependence of pit growth using neural network approaches/ M. K. Cavanaugh, R. G. Buchheit, N. Birbilis//Corrosion Science, Vol. 52 (2010), p. 3070–3077.
6. Pitting corrosion of aluminium/ Z. Szklarska-Smialowska// Corrosion Science, Vol. 41 (1999), p. 1743–1767.
7. A simplified method for estimating corrosion cavity growth rates/ G Engelhardt, M Urquidi-Macdonald, DD Macdonald// Corrosion Science, Vol. 39 (1997), p. 419–441.
8. Assessment of stress corrosion crack initiation and propagation in AISI type 316 stainless steel by electrochemical noise technique/ T. Anita, M. G. Pujar, H. Shaikh, R. K. Dayal, H. S. Khatak// Corrosion Science, Vol. 48, Issue 9, September 2006, p. 2689–2710.
9. Anisotropic 3D growth of corrosion pits initiated at MnS inclusions for A537 steel during corrosion fatigue/ Jin Ma, Bo Zhang, Jianqiu Wang, Guozhen Wang, En-Hou Han, Wei Ke //Corrosion Science, Vol. 52 (2010), p. 2867–2877.
10. Evolution of current transients and morphology of metastable and stable pitting on stainless steel near the critical pitting temperature/ M. H. Moayed, R. C. Newman// Corrosion Science, Vol. 48, Issue 4, April 2006, p. 1004–1018.

СТРОИТЕЛЬСТВО

Динамика работы привода виброформовочной установки

Чашин Денис Вячеславович, магистр
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

При вертикальном способе формования строительных изделий применяется установка в виде конвейерной схемы с движением кассеты через бункер со смесью сверху вниз.

Можно считать, что при постоянной амплитуде колебаний вибровозбудителя силы вязкого сопротивления цементного теста растут пропорционально скорости, т. е. пропорционально частоте колебаний, а инерционные силы увеличиваются пропорционально квадрату частоты колебаний. Таким образом, абсолютные перемещения более мелких частиц уменьшаются с увеличением частоты колебаний, а это в совокупности с фазовыми сдвигами приводит к росту их проскальзывания относительно окружающей среды. Этим объясняется целесообразность повышения частоты колебаний при формовании смесей с мелким наполнителем. При уменьшении силы сцепления частиц при вибрировании их силы тяжести оказываются достаточными для преодоления сил трения, т. е. происходит уменьшение кажущегося коэффициента трения.

Виброформование строительной смеси осуществляется при подъеме рабочей кассеты виброформовочной установки грузоподъемником. Грузоподъемник установлен в нижней части рамы формовочной установки. Сверху через амортизирующие элемент на раме закреплён бункер для строительной смеси.

Процесс виброформования состоит из:

- вертикального выдвигания штока гидроцилиндра с рабочей кассетой в режиме вибрирования строительной смеси в бункере установки;
- опускания рабочей кассеты с «сота́ми», заполненными строительной смесью, из бункера вниз.

При движении через строительную смесь кассета преодолевает сопротивление смеси, которое уменьшается под воздействием вибрационной среды, создаваемой вибратором установки. Под воздействием вибрации изменяется не только видимый, но и действительный коэффициент трения вследствие происходящих физико-механических процессов, например, из-за выделения жидкой фазы на трущихся поверхностях кассеты. С помощью вибрации осуществляется передвижение строительной смеси в направлении движения кассеты, а также заполнение «сот» кассеты строительной смесью.

Направленное передвижение строительной смеси способствует улучшению движения рабочей кассеты при её извлечении из бункера со смесью. Извлеченная кассета поворачивается из вертикального положения в горизонтальное вторым гидроцилиндром. На конструкцию оборудования воздействует колебательный процесс работы вибратора.

Для уменьшения степени воздействия вибрации рама формовочной установки соединена с бункером через амортизирующие элементы.

Подъем кассеты через бетонную смесь цилиндром грузоподъемника обеспечивается при соблюдении условия:

$$P_{\Gamma} \geq W \quad (1)$$

Уравнение движения этой системы имеет вид

$$P_{\Gamma} - mg - P_{\nu} - P_{\text{д}} = m \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad (2)$$

Жесткость C_{ν} определяется:

$$C_{\nu} = P_{\nu C} + C(Z_1 - Z), \quad (3)$$

где $P_{\nu C}$ — сила упругости системы до начала вибрирования.

$$P_{\nu C} = m g, \quad (4)$$

Сила от действия демпфера при заполнении «сот» кассеты

$$P_{\text{д}} = \rho_{\text{д}} F_{\text{д}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{д}}$ — рабочая площадь демпфера; $\rho_{\text{д}}$ — перепад давления в полостях бункера и «сот» кассеты.

Расход смеси при заполнении «сот» пропорционален давлению

$$Q_{\text{с}} = K_{\text{с}} \rho_{\text{д}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{с}}$ — проводимость отверстий «сот».

Следовательно перепад давления

$$\rho_d = (F_d / K_c) / (dz / dt). \quad (7)$$

Сила от действия демпфера

$$P_d = (F_d^2 / K_c) / (dz / dt). \quad (8)$$

Заполнение кассеты осуществляется при включении вибратора. В зависимости от интенсивности воздействия колебаний система может рассматриваться как колебательное звено второго порядка.

Математическая модель описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} (m_0 + \rho \mathcal{G}) \ddot{x} + b_2 \dot{x} + c_2 x = m_g R \omega^2 \sin \omega t \sin \gamma; \\ (m_0 + \rho \mathcal{G}) \ddot{y} + c_1 y - (m_0 + \rho \mathcal{G}) = m_g R \omega^2 \sin \omega t \cos \gamma, \end{cases} \quad (9)$$

где m_0 — масса колебательной системы; ρ — плотность арболитовой смеси; x, \dot{x}, \ddot{x} — перемещение, скорость и ускорение системы соответственно; b_2 — вязкость арболитовой смеси; c_2 — жесткость бункера; c_1 — жесткость амортизатора; g — ускорение свободного падения; m_g — масса дебаланса вибратора; R — радиус эксцентриситета; ω — частота вращения дебаланса; t — время работы; γ — угол наклона стенки бункера.

Установившиеся вынужденные колебания системы описываются частными интегралами исходных уравнений:

$$\begin{cases} x = x_a \cos(\omega t - \varphi_x) \\ y = y_a \sin(\omega t - \varphi_y) \end{cases}, \quad (10)$$

где x_a и y_a — амплитудные значения перемещений; φ — угол сдвига фаз между вынужденными колебаниями и вынуждающей силой.

Продифференцировав дважды уравнения вынужденных колебаний по времени, и подставив полученные значения $\ddot{x}, \ddot{y}, \dot{x}, \dot{y}, x, y$ получим:

$$\begin{cases} x_a = \frac{m_g \omega^2 R / \cos \gamma}{\sqrt{[c_2 - (m_0 + \rho v) \omega^2]^2 - (b_2 \omega)^2}}; \\ y_a = \frac{m_g \omega^2 R / \cos(90 - \gamma)}{\sqrt{[c_1 - (m_0 + \rho v) \omega^2]^2}}. \end{cases} \quad (11)$$

Скорость колебаний:

$$\begin{cases} \dot{x} = x_a \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi\right) \\ \dot{y} = y_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi\right) \end{cases} \quad (12)$$

Ускорение системы:

$$\begin{cases} \ddot{x} = x_a \omega^2 \cos(\omega t + \pi + \varphi) \\ \ddot{y} = y_a \omega^2 \sin(\omega t + \pi + \varphi) \end{cases} \quad (13)$$

Математическая модель описывает процесс пока смесь не достигнет максимальной плотности

$$0 < \rho < \rho_{\max}; \quad (14)$$

Из этого можно сделать следующие выводы. Полученные зависимости влияния на усилие гидроцилиндра вязкости и кажущегося коэффициента трения шихты строительной смеси под воздействием вынуждающей силы вибровозбудителя. Зависимости влияния на колебательный процесс виброформовочной машины жесткости упругих связей конструкции, вязкости и упругости шихты строительной смеси а также времени вибрирования. Реализация аналитических зависимостей колебательного процесса виброформовочного оборудования показала, что виброускорения и амплитуда колебаний бункера уменьшаются с увеличением плотности шихты и жесткости амортизатора при времени вибрирования до 200с. С увеличением времени вибрирования с 200 до 300 с амплитуда колебаний снижаемся на 10 %, ускорения увеличиваются не превышая нормативных значений.

Динамическое состояние виброформовочного оборудования характеризуется направленностью вибрационного воздействия вынуждающего усилия вибратора относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей в зависимости от угла наклона стенок бункера. Для получения коэффициента передачи нагрузки на подъемный механизм меньше единицы требуется выполнение угла наклона стенок бункера в пределах 25 – 35 град.

Литература:

1. Емельянов, Р.Т. Исследование процесса вибрационного формования инженерного обустройства автомобильных дорог. Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, Е.С. Турышева, П.А. Постоев. Строительные и дорожные машины, 2010, № 10. с. 44–48 [Emelyanov, R. T. a Study of the process of vibration molding engineering arrangement of roads. R.T. Emelyanov, A.P. Prokop»ev, E. S. Turyshev, P.A. Billeting. Construction and road machines, 2010, № 10. S. 44–48 (in Russian)]
2. Емельянов, Р.Т. Формование строительных изделий конвейерной системой VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского 2012 [Emelyanov R. T. Molding construction products, conveyor system VIII all-Russian scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 155th anniversary of the birth of K. E. Tsiolkovsky, 2012. (in Russian)]
3. Перегудов, В.В. Теплотехника и теплотехническое оборудование: Учеб. для техникумов. В.В. Перегудов; под ред. Н.Ф. Еремина. М.: Стройиздат, 1983. [Peregudov V.V. Heat engineering and heat engineering equipment: Proc. for technical schools. Peregudov V.V.; ed. F. Eremina. M.: Stroyizdat, 1983. (in Russian)]
4. Медведько, С.В. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Проектирование предприятий по производству строительных материалов, изделий и конструкций», ВолгГАСА. — Волгоград, 2000. [Medvedko S. V. Methodical instructions to the course project on discipline «Designing of enterprises producing construction materials, products and structures»]. — Volgograd, 2000. (in Russian)]

ТРАНСПОРТ

Увеличение емкости железнодорожных путей в пунктах взаимодействия видов транспорта при организации мультимодальных перевозок

Бурдяк Павел Станиславович, кандидат технических наук, доцент
Сибирский государственный университет путей сообщения (г. Новосибирск)

В статье рассматривается вариант увеличения емкости приемо-отправочных парков железнодорожных станций за счет применения современных систем автоматики.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, мультимодальные перевозки, системы автоматики

Обработка вагонопотока в пунктах взаимодействия видов транспорта характеризуется в первую очередь влиянием на этот процесс внешних факторов, таких как неравномерность поступления и отправления грузов, снижение пропускной и перерабатывающей способности ввиду появления сбоев в работе (заторы, загрузка отдельных элементов), несвоевременная уборка вагонов с территории пункта, с которыми закончился цикл обработки.

Всплески неравномерности в поступлении и отправлении вагонов гасятся в основном на путях пунктов взаимодействия видов транспорта. Основную роль в этом процессе играют существующие буферы в виде железнодорожной инфраструктуры на которой может размещаться подвижной состав или склады для временного размещения грузов. Непогашенная неравномерность приводит к нарушению технологии обслуживания пункта и поэтому должна выравняться, как перед обработкой на пункте взаимодействия, так и после. Погашение неравномерности — важное условие устойчивого взаимодействия магистрального и промышленного транспорта. Увеличение объемов переработки вагонопотока характеризуется и увеличением размера буфера.

В ряде случаев при увеличении объемов работы пункта возникает вопрос о размещении дополнительных путей или целых парков для освоения перевозок. Необходимость увеличения емкости путей парков сопровождается использованием дополнительных территорий. В ряде случаев такие решения не могут быть реализованы ввиду существующей застройки прилегающих территорий. Одним из выходов в данной ситуации может быть пересмотр технического оснащения или технологии работы с составами поездов. При этом расположение путей в парках можно изменить за счет исключения выполнения технических операций с вагонами, либо внедрение современных систем автоматики (компьютерное зрение, автоматическое управление локомотивами и т. д.).

Внедрение передовой автоматики это мировой вектор развития терминалов, поэтому проектирование инфраструктуры пунктов взаимодействия с учетом перспективных потоков является рациональным решением.

Увеличение емкости путей парков предлагается достичь за счет применения минимально допустимых нормативов междупутного расстояния.

Внедрение техники и технологий, исключая участие людей, неизбежно приведет к разработке новых норм проектирования железнодорожной инфраструктуры. На железнодорожной станции устройства, такие как железнодорожный путь, системы сигнализации и т. д. располагаются определенным образом с учетом безопасности выполнения работ и требований охраны труда.

Новые технологии ставят под вопрос необходимость устройств, предназначенных исключительно для людей, например светофоры и предельные столбики, одним из применений которых является обозначение безопасного места расположения подвижного состава на путях. Исключение предельных столбиков и замена светофоров на малогабаритные датчики приведет к освобождению междупутья от элементов, которые увеличивают ширину минимального междупутья для соблюдения габарита приближения строений.

Стандартное значение междупутья в приемо-отправочном парке железнодорожной станции составляет 5300 мм [1, стр. 96]. Данное значение продиктовано размещением мачтового выходного светофора в междупутье с соблюдением габарита приближения строений. Исключение данного элемента из конструкции приемо-отправочного парка и переход к малогабаритным датчикам позволит уменьшить междупутное расстояние до следующих величин:

- при выполнении маневровой работы составительской бригадой до расстояния 4370 мм (рисунок 1);
- при выполнении работы по техническому обслуживанию подвижного состава до расстояния 4500 мм (рисунок 2).

Если рассматривать системы, оснащенные компьютерным зрением, то реализация дистанционного осмотра составов при использовании стационарных систем осмотра подвижного состава в движении или беспилотных летательных аппаратов позволит уменьшить величину междупутья до величины 4370 мм (по условию выполнения маневровой работы по отцепке неисправного вагона). Для таких условий сокращение площадки для устройства парка путей составит 930 мм на один путь.

Для стандартной секции путей парка состоящей из 4–5 путей появляется возможность укладки дополнительного пути. При этом ширина площадки для размещения путей составит 17480–21850 мм.

При размещении путей внутри складских помещений терминального комплекса применение минимально допустимого значения междупутья особенно актуально так как такие пути имеют еще большие ограничения для проектирования инфраструктуры.

Достоинством и предпосылкой к переходу к новым устройствам является возможность укладки большего числа путей на существующем земляном полотне, а соответственно и увеличение емкости путей парка.

Данные изменения в конструкции путей в пунктах взаимодействия видов транспорта не противоречат, а даже способствуют активному внедрению разработок, направленных на совершенствование систем, особенно тех которыми не обладает железнодорожный транспорт.

Одним из актуальных примеров является внедрение «умных локомотивов», систем автоматики и систем компьютерного зрения. Данные технологии позволяют уже сегодня реализовать ведение поездов без машинистов и проектировать масштабные проекты новых железнодорожных линий [2], производить осмотр подвижного состава [3] и выполнять маневровую работу с грузовыми вагонами. Вмешательство людей в процесс снижается до уровня автоматического управления системой.

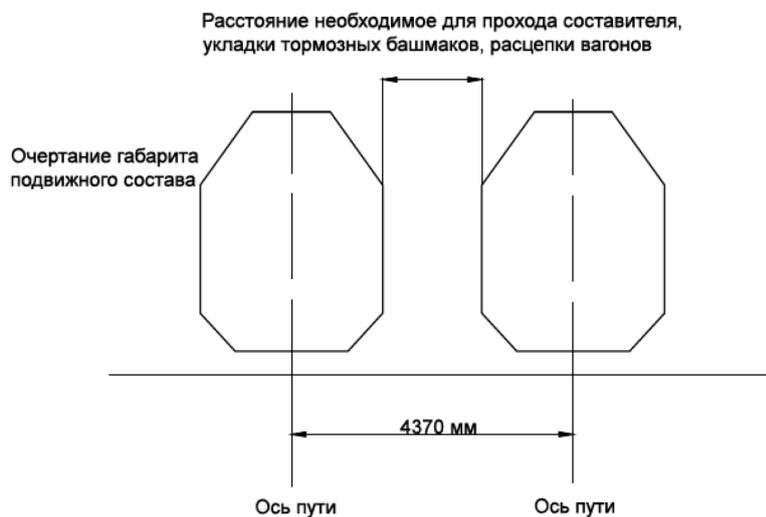


Рис. 1. Минимальное междупутье для выполнения маневровых операций и выполнения технического обслуживания подвижного состава

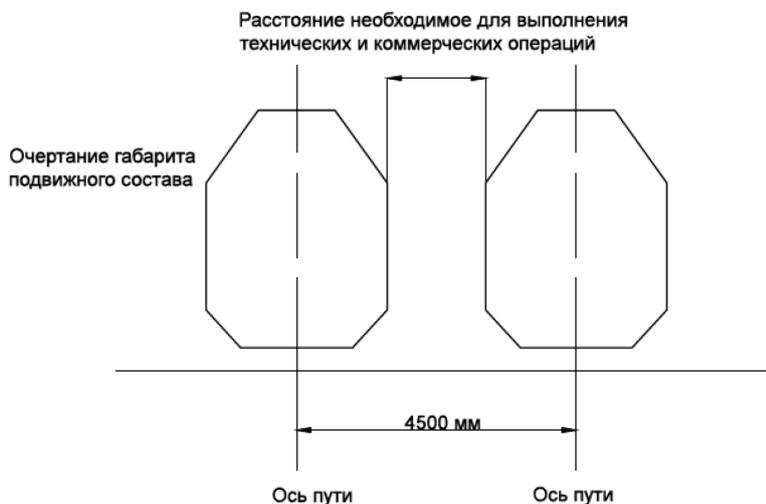


Рис. 2. Минимальное междупутье для выполнения маневровых операций и выполнения технического обслуживания подвижного состава

В сфере грузовых перевозок также предпринимаются попытки реализовать технологию выполнения маневровой работы на станциях. Реализация маневровой работы без участия машиниста и/или без составителя поездов приведет к ряду изменений в необходимом наборе элементов железнодорожной станции. Например, светофоры предназначенные для передачи сигналов потеряют свое предназначение. В кабине машиниста или на первом вагоне не будет работника, отвечающего за управление маневровым составом. Заменой светофору должно стать напольное оборудование, выполняющее функцию светофора и предельного столбика [4, стр. 34]. Данное оборудование позволит своевременно и более

точно передавать информацию на локомотив при любых метеоусловиях. Однако при отказе в работе напольное оборудование (датчики) значительно затруднит работу по формированию плана маневровой работы, определению границ маневровых полурейсов, точности установки подвижного состава без видимых ориентиров, которыми на сегодняшний день являются предельные столбики.

Исключение предельных столбиков, светофоров (поездных и маневровых) и переход на датчики позволит не только снизить затраты на содержание исключаемых элементов, содержание штата машинистов и составительских бригад, но и позволит рассмотреть вопросы изменения нормативных значений междупутий.

Литература:

1. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации: Железные дороги колеи 1520 мм: СТН Ц-01–95: утв. МПС РФ 25.09.95. — М.: МПС РФ, 1995. — 86 с.
2. Лондонский аэропорт Лутон проведет железную дорогу к терминалу // www.avianews.com. URL: http://www.avianews.com/world/2016/04/18_luton_railway.shtml.
3. Industrial Networks introduces rail automation drone // [gpsworld](http://gpsworld.com). URL: <http://gpsworld.com/industrial-networks-introduces-rail-automation-drone/>
4. Маневровая работа в условиях внедрения европейской системы управления движением поездов ETCS 2-го уровня. *Der Eisenbahningenieur*. — 2016. — № 1. — с. 34–37.

Использование цифровых спутниковых снимков при решении задач развития технического оснащения и технологии работы железнодорожных станций

Карасёв Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
Романов Вячеслав Алексеевич, кандидат технических наук, доцент
Сибирский государственный университет путей сообщения (г. Новосибирск)

При развитии инфраструктуры транспортных предприятий и изменении технологии работы особую роль играют вопросы технико-экономического обоснования вариантов их совершенствования. Учитывая тесную взаимосвязь конструктивных параметров путевого развития с технологией выполнения технических и грузовых операций [6], необходимо тщательным образом оценивать варианты переустройства и реконструкции станций на основе расчета приведенных затрат. Они должны включать в себя как капитальные вложения в развитие инфраструктуры, так и эксплуатационные расходы.

Как правило, на этапе предпроектного технико-экономического обоснования разрабатываются несколько вариантов переустройства, которые в дальнейшем сравниваются между собой с целью отбора наиболее рационального.

Оценка объема и стоимости работ по переустройству станции требует определения ряда характеристик путевого развития уже на этапе разработки принципиальных проектных решений. Это касается определения количества и вместимости укладываемых путей, их расположения, продольного и поперечного профилей, конструкции стрелочных горловин. Особое значение имеет анализ местных условий, к которым, в частности, можно

отнести наличие, размеры и конфигурацию имеющейся территории для развития инфраструктуры, расположение существующих и проектируемых капитальных зданий и сооружений, других объектов инфраструктуры.

При выполнении предпроектного обоснования необходимо стремиться к уменьшению затрат времени и трудоемкость сбора и обработки необходимых исходных данных. Идеальным материалом для разработки вариантов переустройства станции является актуальный топографический план, содержащий всю необходимую информацию. Однако его получение, даже с учетом появившихся в недавнее время возможностей цифровой съемки, является достаточно трудоемкой и дорогостоящей работой, требующей, кроме прочего, привлечения сторонней специализированной организации. При этом на этапе предпроектного обоснования вариантов столь точной детализации местных условий, как правило, не требуется.

При разработке вариантов совершенствования путевого развития станции необходимо рассмотреть ряд вопросов [3], связанных с конструкцией плана и профиля путей: укладка новых путей, переукладка существующих с изменением положения оси пути, удлинение путей, изменение конструкции стрелочных горловин и др.

Эти решения требуют, прежде всего, знания расстояний до ближайших зданий, сооружений, существующих путей для проверки соблюдения габаритов приближения строений и подвижного состава [2]. При разработке решений в отношении продольного и поперечного профилей, определении объемов земляных работ требуются отметки земли. Для их получения также может использоваться топографический план или схема с горизонталями.

Таким образом, для принятия принципиальных решений по вариантам переустройства станции требуются два вида информации: расстояния между различными объектами в плане, а также отметки земли. Важно отметить, что на предпроектном этапе требования к точности этих данных не столь строгие, как на этапе проектирования, поскольку сравнение вариантов в любом случае производится по укрупненным показателям.

Для получения необходимых данных, характеризующих местные условия станции или другого объекта (депо, грузового района и т. п.), предлагается технология, возможность применения которой в гражданских целях появилась относительно недавно [4]. Речь идет о спутниковых фотоизображениях местности, которые находят все более широкое применение в самых разных областях [5].

При хороших условиях съемки разрешения фотографий, полученных при помощи общедоступных сервисов [1], вполне достаточно для первичного анализа условий местности, определения ограничений развития станционной площадки контурными и высотными препятствиями.

Использование спутниковых фотографий на этапе разработки и анализа предпроектных решений, в частности, связанных с переустройством станций, имеет следующие немаловажные преимущества:

- экономия расходов по выполнению работ, связанных с анализом местных условий расположения объекта (за счет исключения на данном этапе необходимости выполнения дорогостоящей топографической съемки, с выездом специалистов на объект);
- сокращение времени разработки предпроектных решений;
- повышение качества разработки решений за счет более полного и объективного учета ограничивающих факторов.

Технология использования цифровых спутниковых снимков для разработки и сравнения предпроектных решений по развитию железнодорожных станций может быть реализована в несколько этапов:

1. Создание масштабной цифровой подложки для отображения путевого развития станции.
2. Восстановление плана существующего путевого развития в масштабе.
3. Накладка на подложку вариантов развития станции.
4. Корректировка вариантов переустройства или реконструкции с учетом местных условий.
5. Анализ и отбор вариантов для выполнения технико-экономических расчетов по их сравнению.

Далее рассмотрен пример реализации предлагаемой технологии применительно к грузовой станции необщего пользования «К».

Станция «К» по основному назначению и характеру работы является грузовой, по объему выполняемой работы отнесена к I классу. Путевое развитие станции состоит из 10 путей, на которых выполняются следующие операции: прием и отправление местных грузовых поездов, пропуск транзитных грузовых и пассажирских поездов, формирование и расформирование поездов, подготовка вагонов под погрузку угля и др.

К станции «К» примыкает железнодорожный путь необщего пользования (ПНОП) ОАО «М», состоящий из нескольких углепогрузочных станций. Среднесуточный объем погрузки угля на ст. «К» составляет порядка 400 вагонов в сутки. В основном уголь отправляется маршрутами установленного веса или длины в соответствии с действующим планом формирования грузовых поездов.

Погрузка угля в вагоны на грузовых фронтах ст. «П» производится бункерным способом с последующим взвешиванием на вагонных весах.

По существующей технологии порожние вагоны подают на пункты погрузки со станционных путей ст. «П» через вытяжные пути 18, 20, 21, имеющие максимальный уклон (подъем) до 12‰. Это влечет за собой потерю времени (не менее 15 мин) на зарядку тормозной магистрали маневрового локомотива при подаче вагонов с западной стороны. Наличие тупиковых упоров на погрузочных путях не позволяет использовать маневровый локомотив со стороны восточной горловины станции.

Передвижение вагонов в процессе погрузки осуществляется электротолкателями. Из-за ограничения мощности толкателя (максимальное количество вагонов в подаче не должна превышать 17) полная вместимость погрузочных путей не используется. Недостатки в технической оснащённости не позволяют увеличивать объем погрузки.

В проекте реконструкции предполагается:

- 1) удлинение погрузочных путей с последующим соединением их в стрелочные улицы, дающие возможность осуществлять подачу и уборку вагонов как с западной, так и с восточной стороны станции. Для устройства дополнительного путевого развития со стороны тупиковых упоров погрузочных путей в полосе отвода имеется неиспользуемая площадка шириной 90 и длиной более 500 метров;
- 2) устройство тупиковых путей в междупутьях для заезда электро-толкателей.

Конструктивная немасштабная схема реконструкции представлена на рисунке 1.

Масштабный план реконструкции, отображенный на цифровой подложке, выполнен в САПР AutoCad и показан на рисунке 2.

Использование цифровой подложки на этапе масштабной накладке позволяет:

- определить потребность в демонтаже и реконструкции существующих постоянных зданий, сооружений;
- определить возможность и условия вписывания круговых кривых, в том числе в пределах стрелочной горловины;
- определить очертание и размеры станционной площадки с учетом реконструктивных мероприятий, оценить границы полосы отвода.

Помимо этого, полученная квазимасштабная схема позволяет с достаточной точностью оценить объемы работ по демонтажу, переукладке и укладке нового путевого развития методом непосредственного измерения средствами AutoCad. Точность построения схемы и, соответственно, измерений, ограничивается качеством исходного цифрового спутникового снимка, которое определяется рядом объективных факторов (состояние атмосферы, угол съемки, технические возможности спутника и др.), а также доступностью снимков высокого разрешения для гражданских целей. Во многих случаях возможно получение подложки с разрешением менее 1 м, что соответствует погрешности отображения местности и точности построения схемы станции.

Кроме определения расстояний, связанных с планом станции, ряд спутниковых снимков позволяет получать высотные координаты (рисунок 3), которые могут использоваться для приближенной оценки рельефа земной поверхности при рассмотрении продольного профиля путей, поперечных профилей, ориентировочном определении объемов земляных работ.

Использование предлагаемой технологии разработки предпроектных решений позволяет определить объемы и стоимость основных работ (таблица 1). Помимо этого, полученная квазимасштабная схема может использоваться при определении эксплуатационных расходов, связанных с параметрами путевой инфраструктуры, в частности, расходов по текущему содержанию постоянных устройств, расходов на маневровые передвижения и др.

Полученные затраты используются в составе технико-экономического обоснования варианта переустройства (реконструкции) станции при расчете приведенных затрат.

Таким образом, использование цифровых спутниковых снимков высокого разрешения на этапе предпроектной проработки решений по развитию инфраструктуры линейных объектов железнодорожного транспорта (железнодорожных станций, депо и др.) позволяет обеспечить привязку рассматриваемых вариантов к местным условиям объекта, определять ориентировочные объемы и стоимость основных работ, отдельные статьи эксплуатационных расходов камеральным способом, минимизируя трудоемкость, сроки и стоимость предпроектных и проектных работ.

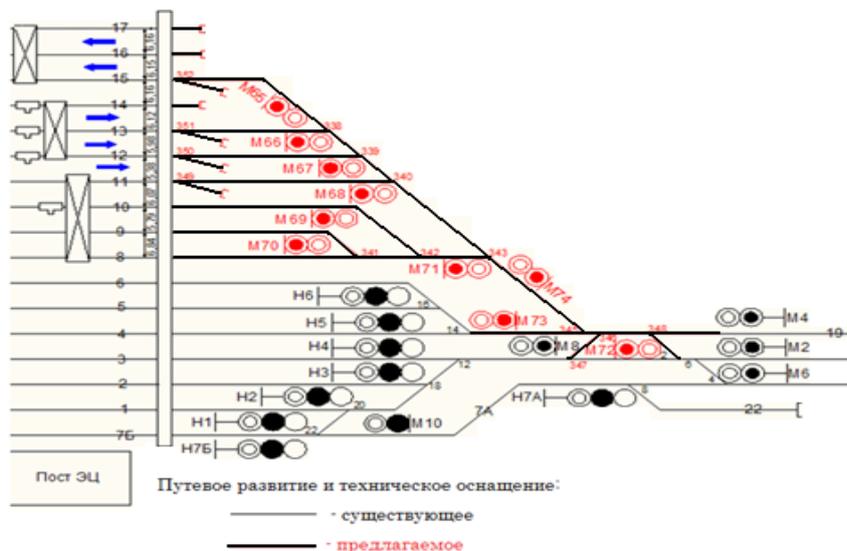


Рис. 1. Схема реконструкции путевого развития станции «П»

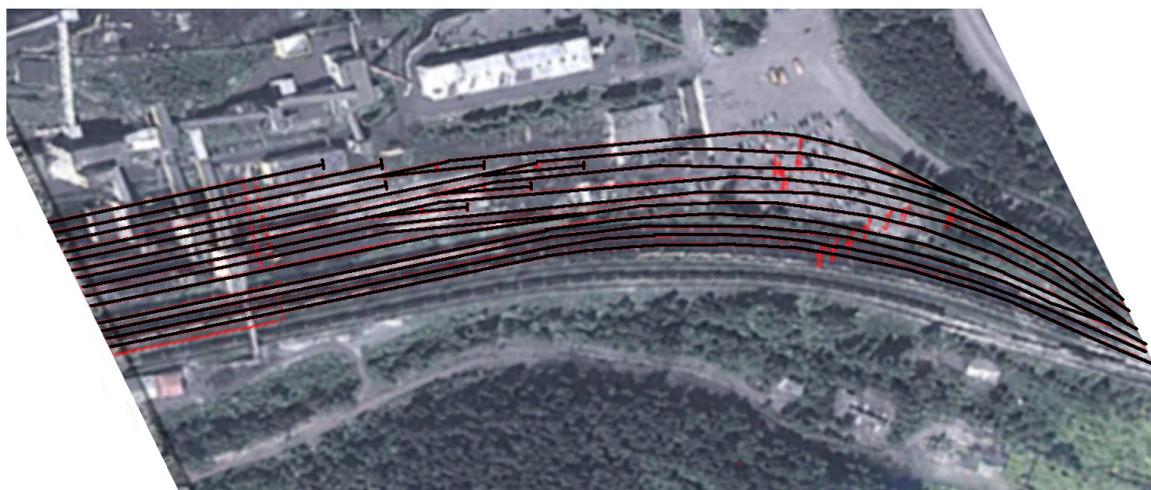


Рис. 2. Отображение плана станции с учетом реконструкции на цифровой подложке (четная горловина)



Рис. 3. Определение высотных отметок с использованием цифровых спутниковых снимков высокого разрешения

Таблица 1

Ориентировочная стоимость реконструкции станции «К»

Наименование работ, объекта	Единица измерения	Стоимость единицы измерения, тыс. р. ¹	Объем работ	Общая стоимость, тыс. р.
Укладка станционных путей рельсами Р65 при 1840 шпал/км	км	7000	2,757	19299
Демонтаж обыкновенного стрелочного перевода	компл.	25	3	75
Монтаж обыкновенного стрелочного перевода марки 1/9	компл.	800	13	10400
Балластировка пути песчано-гравийным балластом	м ³	0,544	6659	3622,5
Постановка централизованного стрелочного перевода на щебеночный балласт	компл	171,27	13	2226,51
Электрическая централизация стрелок и сигналов	стрелочный перевод	500	13	6500
Монтаж светофора	светофор	200	10	2000
Земляные работы	м ³	0,7	5189	3632,38
Общие основные затраты по объектам производственного назначения, K_0				47755,39

¹ Значения расходных ставок приняты для примера.

Литература:

1. Веб-картография и навигация. Точка доступа: <http://www.sasgis.org/>. Режим доступа: свободный.
2. Государственный стандарт (ГОСТ 9238–13) — «Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм».
3. Карасёв, С. В. Элементы поддержки принятия решений при определении мероприятий по устранению «барьерных мест» при развитии железнодорожных станций. В сборнике: наука и современность. Сборник статей Междунар. научно-практической конференции. 2014. с. 19–22.
4. Постановление Правительства РФ от 28 февраля 2015 г. № 182 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 10 июня 2005 г. № 370. Точка доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70782212/#ixzz4MgwqO28S>. Режим доступа: свободный.
5. Розенберг, И. Н., Лупян Е. А., Железнов М. М., Василейский А. С.. Возможности использования спутниковых технологий для мониторинга железнодорожной инфраструктуры. с. 97–112. В кн. Ренессанс железных дорог: фундаментальные научные исследования и прорывные инновации: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»/ под ред. Б. М. Лапидуса. М., 2015. — 252 с.
6. Романов, В. А., Ильин Е. Д., Бацеко М. А. Об оптимизации технической оснащенности грузовых фронтов терминально-складского хозяйства. В сборнике: Совершенствование технологии перевозочного процесса к 80-летию факультета «Управление процессами перевозок»: сборник научных трудов. 2015. с. 225–233.

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Использование традиционных славянских орнаментов в отделке современного костюма с использованием термотрансферной печати

Картавая Мария Николаевна, студент

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова (г. Абакан)

В статье рассматривается актуальность этнического стиля, использование в отделке костюма традиционных славянских орнаментов, применение термотрансферной печати.

Ключевые слова: этнический стиль, славянский орнамент, графический редактор, термотрансферный метод печати

The article discusses the relevance of ethnic style, the use in the decoration of traditional costumes Slavic ornaments, the use of thermal transfer printing.

Интерес к этнической теме характерен для самых разных областей современной культуры: в ландшафтном дизайне, дизайне интерьера, музыке, возрождении ремесленного производства, и, конечно же, в одежде.

Этнический стиль завоевал ведущие позиции в мире моды, потому что является многообразным, ярким, естественным, самобытным. Последователи этого стиля, как правило, творческие личности, которые не боятся показать свою индивидуальность, поделиться своим настроением, при этом оставаясь в гармонии с окружающим миром и самим собой.

Ежегодно на модных подиумах представляются коллекции именитых дизайнеров, выполненные с использованием этнических мотивов.

Этнические идеи проявляются в дизайне костюма по нескольким направлениям: интерес к «этно» в контексте экологического мышления (Ямомото, Дарья Разумихина); развитие этнического стиля как краски индивидуальности в образе (Вествуд, Джон Гальяно, Валентино); как часть сказки (Валентино, Прада); поиск в этнических формах эргономической составляющей (Вячеслав Зайцев, Кензо) [1].

Славянский стиль неизменно остается одним из самых популярных в этническом направлении одежды. Славянский стиль ассоциируется с орнаментами, так как одежда наших предков была украшена вышивкой, которая имела не столько эстетическую роль в виде украшения, сколько служила оберегом. Славянский орнамент — это не бессмысленные замысловатые элементы. Это язык тысячелетий, особая знаковая система, где каждый элемент: ромб, круг или завиток имеет своё зна-

чение. Охранным узором вышивали ворот, манжеты, подол, вырез горловины [2].

В настоящее время народная одежда жива как объект изучения учёных и музейных работников, в качестве сценического костюма фольклорных коллективов и как источник вдохновения для кутюрье. В гардеробе современного человека редко встречаются предметы одежды народного костюма и вещи с элементами народного костюма. Поэтому важно сохранять традиции и переносить их на современную одежду [3].

Мотивы и ритмы орнаментальных узоров как ассоциативный источник находят отклик в творчестве модельеров. Чаще всего в отделке костюма используется геометрический орнамент, вышитый швом «крест». Орнаменты славянских вышивок состоят из геометрических фигур сложных очертаний, в основе которых лежал ромб или квадрат. У славян самыми распространёнными символами являлись крест, как символ солнца, треугольник, который ассоциируется с человеком, ромб — гармония с природой, круг — символ солнечной энергии.

Наряду с традиционными способами отделки костюма дизайнеры применяют инновационные методы. Например, российский дизайнер Алёна Ахмадуллина в коллекции на 2017 год, разработанной на основе творческого источника — сказки «Три царевны подземного царства», применила цифровую печать принтов. Их основой стала старинная русская техника плетения жемчугом и ремесло золотого шитья [4].

Печать на ткани — тренд сегодняшнего дня, поэтому такой способ отделки изделия считается инновационным.

Так как этнический стиль актуален в настоящее время, разрабатывается авторская коллекция «Шёпот из глу-



Рис. 1. Эскиз изготавливаемой модели платья

бины веков» на основе использования славянских орнаментов в качестве творческого источника (рис. 1).

При изготовлении платья применён термотрансферный метод печати на ткани. Термотрансфер или термоперенос — это технология нанесения изображения на ткань со специальной трансферной бумаги при помощи термопресса.

Первым этапом рассматриваемой технологии является печать оригинала на трансферной бумаге. Рисунок для печати орнамента создаётся в графическом редакторе. Напечатать изображение можно при помощи лазерного или струйного принтера. Второй этап технологии: вырезание рисунка. Третий этап: перенос рисунка на текстиль с помощью термопресса. Рисунок накладывается изображением вниз на обрабатываемое изделие, которое помещается в термопресс. Оптимальная температура — 160–180 градусов. Термопресс обеспечивает плотный прижим по всей поверхности переноса. Время переноса изображения — от 5 до 20 секунд [5].

Для отделки спинки создан узор, в котором использованы ромбы, а также алатырь — восьмивершинная

звезда, которая означает движение вперед и развитие. Для отделки выбран красный и чёрный цвет.

В графическом векторном редакторе Corel DRAW было создано два варианта орнамента для отделки спинки. В одном из них есть ограничения для каждой клеточки рисунка, а в другом — нет. Оба варианта для сравнения были напечатаны на выбранном материале, фотографии представлены на рисунке 2.

Первый получился более графичным, четким, но выбран второй вариант, так как в нем рисунок выглядит ярче.

Термотрансферным методом печати нанесено изображение орнамента на спинку платья разрабатываемой коллекции одежды в этническом стиле «Шёпот из глубины веков». Фотография изготовленной модели платья представлена на рисунке 3.

Описанная технология позволяет создавать интересные и необычные изделия. Нанесение славянского орнамента термотрансферным методом печати — это современная интерпретация традиционного этнического направления.



Рис. 2. Варианты орнамента для отделки спинки



Рис. 3. Изготовленная модель платья

Литература:

1. Демшина, А. Ю. Этнотенденции в пространстве современной моды / А. Ю. Демшина // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета культуры и искусства. — 2011. — № 1. — с. 161–164.
2. О славянских вышитых оберегах [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.peregunica.ru/vsako/6789-o-slavyanskih-vyshivanyh-oberegah.html> (дата обращения 06.10.2016)
3. Обзорные лекции по проектированию [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/1666687/page:2/> (дата обращения 08.10.2016)
4. Сказочный лукбук Alena Akhmadullina, весна лето 2017 [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.buro247.ru/fashion/fashionshows/alena-akhmadullina-spring-summer-2017.html> (дата обращения 14.11.2016)
5. Термотрансферная технология нанесения изображения на футболки и её практическое применение [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://pro-printer.org/index.php/print-type/print-t-shirt/77-termotransfer> (дата обращения 12.12.2016 г.)

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Многофункциональное устройство для подготовки лекарственных средств к употреблению (Патент РФ на полезную модель № 132347)

Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор
Тюменский государственный университет

Суфианова Галина Зиновьевна, доктор медицинских наук, профессор;
Комаров Антон Петрович, врач-интерн
Тюменский государственный медицинский университет

Приводится описание и методика использования многофункционального устройства, обеспечивающего максимально быструю подготовку лекарственных средств к употреблению путем их механического измельчения, дробления, выдавливания из тюбиков и открывания флаконов, имеющих пробки.

Ключевые слова: лекарственные средства, подготовка к употреблению, устройство

Плезная модель относится к области медицины и медицинской технике, а именно к многофункциональным устройствам, предназначенным для быстрой и эффективной подготовки (размельчение, дробление, выдавливания из тюбиков и открывание флаконов, имеющих пробки) различных лекарственных средств к употреблению.

Цель создания многофункциональной полезной модели и ее использования — обеспечение максимально быстрой и эффективной подготовки лекарственных средств к употреблению, путем их механического измельчения, дробления, выдавливания из тюбиков и открывания флаконов, имеющих пробки.

Для обеспечения дробления таблетированных лекарственных средств, в частности в бытовых условиях, используется механическое сдавливание, например, таблетки, между двумя ложками, что не исключает потери массы лекарственного средства, в связи с его утратой путем разлета, из-за отсутствия наружных стенок между сдавливающими поверхностями. Кроме того, имеются определенные трудности при дроблении и измельчении больших по объему лекарственных средств. Помимо этого, имеются потери лекарственного вещества во время дробления, например, ножом.

Следует отметить, что используемые в настоящее время устройства для измельчения и дробления лекарственных веществ не всегда удобны в обращении лицами пожилого и старческого возраста, т. к. требуют определенной мышечной силы. Часть лекарственного средства при его дроблении остается на ребристой поверхности механического устройства, что уменьшает концентрацию препарата и снижает его лечебное действие на человека.

Задачей полезной модели является быстрая и эффективная подготовка лекарственных средств к употреблению.

Поставленная задача решается путем использования технического устройства (рис. 1), состоящего из станины 1, рабочая часть которой выполнена в виде камеры 2, нижняя часть ее содержит пазы для съемного лотка 3, имеющем на внешней стороне насечки, предназначенные для упрощения выдвигания. По центру камеры 2 вверх-вниз движется поршень 4, закрепленный на ручке 5 посредством оси 6. Нижняя часть поршня 4 представлена шарообразной опорой 7, к которой подвижно вмонтирован пресс 8, имеющий выпуклую поверхность, соответствующую лотку 3. К станине 1 в области камеры 2 и отходящей от нее стойки 9 подвижно крепится ручка 5, оснащенная лезвием 10, режущая поверхность которого обращена к станине 1, имеющей углубление 13 для твердых лекарственных форм. Выдвижение лезвия 10 лимитируется регулятором 11, перемещающимся по пазам 12 ручки 5. Сторона лезвия 10, обращенная к ручке 5, имеет ребристую поверхность, препятствующую самостоятельному движению регулятора 11. Возвратная пружина 14, выполненная в виде листа, удерживаемая на ручке 5 винтом 15, обеспечивает возвращение лезвия 10 при установке регулятора 11 в крайнее нижнее положение.

Верхняя поверхность концевой части ручки 5 имеет Т-образный вырез 16, предназначенный для снятия пробки с флаконов. Язычок 17, содержащий канал 20, располагается на нижней поверхности концевой части ручки 5 и служит для предотвращения расхождения станины 1 с ручкой 5 посредством кнопки 18, что обеспе-

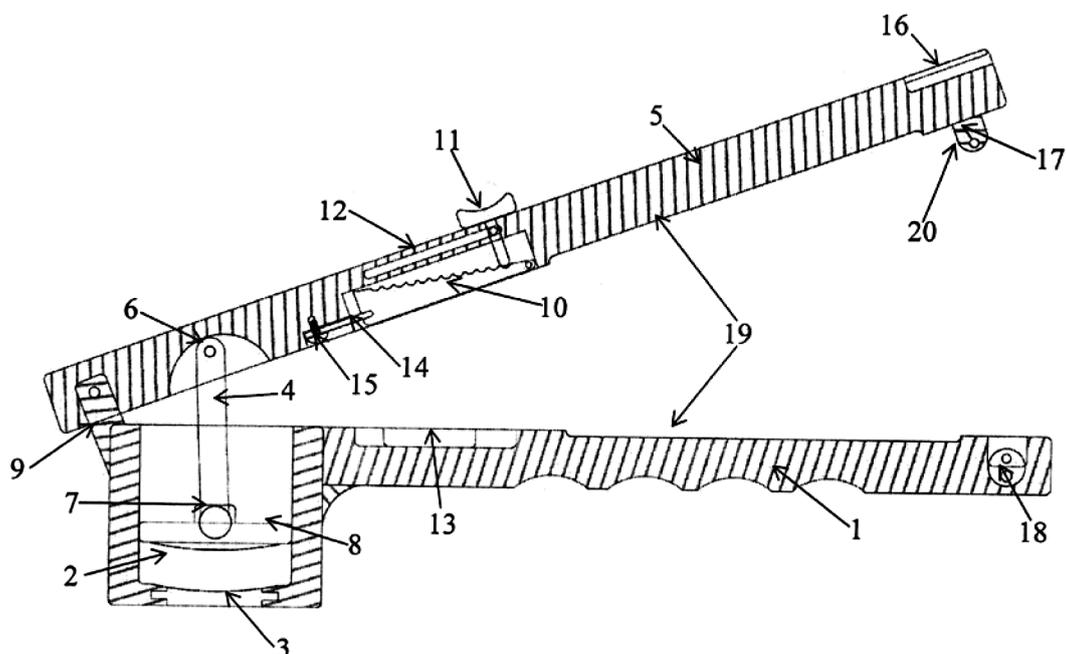


Рис. 1.

чивается выдавливание мягкой лекарственной формы из тюбика через прорезь, образованную одинаковыми по длине жолобоватой формы углублениями 19 ручки 5 и станины 1.

На рис. 2 изображено округлой формы углубление 13 (см. рис.13), расположенное на верхней поверхности станины 1 и имеющее паз 2 для лезвия 10 (см. рис.1).

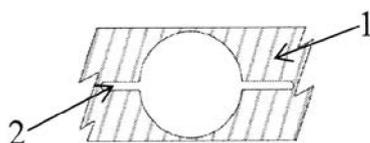


Рис. 2.

На рис. 3 (а, б) изображено техническое устройство кнопки. Обеспечение удержания ручки 2, имеющей Т-образный вырез 7, со станиной 1 достигается посредством продвижения фиксирующего стержня 3 кнопки 4 в канал 5 язычка 6.

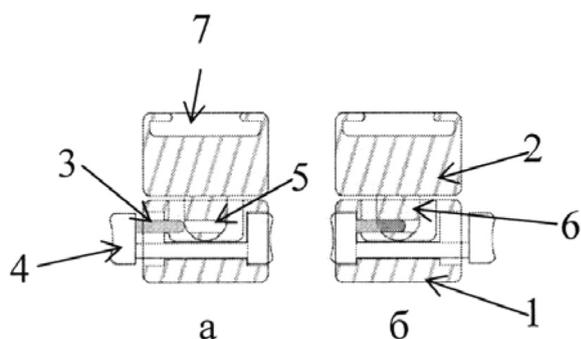


Рис. 3.

Полезная модель используется следующим образом.

1. При дроблении твердых лекарственных форм, лекарственное средство помещается в полость поднятой лотком 3 вверх камеры 2 устройства, образованную,

с одной стороны, раскрытием ручки 5 относительно станины 1, что приводит к поднятию поршня 4 и пресса 8, а с другой — смещением лотка 3. Поместив лекарственное средство в полость камеры 2, производится ее закрытие путем задвижения лотка 3. Посредством совмещения ручки 5 со станиной 1, обеспечивается движения поршня 4 и пресса 8 к лотку 3, чем достигается дробление лекарственного средства. Извлечение лекарственного средства после дробления осуществляется путем выдвижения лотка 3.

2. Для измельчения твердых лекарственных форм производится, в начале, выдвижение лезвия 10 путем установки регулятора 11 в крайнее верхнее положение, после чего осуществляется поднятие ручки 5 относительно станины 1 и помещение лекарственного средства в углубление 13, затем производится приближение ручки 5 к станине 1, чем достигается проникновение лезвия 10 в углубление 13 и расположенное в нем лекарственное средство. Извлечение измельченного лекарственного средства достигается посредством поднятия ручки 5 относительно станины 1.

3. Открывание флакона путем снятия пробки обеспечивается посредством помещения пробки флакона в Т-образный вырез 16 ручки 5.

4. Экономное, дозированное выдавливание мягкого лекарственного средства из тюбика достигается путем его прохождения через прорезь, образованную одинаковыми по длине жолобоватой формы углублениями 19 ручки 5 и станины 1.

В результате применения предлагаемой полезной модели достигается обеспечение максимально быстрой и эффективной подготовки лекарственных средств к употреблению, путем их механического размельчения, дробления, выдавливания из тюбиков и открывания флаконов, имеющих пробки.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 132347

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тюменский государственный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013101495

Приоритет полезной модели 10 января 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 сентября 2013 г.

Срок действия патента истекает 10 января 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **132 347**⁽¹³⁾ **U1**
 (51) МПК
 А61J 1/00 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013101495/15, 10.01.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.01.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.01.2013

(45) Опубликовано: 20.09.2013 Бюл. № 26

Адрес для переписки:

625003, г.Тюмень, ул. Семакова, 10, ФГБОУ
ВПО "Тюменский государственный
университет"

(72) Автор(ы):

Суфианова Галина Зиновьевна (RU),
Прокопьев Николай Яковлевич (RU),
Комаров Антон Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Тюменский государственный университет"
(RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

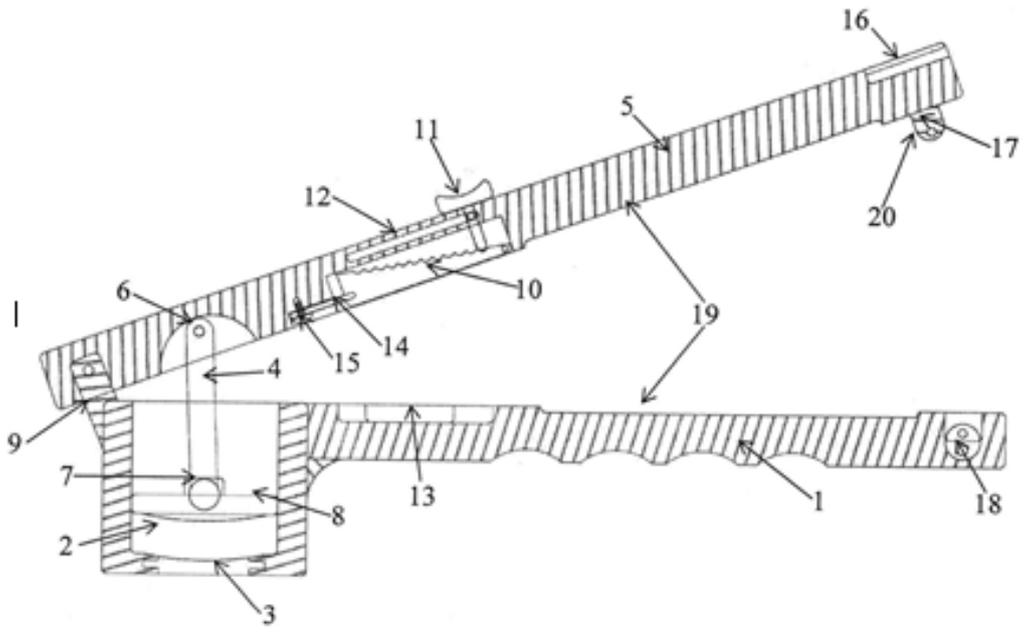
(57) Формула полезной модели

Устройство для облегчения использования лекарственных средств, содержащее станину с углублением для твердых лекарственных форм, рабочая часть которой выполнена в виде камеры с поршнем для дробления лекарственных средств, подвижно прикрепленную к станине в области камеры и отходящей от нее стойки ручку с Т-образным вырезом для снятия пробки с флакона, оснащенную лезвием для измельчения лекарственных средств, режущая поверхность которого обращена к станине с возможностью проникновения лезвия в указанное углубление, выполненные в ручке и станине одинаковые по длине жолобоватой формы углубления с возможностью образования ими прорези для выдавливания мягкой лекарственной формы из тюбика.

RU 132347 U1

RU 132347 U1

RU 1 3 2 3 4 7 U 1



RU 1 3 2 3 4 7 U 1

Стр. 2

Техника. Технологии. Инженерия

Международный научный журнал

№ 1 (03) / 2017

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Ахметов И.Г.

Члены редакционной коллегии:

Авдеюк О.А.
Каленский А.В.
Коварда В.В.
Комогорцев М.Г.
Котляров А.В.
Лескова Е.В.
Мусаева У.А.
Прончев Г.Б.
Семахин А.М.
Сенюшкин Н.С.
Яхина А.С.

Руководитель редакционного отдела:

Кайнова Г.А.

Ответственные редакторы:

Осянина Е.И., Вейса Л.Н.

Художник:

Шишков Е.А.

Верстка:

Бурьянов П.Я.

Международный редакционный совет:

Айрян З.Г. (Армения)
Арошидзе П.Л. (Грузия)
Атаев З.В. (Россия)
Ахмеденов К.М. (Казахстан)
Бидова Б.Б. (Россия)
Борисов В.В. (Украина)
Велковска Г.Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А.М. (Россия)
Демидов А.А. (Россия)
Досманбетова З.Р. (Казахстан)
Ешиев А.М. (Кыргызстан)
Жолдошев С.Т. (Кыргызстан)
Игисинов Н.С. (Казахстан)
Кадыров К.Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А.В. (Россия)
Козырева О.А. (Россия)
Колпак Е.П. (Россия)
Куташов В.А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л.В. (Украина)
Нагервадзе М.А. (Грузия)
Прокопьев Н.Я. (Россия)
Прокофьева М.А. (Казахстан)
Рахматуллин Р.Ю. (Россия)
Ребезов М.Б. (Россия)
Сорока Ю.Г. (Украина)
Узаков Г.Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н.Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А.К. (Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

почтовый: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231;
фактический: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.
E-MAIL: INFO@MOLUCH.RU; HTTP://WWW.MOLUCH.RU/

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2410-7352

Подписано в печать 5.02.2017. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 25