

ISSN 2072-0297



МОЛОДОЙ[®] УЧЁНЫЙ

международный научный журнал



24
2016
Часть I

16+

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Международный научный журнал

Выходит еженедельно

№ 24 (128) / 2016

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам

Авдюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам

Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук

Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

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.

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)

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)

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)

Руководитель редакционного отдела: Кайнова Галина Анатольевна

Ответственные редакторы: Осянина Екатерина Игоревна, Вейса Людмила Николаевна

Художник: Шишков Евгений Анатольевич

Верстка: Бурьянов Павел Яковлевич, Голубцов Максим Владимирович, Майер Ольга Вячеславовна

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: 7.12.2016. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

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

На обложке изображена *Амаль Клуни (Аламуддин)* — один из самых известных в мире и успешных юристов, специализирующихся на защите прав человека.

Амаль родилась в Ливане в 1978 году, ее отец был профессором в области бизнес-исследований Бейрутского университета, мать — редактором арабской газеты «Аль-Хайят», а бабушка — первой женщиной, закончившей Американский университет в Бейруте.

Образование Амаль получила в Лондоне, куда ее семья переехала в 1980 году. Прилежная и очень упорная в учебе, Амаль блестяще выдержала выпускные экзамены в колледже Санкт-Хью при Оксфордском университете, а затем успешно завершила учебу в Нью-Йоркском университете, получив премию Джека Катза. Пройдя практику в Апелляци-

онном суде США, Амаль Аламуддин начала работать в Международном суде ООН, а затем — в известной компании Doughty Street Chambers, получив свидетельство на право осуществлять адвокатскую практику в Англии и Уэльсе.

Огромную известность Амаль принесло ее решение стать правозащитником основателя WikiLeaks Джулиана Ассанжа в его борьбе против экстрадиции в Швецию.

Вторая волна всемирной популярности Амаль Аламуддин пришлась на 2014 год, когда она стала женой голливудского актера Джорджа Клуни.

В настоящее время Амаль Аламуддин — представитель правительства Камбоджи в Международном суде в Гааге по делу о территориальном споре Камбоджи и Таиланда.

Людмила Вейса, ответственный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

- Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Захаров П. А., Мотовилов А. А., Казаков Г. П., Усольцева А. В., Тарасов Н. А., Дугин П. И., Некрасова В. Н., Глух К. Ю., Солодова А. С.**
Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев в Simulink..... 1
- Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Кривцов А. В., Чиркова А. А., Дудин А. С., Кудимов Ю. С., Андреева А. А., Лепинских Н. А., Строшкова А. В., Лихачева И. В.**
Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев в Simulink-Script..... 10
- Железный С. В., Москалева Е. А., Сычев И. В.**
Наблюдение морфологии поверхности радиоматериалов и элементов твердотельной электроники.....15

ИНФОРМАТИКА

- Кожевникова И. С., Ананьин Е. В., Лысенко А. В., Никишова А. В.**
Применение машинного обучения для обнаружения сетевых аномалий.....19
- Коккоз М. М., Кадилова Д. Т., Дюсенбекова С. Д.**
Клиентские обнаружения веб-прокси из непривилегированных мобильных устройств ...21
- Меркель А. В., Радыгин В. Ю., Куприянов Д. Ю., Лукьянова Н. В.**
LMS-система как механизм повышения качества обучения студентов очного отделения: симбиоз конкурентного подхода и технологий социальных сетей на базе свободного программного обеспечения.....24
- Самохина В. М.**
Приложение для составления библиографического описания31
- Шелудько С. Д., Науменко А. М., Радыгин В. Ю.**
Особенности разработки языковых модулей для IDE NetBeans на примере языка HAML34

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Абасов Р. К., Силла А.**
Анализ методов искусственного интеллекта САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры.....41
- Боева О. Х.**
The problem of synthesis of management by difficult system in the conditions of uncertainty48
- Гоношилов Д. С., Маркос Л. О.**
Моделирование технологических процессов производства электронной аппаратуры инструментами когнитивной графики51
- Долгополова В. Л., Кривошеев В. П., Ануфриев А. В.**
Моделирование установки первичной перегонки нефти в режиме энергосбережения59
- Жолмагамбетов С. Р., Кожасов С. К., Хабидолда О., Кожас А. К., Калачева С. А.**
Анализ причин предаварийного состояния несущих стен многоквартирного жилого дома в г. Астане и рекомендации по восстановлению68
- Зырянов Р. С.**
Развитие фрактальных моделей агрегации коллоидных частиц72
- Кириченко А. С., Серегин А. Н.**
Перспективы и проблемы утилизации воздушного флота России76
- Кишалов А. Е., Маркина К. В.**
Анализ газодинамических параметров камер сгорания авиационных ГТД81
- Колмыков М. А., Емельянов Д. В., Ануфриев И. П.**
Замена фруктозосодержащих подсластителей стевииозидом как решение проблемы «добавленного сахара»: разработки пищевой отрасли87
- Кулигина Е. С.**
Расчет сопряжения стенки цилиндрического резервуара с днищем методом перемещений ...89

Литвинов А. В., Бернс П. А., Абишов Е. Г., Родина Д. Е., Логинова Е. С., Колесников П. А. Модернизированная схема испытаний асинхронных тяговых двигателей91	Маркелов А. Ю., Бобраков А. Н., Анпилов С. В., Кудринский А. А., Ширяевский В. Л. Окислительная газификация частиц смолисто- сажевого аэрозоля в камере-двигателе установки плазменной переработки твердых радиоактивных отходов 100
Литвинов А. В., Бернс П. А., Абишов Е. Г., Родина Д. Е., Логинова Е. С., Колесников П. А. Модернизация схемы испытания тяговых двигателей постоянного тока методом взаимного нагружения94	Попова Л. Н. Применение беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера 105
Литвинов А. В., Бернс П. А., Абишов Е. Г., Родина Д. Е., Логинова Е. С., Колесников П. А. Математическое моделирование процесса испытаний двигателей постоянного тока методом взаимной нагрузки98	Рогозина Д. А., Хворова Т. С. Специальные фильтрокомпенсирующие устройства как метод борьбы с несинусоидальностью напряжения 108
	Романов В. В., Прохорова А. И., Копылова О. А. Расчет флюидизационного аппарата для заморозки зеленого горошка 111
	Шаранова Д. А. Использование технологии MFL для выявления коррозионных повреждений трубопроводов.. 115

ФИЗИКА

Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев в Simulink

Емельянов Александр Александрович, доцент;
 Бескеткин Виктор Викторович, ассистент;
 Захаров Павел Андреевич, студент;
 Мотовилов Андрей Александрович, студент;
 Казаков Георгий Павлович, студент;
 Усольцева Анастасия Вячеславовна, студент;
 Тарасов Никита Александрович, студент;
 Дугин Павел Игоревич, студент;
 Некрасова Вероника Николаевна, студент;
 Глух Константин Юрьевич, студент;
 Солодова Александра Сергеевна, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Данная работа является продолжением статьи [1]. Проекция векторов $\bar{\psi}_s$ и \bar{i}_s выведены на основе интегрирующих звеньев с моделированием в Simulink.

Для лучшего понимания логики преобразований необходимо просмотреть все наши статьи по этой теме за 2015 г. Так как главной целью является привлечение студентов к исследовательской работе, выводы всех уравнений приводим без сокращений.

В работе [1] было получено следующее уравнение для расчета в Simulink-Script i_{sx} :

$$0 = \frac{r_r}{l_m} \cdot \psi_{sx} - \frac{r_r}{k_s} \cdot i_{sx} + \frac{1}{k_r} \cdot u_{sx} + \frac{1}{k_r} \cdot \omega_\kappa \cdot \psi_{sy} - \frac{r_s}{k_r} \cdot i_{sx} - l_{\sigma\delta} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\delta} \cdot s \cdot i_{sx} \right) - \omega_\kappa \cdot \frac{1}{k_r} \cdot \psi_{sy} + \omega \cdot z_p \cdot \frac{1}{k_r} \cdot \psi_{sy} + l_{\sigma\delta} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}.$$

Переносим $l_{\sigma\delta} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\delta} \cdot s \cdot i_{sx} \right)$ в левую часть и делим обе части на $r_{s\delta}$, получим:

$$i_{sx} = \left[\underbrace{\frac{r_r}{l_m} \cdot \psi_{sx}}_2 - \underbrace{i_{sx}}_1 + \underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot u_{sx}}_3 + \underbrace{\frac{z_p}{k_r} \cdot (\omega \cdot \psi_{sy})}_5 + \underbrace{T_{s\delta} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}}_4 \right] \cdot \frac{\Omega_\delta}{T_{s\delta}} \cdot \frac{1}{s},$$

где $r_{s\delta} = \frac{r_r}{k_s} + \frac{r_s}{k_r} = \frac{1}{k_r} \cdot \left(\frac{k_r}{k_s} \cdot r_r + r_s \right)$ и $T_{s\delta} = \frac{l_{\sigma\delta}}{r_{s\delta}}$.

Этому уравнению соответствует структурная схема, приведенная на рис. 1.

Трансформируем структурную схему на рис. 1 в оболочку, позволяющую производить расчет коэффициентов в отдельном блоке Subsystem. Для этого вместо операторов с коэффициентами, рассчитываемыми в Script, установим блоки перемножения, к которым подведены сигналы с результатами расчетов в Simulink, как показано на рис. 2.

Произведем аналогичную трансформацию при определении вектора тока \bar{i}_s по проекции y . В работе [1] получено следующее уравнение:

$$0 = \frac{r_r}{l_m} \cdot \psi_{sy} - \frac{r_r}{k_s} \cdot i_{sy} + \frac{1}{k_r} \cdot u_{sy} - \frac{\omega_\kappa}{k_r} \cdot \psi_{sx} - \frac{r_s}{k_r} \cdot i_{sy} - l_{\sigma\delta} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\delta} \cdot s \cdot i_{sy} \right) + \frac{\omega_\kappa}{k_r} \cdot \psi_{sx} - \frac{z_p}{k_r} \cdot (\omega \cdot \psi_{sx}) - (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot l_{\sigma\delta} \cdot i_{sx}.$$

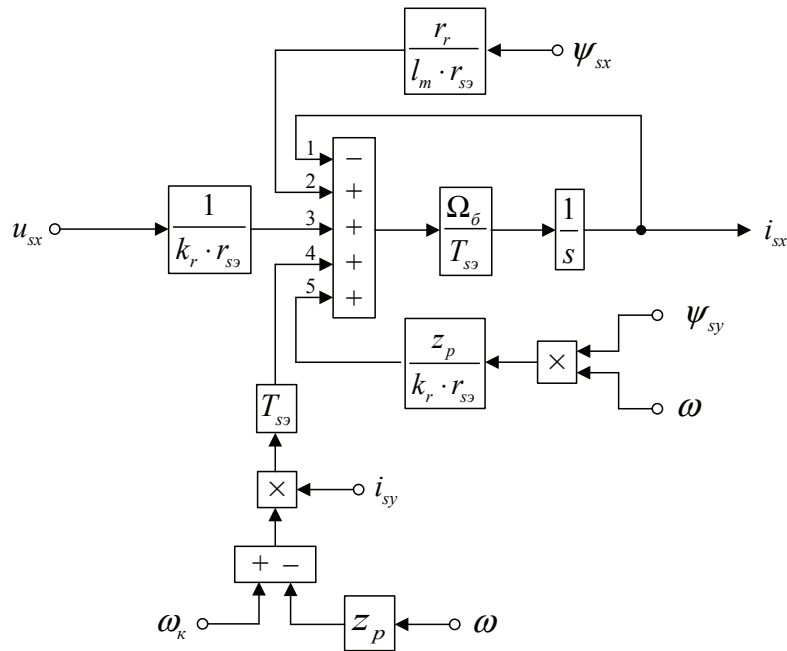


Рис. 1. Структурная схема для определения i_{sx} в Script-Simulink

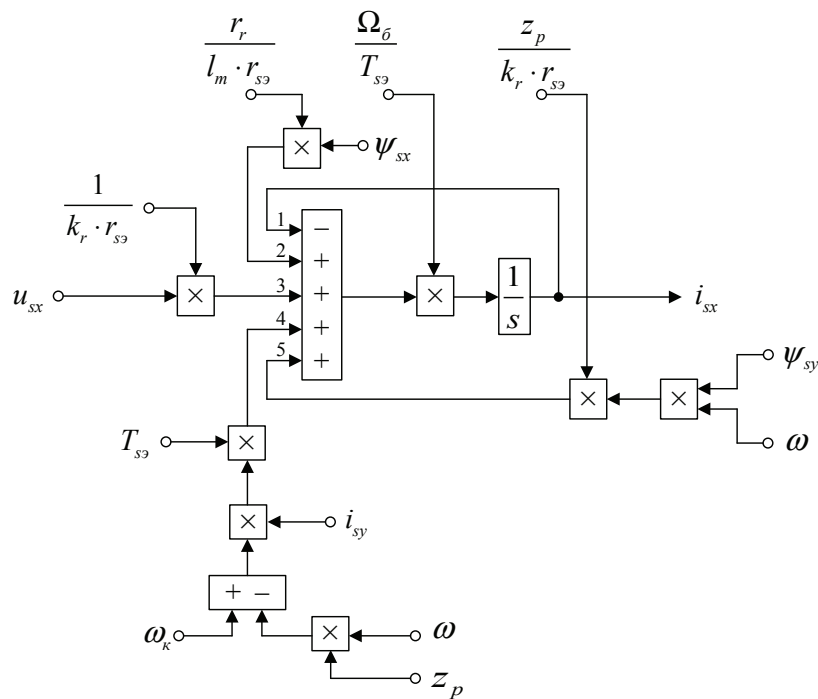


Рис. 2. Структурная схема для определения i_{sx} в Simulink

Переносим $l_{\sigma 3} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_0} \cdot s \cdot i_{sy} \right)$ в левую часть и делим обе части на r_{s3} , получим ток i_{sy} :

$$i_{sy} = \left[\underbrace{\frac{r_r}{l_m \cdot r_{s3}} \cdot \psi_{sy}}_4 - \underbrace{i_{sy}}_5 + \underbrace{\frac{1}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot u_{sy}}_3 - \underbrace{\frac{z_p}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot (\omega \cdot \psi_{sx}) - T_{s3} \cdot (\omega_k - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sx}}_2 \right] \cdot \frac{\Omega_0}{T_{s3}} \cdot \frac{1}{s}$$

Структурная схема, соответствующая этому уравнению, показана на рис. 3.

Расчет коэффициентов будем производить в отдельном блоке Subsystem, поэтому вносим в структурную схему на рис. 3 блоки перемножения (рис. 4).

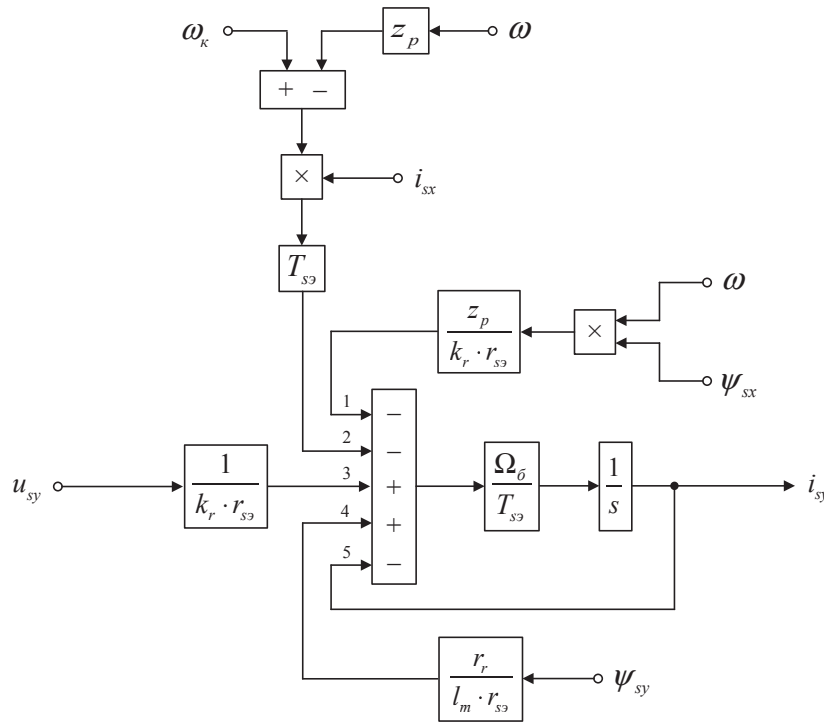


Рис. 3. Структурная схема для определения i_{sy} в Script-Simulink

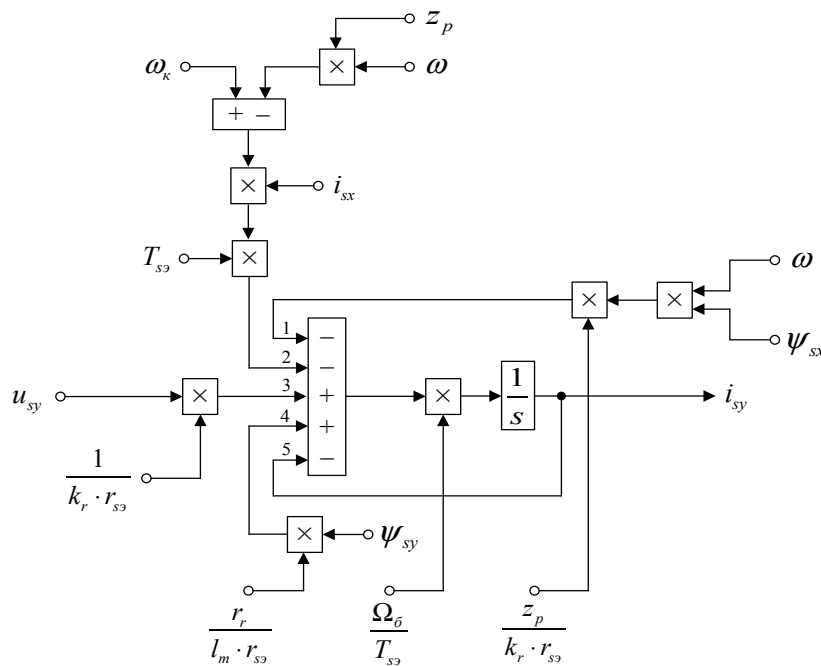


Рис. 4. Структурная схема для определения i_{sy} в Simulink

Потокоцепление Ψ_{sx} определим из следующего уравнения:

$$u_{sx} = r_s \cdot i_{sx} + \frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \cdot \Psi_{sx} - \omega_{\kappa} \cdot \Psi_{sy};$$

$$\frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \cdot \Psi_{sx} = u_{sx} - r_s \cdot i_{sx} + \omega_{\kappa} \cdot \Psi_{sy};$$

$$\Psi_{sx} = \left[\underbrace{u_{sx}}_2 - \underbrace{r_s \cdot i_{sx}}_1 + \underbrace{\omega_{\kappa} \cdot \Psi_{sy}}_3 \right] \cdot \Omega_{\sigma} \cdot \frac{1}{s}.$$

Структурная схема для этого уравнения приведена на рис. 5.

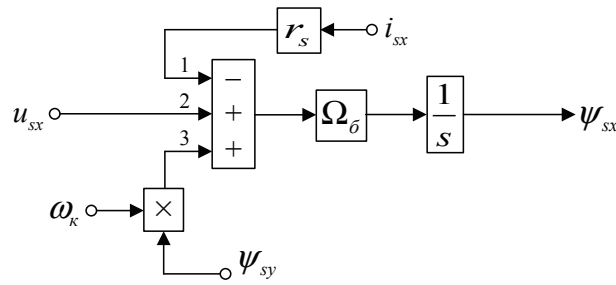


Рис. 5. Структурная схема определения ψ_{sx} в Script-Simulink

Подготовим эту схему для расчета в Simulink (рис. 6).
Потокосцепление ψ_{sy} определим из следующего уравнения:

$$u_{sy} = r_s \cdot i_{sy} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{sy} + \omega_k \cdot \psi_{sx};$$

$$\frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{sy} = u_{sy} - r_s \cdot i_{sy} - \omega_k \cdot \psi_{sx};$$

$$\psi_{sy} = \left[\underbrace{u_{sy}}_2 - \underbrace{r_s \cdot i_{sy}}_3 - \underbrace{\omega_k \cdot \psi_{sx}}_1 \right] \cdot \Omega_{\delta} \cdot \frac{1}{s}.$$

Этому уравнению соответствует структурная схема, приведенная на рис. 7.

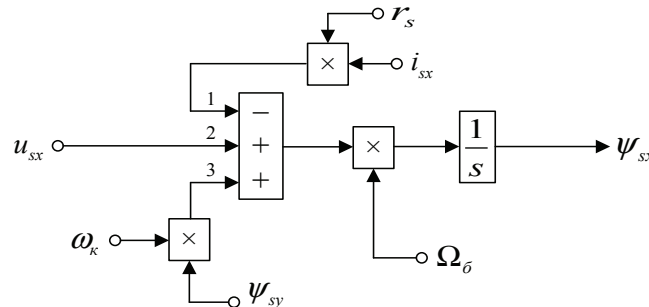


Рис. 6. Структурная схема для определения ψ_{sx} в Simulink

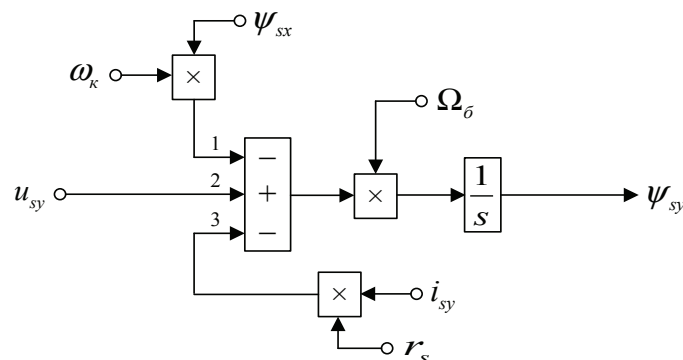


Рис. 7. Структурная схема для определения ψ_{sy} в Simulink

На рис. 8 представлена структурная схема для реализации уравнения электромагнитного момента в Simulink:

$$m = \zeta_N \cdot (\psi_{sx} \cdot i_{sy} - \psi_{sy} \cdot i_{sx}).$$

Механическая угловая скорость вращения вала двигателя:

$$\omega = (m - m_c) \cdot \frac{1}{T_j} \cdot \frac{1}{s}$$

Структурная схема дана на рис. 9.

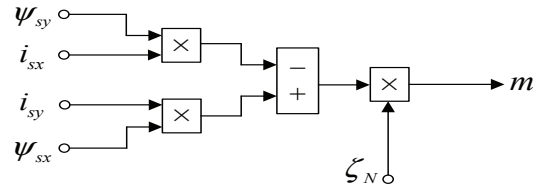


Рис. 8. Математическая модель определения электромагнитного момента m в Simulink

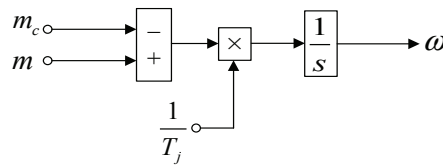


Рис. 9. Математическая модель уравнения движения в Simulink

Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев в Simulink приведена на рис. 10, ..., 14.

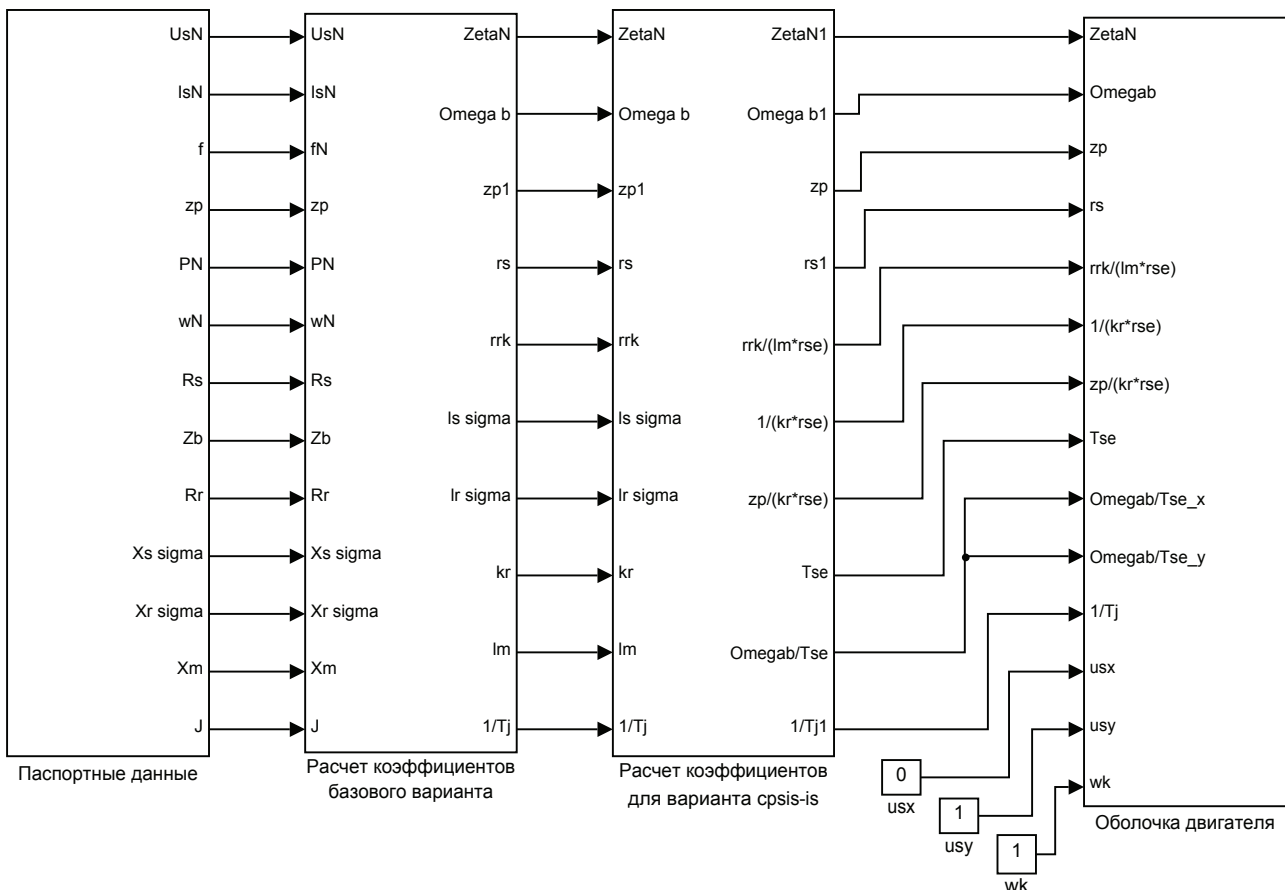


Рис. 10. Общая схема математической модели асинхронного двигателя с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев в Simulink

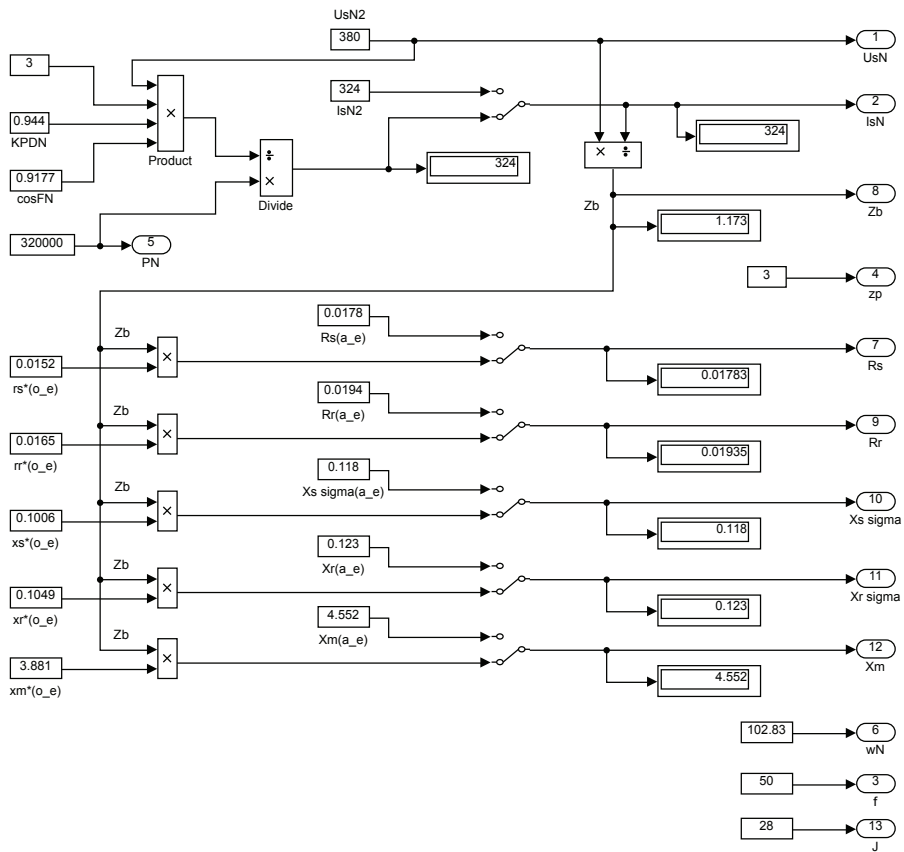


Рис. 11. Паспортные данные

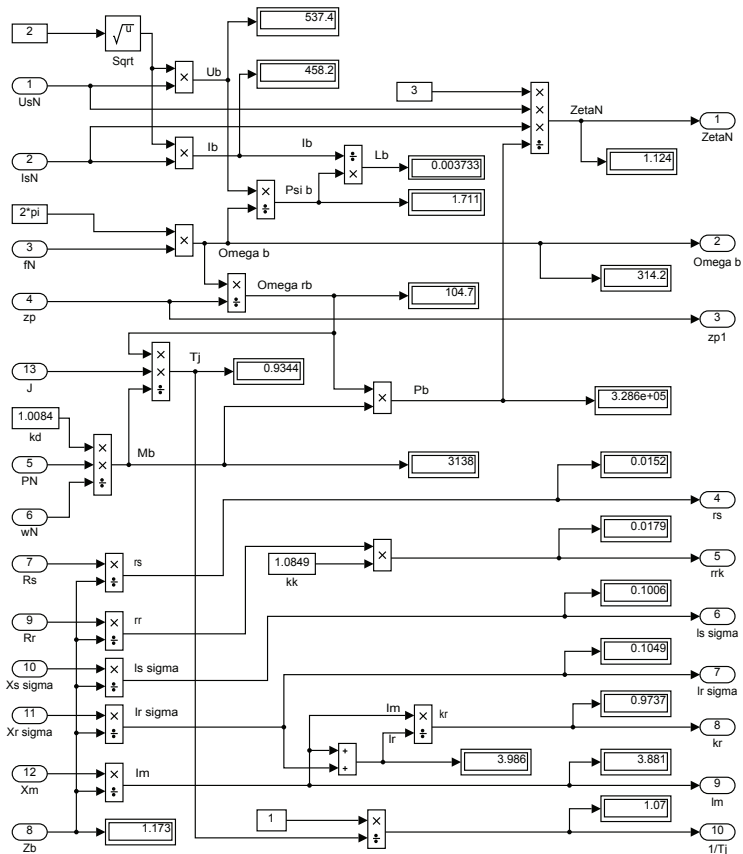


Рис. 12. Расчет коэффициентов базового варианта

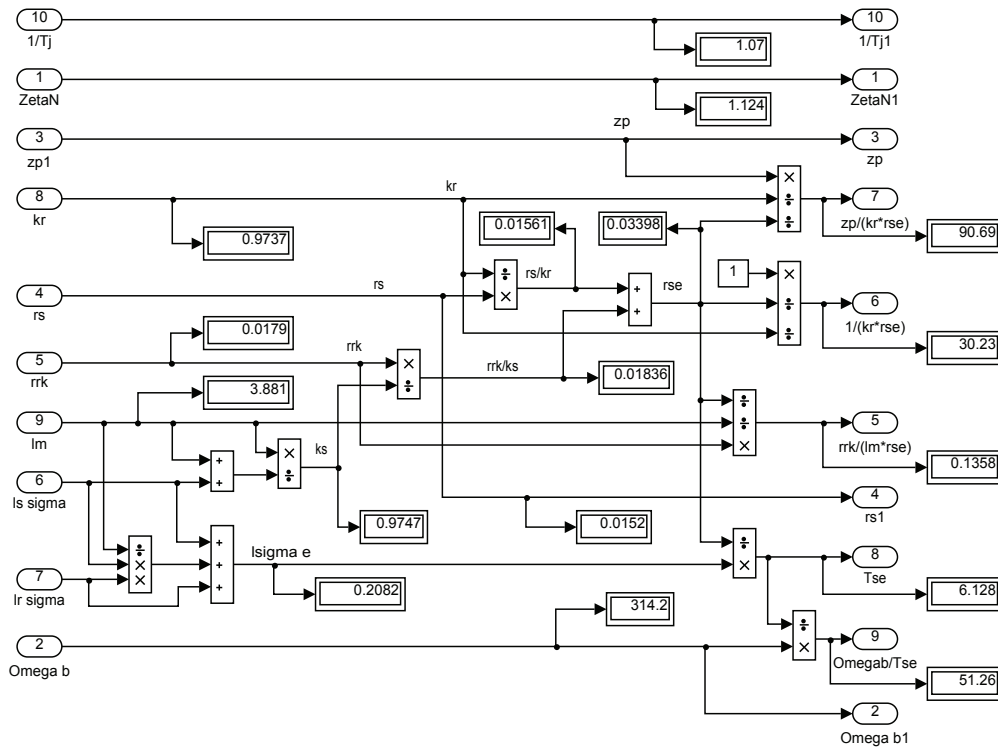


Рис. 13. Расчет коэффициентов для варианта с переменными $\psi_s - i_s$

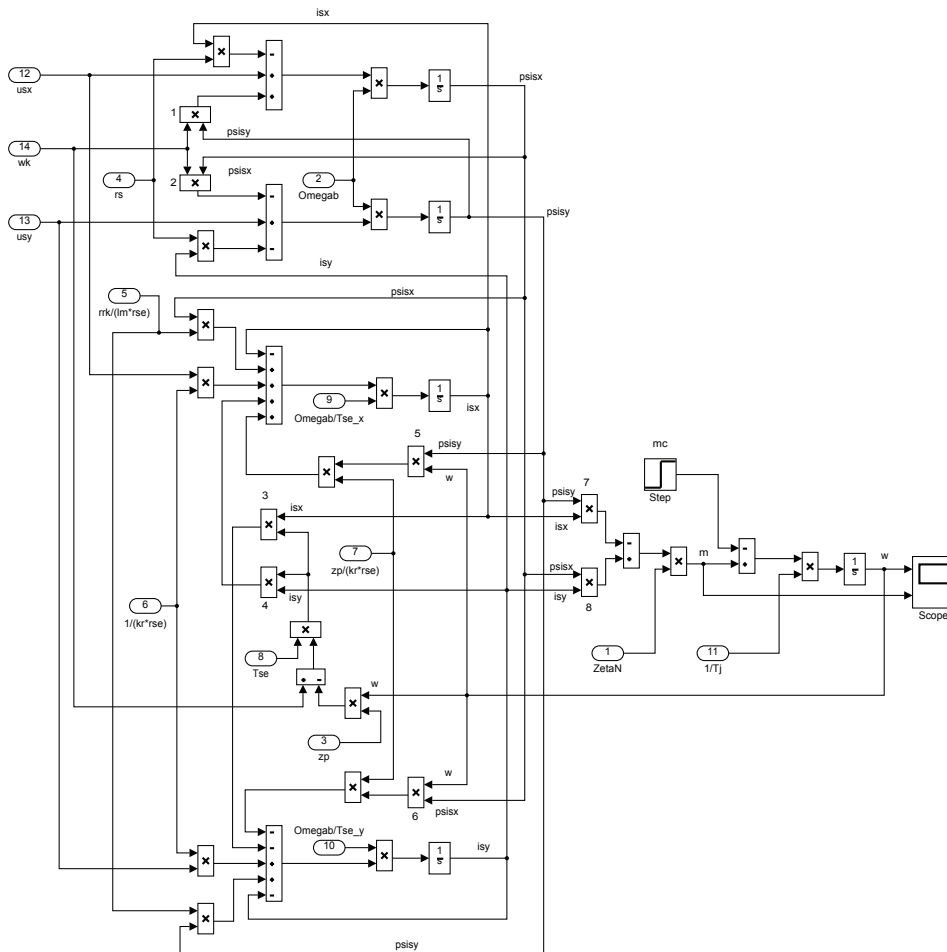


Рис. 14. Оболочка модели асинхронного двигателя с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев в Simulink

В работе [3] в главе 6 «Примеры» дан образец расчета параметров асинхронного двигателя. В наших дальнейших работах направленных на подготовку студентов к исследовательской работе, глава 6 окажет неоценимую помощь. Можно было бы по аналогии рассмотреть паспортные данные любого другого двигателя, но для проверки правильности выводов уравнений сделанных исследовательской группой самостоятельно, необходимо постоянно выходить на многие полученные результаты в работе [2]. Поэтому, этот пример расчета окажется очень полезным.

Номинальные данные:

Номинальный режим работы	S1;
Номинальная мощность	$P_N = 320 \text{ кВт}$;
Номинальное фазное напряжение	$U_{s,N} = 380 \text{ В}$;
Номинальный фазный ток	$I_{s,N} = 324 \text{ А}$;
Номинальная частота	$f_N = 50 \text{ Гц}$;
Номинальная синхронная скорость	$\Omega_{0N} = 104,7 \text{ рад/с}$;
Номинальная скорость ротора	$\Omega_N = 102,83 \text{ рад/с}$;
Номинальный КПД	$\eta_N = 0,944$;
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_N = 0,92$;
Число пар полюсов	$z_p = 3$.

Параметры T-образной схемы замещения при номинальной частоте:

Активное сопротивление обмотки статора	$R_s = 0,0178 \text{ Ом}$;
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора	$X_{s\sigma} = 0,118 \text{ Ом}$;
Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору	$R_r = 0,0194 \text{ Ом}$;
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору	$X_{r\sigma} = 0,123 \text{ Ом}$;
Главное индуктивное сопротивление	$X_m = 4,552 \text{ Ом}$;
Суммарный момент инерции двигателя и механизма	$J_\Sigma = 28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Базисные величины системы относительных единиц:

Напряжение	$U_\sigma = \sqrt{2}U_{s,N} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В}$;
Ток	$I_\sigma = \sqrt{2}I_{s,N} = \sqrt{2} \cdot 324 = 458,2 \text{ А}$;
Частота	$\Omega_\sigma = \Omega_{s,N} = 2\pi f_N = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с}$;
Скорость ротора	$\Omega_{r,\sigma} = \frac{\Omega_\sigma}{z_p} = \frac{314,16}{3} = 104,72 \text{ рад/с}$;
Сопротивление	$Z_\sigma = \frac{U_\sigma}{I_\sigma} = \frac{537,4}{458,2} = 1,1728 \text{ Ом}$;
Потокосцепление	$\Psi_\sigma = \frac{U_\sigma}{\Omega_\sigma} = \frac{537,4}{314,16} = 1,711 \text{ В} \cdot \text{с}$;
Индуктивность	$L_\sigma = \frac{\Psi_\sigma}{I_\sigma} = \frac{1,711}{458,2} = 3,733 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Используя номинальные данные двигателя, определяем:

$$M_\sigma = k_\Delta \cdot M_N = k_\Delta \cdot \frac{P_N}{\Omega_N},$$

Где $k_\Delta > 1$ – коэффициент, учитывающий различие значений электромагнитного момента и момента на валу двигателя в номинальном режиме ($k_\Delta = 1,0084$).

$$M_\sigma = k_\Delta \cdot \frac{P_N}{\Omega_N} = 1,0084 \cdot \frac{320 \cdot 10^3}{102,83} = 3138,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В качестве базисной мощности выбираем значение электромагнитной мощности двигателя в номинальном режиме, определяемое по следующей формуле:

$$P_\sigma = M_\sigma \cdot \Omega_{r,\sigma} = 3138,07 \cdot 104,72 = 328,62 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Относительные значения параметров схемы замещения двигателя:

$$r_s = \frac{R_s}{Z_\sigma} = \frac{0,0178}{1,1728} = 0,0152;$$

$$l_{s\sigma} = \frac{L_{s\sigma}}{L_{\sigma}} = \frac{X_{s\sigma}}{(\Omega_{\sigma} \cdot L_{\sigma})} = \frac{X_{s\sigma}}{Z_{\sigma}} = \frac{0,118}{1,1728} = 0,1006;$$

$$r_r = \frac{R_r}{Z_{\sigma}} = \frac{0,0194}{1,1728} = 0,0165;$$

$$l_{r\sigma} = \frac{X_{r\sigma}}{Z_{\sigma}} = \frac{0,123}{1,1728} = 0,1049;$$

$$l_m = \frac{X_m}{Z_{\sigma}} = \frac{4,552}{1,1728} = 3,881.$$

Механическая постоянная времени:

$$T_j = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_{r,\sigma}}{M_{\sigma}} = 28 \cdot \frac{104,72}{3138,07} = 0,934 \text{ с.}$$

Номинальное значение скольжения:

$$\beta_N = \frac{\Omega_{0N} - \Omega_N}{\Omega_{0N}} = \frac{104,72 - 102,83}{104,72} = 0,018.$$

Относительное значение номинальной скорости ротора:

$$\omega_N = (1 - \beta_N) = (1 - 0,018) = 0,982.$$

Нормирующий энергетический коэффициент:

$$\zeta_N = \frac{S_{s,N}}{P_{\text{эл.м.}N}} = \frac{3 \cdot U_{s,N} \cdot I_{s,N}}{P_{\sigma}} = \frac{3 \cdot 380 \cdot 324}{328620} = 1,124;$$

$$S_{s,N} = 3 \cdot U_{s,N} \cdot I_{s,N} = 369360 \text{ ВА};$$

$$k_s = \frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1006} = 0,9749;$$

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1049} = 0,9737;$$

$$l_{\sigma s} = l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1} = 0,1006 + 0,1049 + \frac{0,1006 \cdot 0,1049}{3,881} = 0,2082.$$

При расчете режимов работы, для того чтобы $i_{sh} = 1$, $m_N = 1$, $u_{sN} = 1$, $\omega_{sN} = 1$ и $\beta_N = 0,018$, необходимо откорректировать r_r :

$$r_{rk} = \rho_N \cdot \beta_N = 0,9962 \cdot 0,018 = 0,0179,$$

где $\rho_N = 0,9962$ – корректирующий коэффициент [3, с. 296].

$$kk = \frac{r_{rk}}{r_r} = 1,0849 - \text{коэффициент, показывающий отношение } r_{rk} \text{ к } r_r.$$

Расчет коэффициентов для математической модели с переменными $\psi_s - i_s$:

$$r_{s\sigma} = \frac{r_{rk}}{k_s} + \frac{r_s}{k_r} = \frac{0,0179}{0,9747} + \frac{0,0152}{0,9737} = 0,01836 + 0,01561 = 0,03398;$$

$$\frac{z_p}{k_r \cdot r_{s\sigma}} = \frac{3}{0,9737 \cdot 0,03398} = 90,69;$$

$$\frac{1}{k_r \cdot r_{s\sigma}} = \frac{3}{0,9737 \cdot 0,03398} = 30,23;$$

$$\frac{r_{rk}}{l_m \cdot r_{s\sigma}} = \frac{0,0179}{3,881 \cdot 0,03398} = 0,1358;$$

$$T_{s\sigma} = \frac{l_{\sigma s}}{r_{s\sigma}} = \frac{0,2082}{0,03398} = 6,128;$$

$$\frac{\Omega_{\sigma}}{T_{s\sigma}} = \frac{314,16}{6,128} = 51,26.$$

Результаты моделирования асинхронного двигателя представлены на рис. 15.

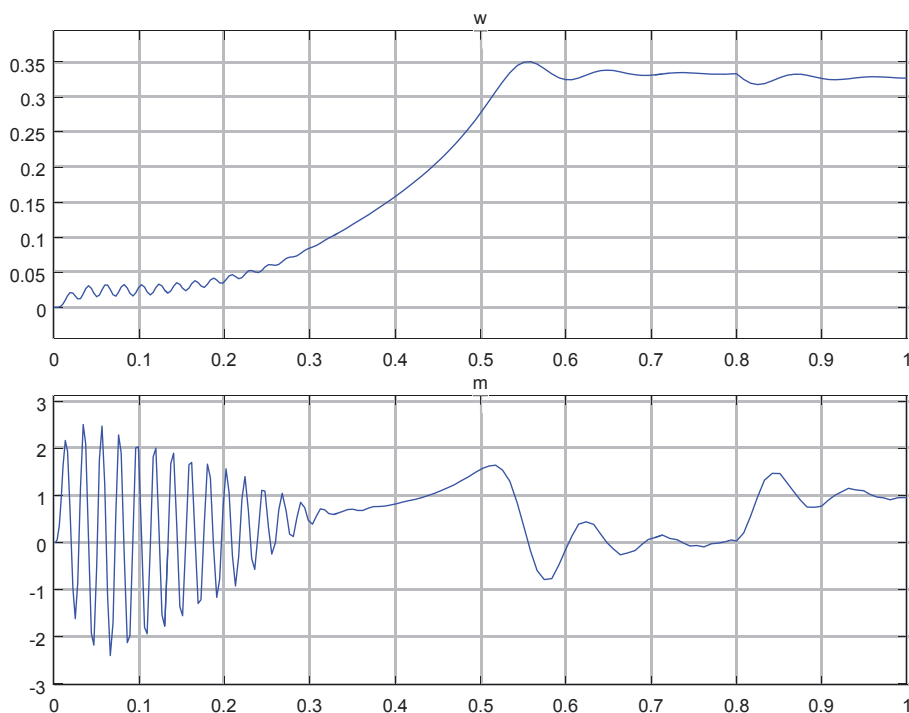


Рис. 15. Графики скорости и момента

Литература:

1. Емельянов, А. А., Бесклеткин В. В., Коновалов И. Д., Антоненко И. А., Харин В. С., Ченцова Е. В., Шевнин С. С., Федосеев П. В. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными ψ_s — i_s в Simulink-Script // Молодой ученый. — 2016. — № 21. — С. 20–30.
2. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
3. Шрейнер, Р. Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р. Т. Шрейнер, А. В. Костылев, В. К. Кривовяз, С. И. Шилин. Под ред. проф. д. т. н. Р. Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф. — пед. ун-т», 2008. — 361 с.

Математическая модель асинхронного двигателя с переменными ψ_s — i_s на выходе интегрирующих звеньев в Simulink-Script

Емельянов Александр Александрович, доцент;
 Бесклеткин Виктор Викторович, ассистент;
 Кривцов Алексей Вячеславович, студент;
 Чиркова Анастасия Андреевна, студент;
 Дудин Александр Сергеевич, студент;
 Кудимов Юрий Сергеевич, студент;
 Андреева Анастасия Андреевна, студент;
 Лепинских Наталия Аркадьевна, студент;
 Строшкова Анастасия Викторовна, студент;
 Лихачева Ирина Викторовна, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Данная работа является продолжением статьи [1], в которой проекции вектора \bar{i}_s были получены на выходе апериодических звеньев. В этой статье проекции векторов $\bar{\psi}_s$ и \bar{i}_s выведены на основе интегрирующих звеньев.

Для лучшего понимания логики преобразований необходимо просмотреть все предыдущие наши статьи по этой теме за 2015 г. Так как главной целью является привлечение студентов к исследовательской работе, то в соответствии с нашей традицией, выводы всех уравнений приводим без сокращений.

Приведем уравнение, связывающее векторы \bar{u}_s и \bar{i}_s по проекции (+1) [1]:

$$0 = \frac{r_r}{l_m} \cdot \Psi_{sx} - \frac{r_r}{k_s} \cdot i_{sx} + \frac{1}{k_r} \cdot u_{sx} + \frac{1}{k_r} \cdot \omega_\kappa \cdot \Psi_{sy} - \frac{r_s}{k_r} \cdot i_{sx} - l_{\sigma^3} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \cdot i_{sx} \right) - \omega_\kappa \cdot \frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{sy} + \omega \cdot z_p \cdot \frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{sy} + l_{\sigma^3} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}. \quad (1)$$

Перенесем $l_{\sigma^3} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \cdot i_{sx} \right)$ в левую часть:

$$l_{\sigma^3} \cdot \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \cdot i_{sx} = \frac{r_r}{l_m} \cdot \Psi_{sx} - \underbrace{\left(\frac{r_r}{k_s} + \frac{r_s}{k_r} \right)}_{r_{s3}} \cdot i_{sx} + \frac{1}{k_r} \cdot u_{sx} + \omega \cdot z_p \cdot \frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{sy} + l_{\sigma^3} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}.$$

Обозначим $r_{s3} = \frac{r_r}{k_s} + \frac{r_s}{k_r} = \frac{1}{k_r} \cdot \left(\frac{k_r}{k_s} \cdot r_r + r_s \right)$.

Разделим обе части на r_{s3} :

$$\left(\frac{l_{\sigma^3}}{r_{s3}} \cdot \frac{1}{\Omega_\sigma} \right) \cdot s \cdot i_{sx} = \frac{r_r}{l_m \cdot r_{s3}} \cdot \Psi_{sx} - i_{sx} + \frac{1}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot u_{sx} + \frac{z_p}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sy}) + \frac{l_{\sigma^3}}{r_{s3}} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}.$$

Обозначим $\frac{l_{\sigma^3}}{r_{s3}} = T_{s3}$:

$$\left(T_{s3} \cdot \frac{1}{\Omega_\sigma} \right) \cdot s \cdot i_{sx} = \frac{r_r}{l_m \cdot r_{s3}} \cdot \Psi_{sx} - i_{sx} + \frac{1}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot u_{sx} + \frac{z_p}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sy}) + T_{s3} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}.$$

Определим i_{sx} :

$$i_{sx} = \left[\underbrace{\frac{r_r}{l_m \cdot r_{s3}} \cdot \Psi_{sx}}_2 - \underbrace{i_{sx}}_1 + \underbrace{\frac{1}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot u_{sx}}_3 + \underbrace{\frac{z_p}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sy})}_5 + \underbrace{T_{s3} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sy}}_4 \right] \cdot \frac{\Omega_\sigma}{T_{s3}} \cdot \frac{1}{s}. \quad (2)$$

Структурная схема для реализации уравнения (2) дана на рис. 1.

Аналогично для уравнения, связывающего векторы \bar{u}_s и \bar{i}_s по проекции (+j) [1]:

$$0 = \frac{r_r}{l_m} \cdot \Psi_{sy} - \frac{r_r}{k_s} \cdot i_{sy} + \frac{1}{k_r} \cdot u_{sy} - \frac{\omega_\kappa}{k_r} \cdot \Psi_{sx} - \frac{r_s}{k_r} \cdot i_{sy} - l_{\sigma^3} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \cdot i_{sy} \right) + \frac{\omega_\kappa}{k_r} \cdot \Psi_{sx} - \frac{z_p}{k_r} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sx}) - (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot l_{\sigma^3} \cdot i_{sx}. \quad (3)$$

Перенесем $l_{\sigma^3} \cdot \left(\frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \cdot i_{sy} \right)$ в левую часть:

$$l_{\sigma^3} \cdot \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \cdot i_{sy} = - \underbrace{\left(\frac{r_r}{k_s} + \frac{r_s}{k_r} \right)}_{r_{s3}} \cdot i_{sy} + \frac{r_r}{l_m} \cdot \Psi_{sy} + \frac{1}{k_r} \cdot u_{sy} - \frac{z_p}{k_r} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sx}) - (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot l_{\sigma^3} \cdot i_{sx}.$$

Разделим обе части полученного уравнения на r_{s3} :

$$\left(T_{s3} \cdot \frac{1}{\Omega_\sigma} \right) \cdot s \cdot i_{sy} = -i_{sy} + \frac{r_r}{l_m \cdot r_{s3}} \cdot \Psi_{sy} + \frac{1}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot u_{sy} - \frac{z_p}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sx}) - (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sx}.$$

Отсюда определим ток i_{sy} :

$$i_{sy} = \left[-\underbrace{i_{sy}}_5 + \underbrace{\frac{r_r}{l_m \cdot r_{s3}} \cdot \Psi_{sy}}_4 + \underbrace{\frac{1}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot u_{sy}}_3 - \underbrace{\frac{z_p}{k_r \cdot r_{s3}} \cdot (\omega \cdot \Psi_{sx})}_1 - \underbrace{T_{s3} \cdot (\omega_\kappa - \omega \cdot z_p) \cdot i_{sx}}_2 \right] \cdot \frac{\Omega_\sigma}{T_{s3}} \cdot \frac{1}{s}. \quad (4)$$

Структурная схема, соответствующая уравнению (4), показана на рис. 2.

Из уравнения (1') [1] по оси (+1) выразим Ψ_{sx} :

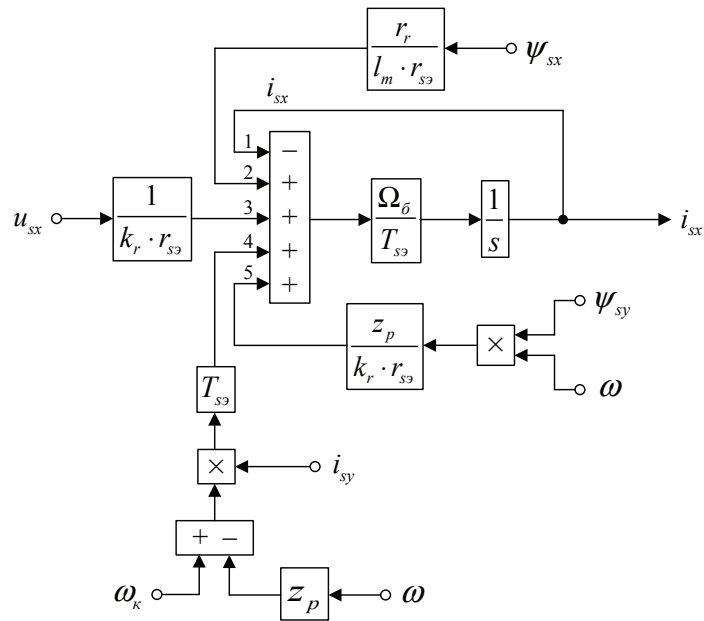


Рис. 1. Структурная схема проекции вектора статорного тока \vec{i}_s на ось +1

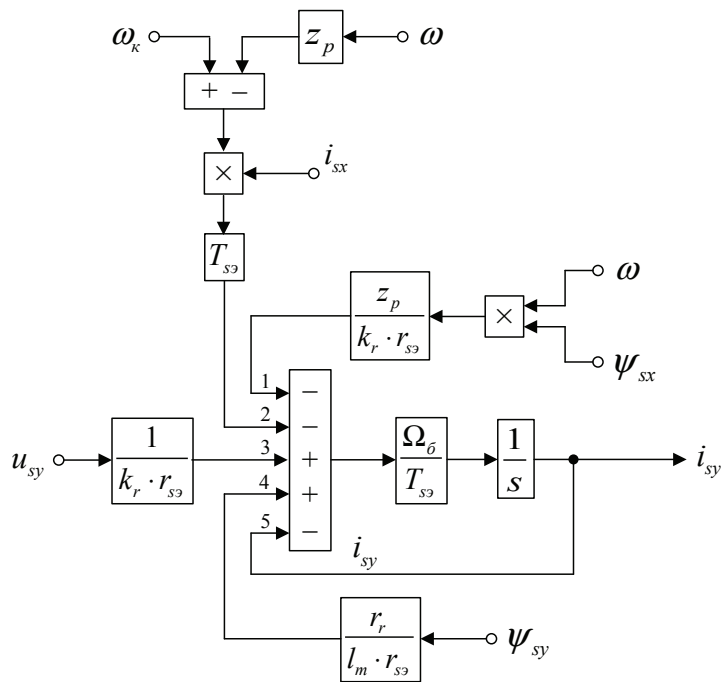


Рис. 2. Структурная схема проекции вектора статорного тока \vec{i}_s на ось +j

$$u_{sx} = r_s \cdot i_{sx} + \frac{1}{\Omega_\delta} \cdot s \cdot \Psi_{sx} - \omega_\kappa \cdot \Psi_{sy};$$

$$\frac{1}{\Omega_\delta} \cdot s \cdot \Psi_{sx} = u_{sx} - r_s \cdot i_{sx} + \omega_\kappa \cdot \Psi_{sy};$$

$$\Psi_{sx} = \left[\frac{u_{sx}}{2} - \underbrace{r_s \cdot i_{sx}}_1 + \underbrace{\omega_\kappa \cdot \Psi_{sy}}_3 \right] \cdot \Omega_\delta \cdot \frac{1}{s}.$$

(5)

Структурная схема для уравнения (5) приведена на рис. 3.

Из уравнения (1'') [1] по оси (+j) выразим Ψ_{sy} :

$$u_{sy} = r_s \cdot i_{sy} + \frac{1}{\Omega_\delta} \cdot s \cdot \Psi_{sy} + \omega_\kappa \cdot \Psi_{sx};$$

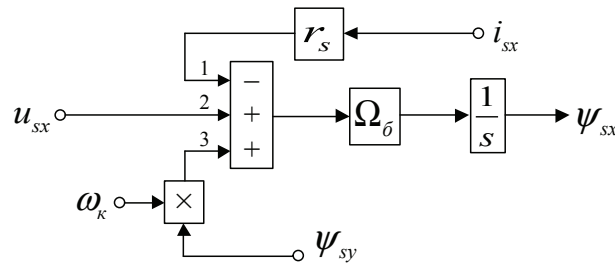


Рис. 3. Структурная схема проекции вектора потокоцепления статора $\bar{\psi}_s$ на ось (+1)

$$\frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot S \cdot \Psi_{sy} = u_{sy} - r_s \cdot i_{sy} - \omega_k \cdot \Psi_{sx};$$

$$\Psi_{sy} = \left[\underbrace{u_{sy}}_2 - \underbrace{r_s \cdot i_{sy}}_3 - \underbrace{\omega_k \cdot \Psi_{sx}}_1 \right] \cdot \Omega_{\delta} \cdot \frac{1}{S}. \tag{6}$$

Уравнению (6) соответствует структурная схема, приведенная на рис. 4.

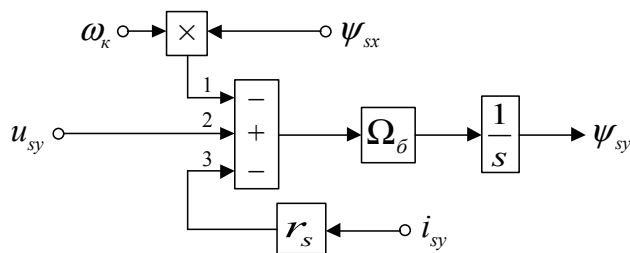


Рис. 4. Структурная схема проекции вектора потокоцепления статора $\bar{\psi}_s$ на ось (+j)

На рис. 5 представлены структурные схемы для реализации уравнений электромагнитного момента и механической угловой скорости вращения вала двигателя:

$$m = \zeta_N \cdot (\Psi_{sx} \cdot i_{sy} - \Psi_{sy} \cdot i_{sx});$$

$$m - m_c = T_j \cdot S \cdot \omega;$$

$$\omega = (m - m_c) \cdot \frac{1}{T_j} \cdot \frac{1}{S}. \tag{7}$$

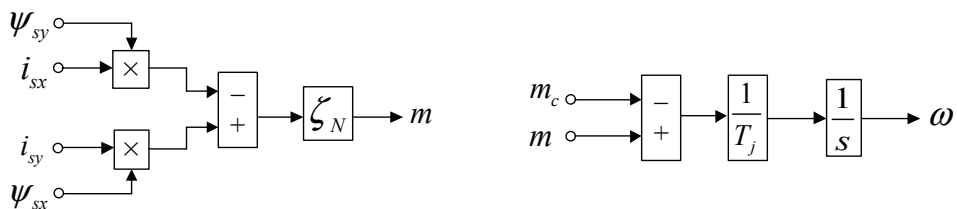


Рис. 5. Структурные схемы для определения электромагнитного момента m и механической угловой скорости вращения вала двигателя ω

Полная математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с переменными $\psi_s - i_s$ на выходе интегрирующих звеньев приведена на рис. 7. Параметры асинхронного двигателя рассмотрены в работах [2] и [3].

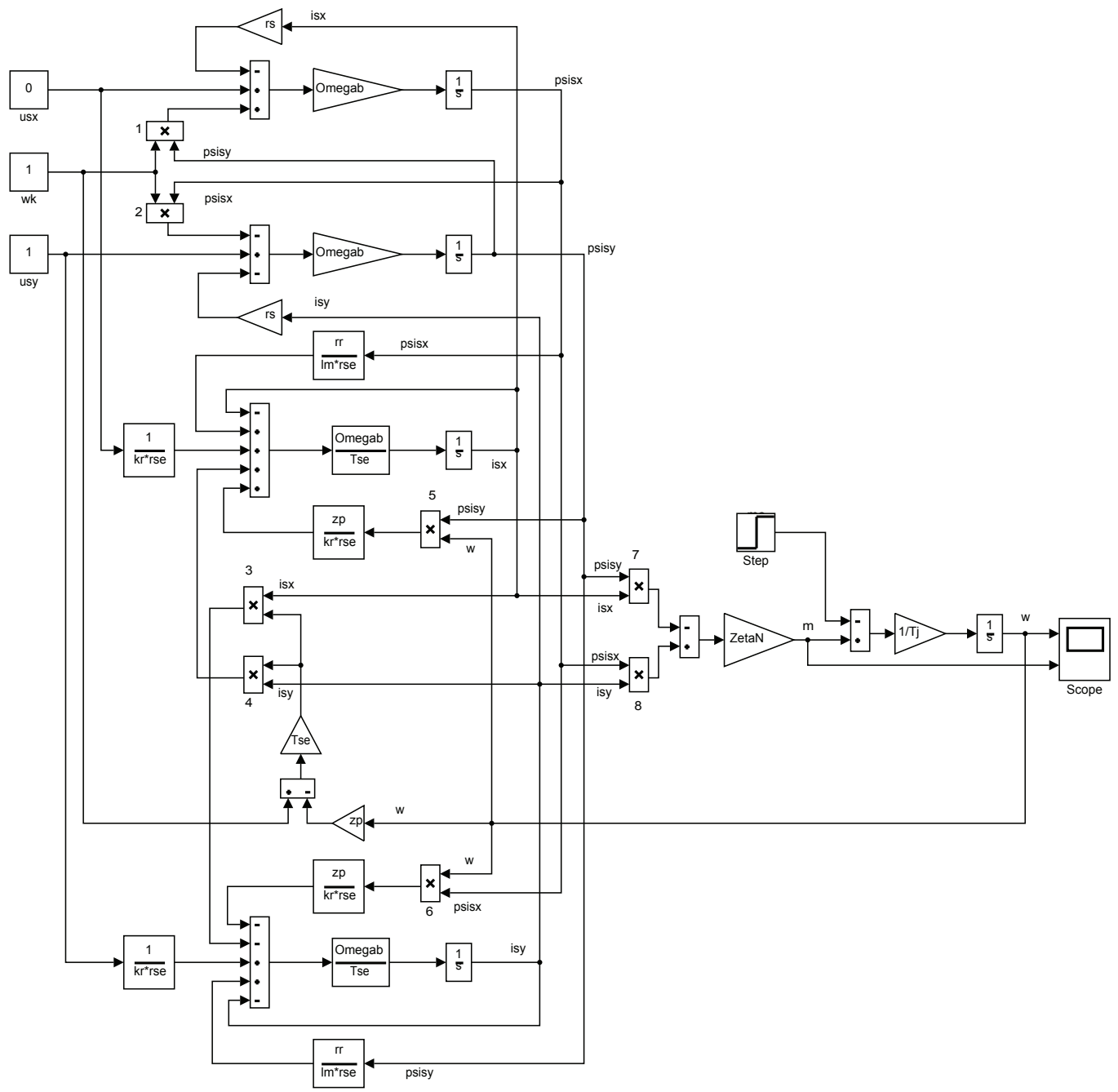


Рис. 7. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными ψ_s — i_s на выходе интегрирующих звеньев

Расчет параметров производим в Script:

```

PN=320000;           OmegasN=2*pi*fN;           Tj=J*Omegarb/Mb;
UsN=380;             Omegab=OmegasN;           betaN=(Omega0N-OmegaN)/Omega0N;
IsN=324;             Omegarb=Omegab/zp;         wN=(1-betaN);
fN=50;              Zb=Ub/Ib;                lbe=(ls+lr+ls*lr*lm^(-1));
Omega0N=104.7;       Psib=Ub/Omegab;           roN=0.9962;
OmegaN=102.83;       Lb=Psib/Ib;                rr=roN*betaN;
nN=0.944;            kd=1.0084;           alphas=kr*rr/lm;
cos_phiN=0.92;       Mb=kd*PN/OmegaN;          le=kr*lbe;
zp=3;                Pb=Mb*Omegarb;           re=rs+(kr^2)*rr;
Rs=0.0178;           rs=Rs/Zb;                Te=le/re;
Xs=0.118;            ls=Xs/Zb;                Tr=(lm+lr)/rr;
Rr=0.0194;           lr=Xr/Zb;                Psi_rN=0.942;
Xr=0.123;            lm=Xm/Zb;                Trb=lbe*ks/rr;
    
```

$$\begin{aligned}
 X_m &= 4.552; & S_s N &= 3 * U_s N * I_s N; & T_{sb} &= l_{be} * k_r / r_s; \\
 J &= 28; & Zeta N &= S_s N / P_b; & r_{se} &= (k_r * r_r / k_s + r_s) / k_r; \\
 U_b &= \sqrt{2} * U_s N; & k_s &= l_m / (l_m + l_s); & T_{se} &= l_{be} / r_{se}; \\
 I_b &= \sqrt{2} * I_s N; & k_r &= l_m / (l_m + l_r); & &
 \end{aligned}$$

Результаты моделирования асинхронного двигателя представлены на рис. 8.

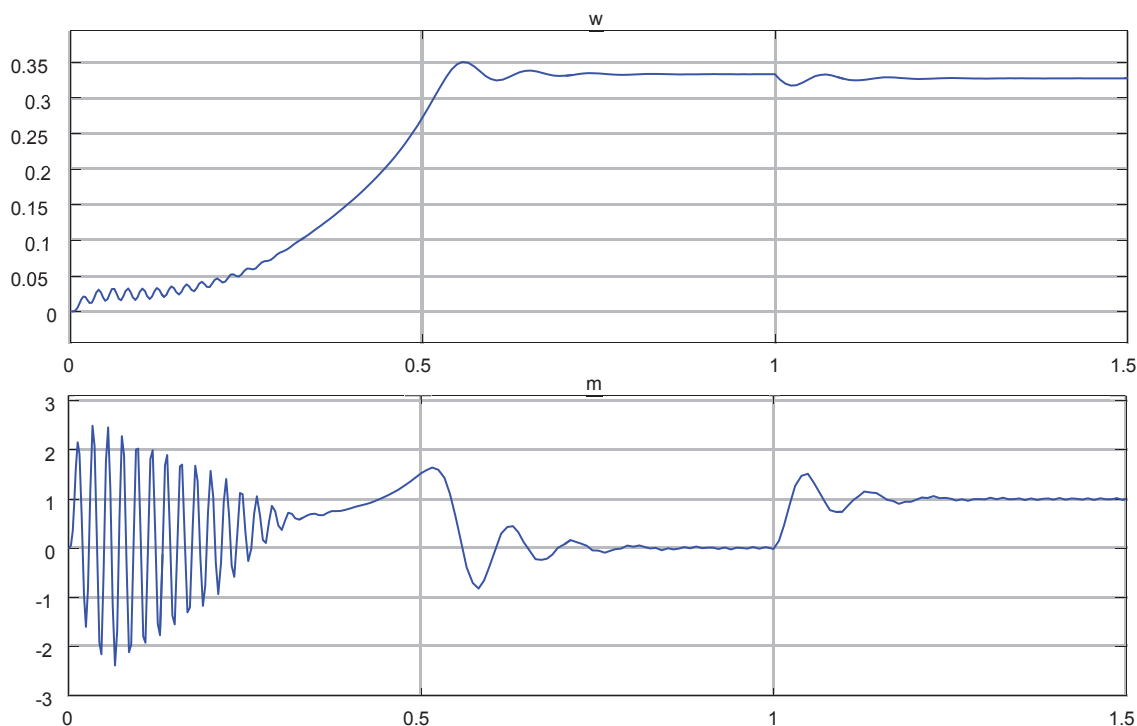


Рис. 8. Графики скорости и электромагнитного момента

Литература:

1. Емельянов, А. А., Бесклеткин В. В., Коновалов И. Д., Антоненко И. А., Харин В. С., Ченцова Е. В., Шевнин С. С., Федосеев П. В. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_s - i_s$ в Simulink-Script // Молодой ученый. — 2016. — № 21. — С. 20–30.
2. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
3. Шрейнер, Р. Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р. Т. Шрейнер, А. В. Костылев, В. К. Қривовяз, С. И. Шилин. Под ред. проф. д.т. н. Р. Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф. — пед. ун-т», 2008. — 361 с.

Наблюдение морфологии поверхности радиоматериалов и элементов твердотельной электроники

Железный Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
 Москалева Екатерина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент;
 Сычев Игорь Валерьевич, кандидат технических наук, доцент
 Воронежский институт МВД России

Обсуждается вопрос повышения качества технологии изготовления радиоматериалов и элементов твердотельной электроники. Предложен способ оптического наблюдения морфологии их поверхности.

Ключевые слова: морфология поверхности радиоматериала, визуально-оптический метод контроля качества поверхности

Применение радиоматериалов и элементов твердотельной электроники определяется их химическими и физическими свойствами, которые формируются в процессе изготовления и во многом определяются технологическим процессом и технологией изготовления.

В процессе изготовления компоненты твердотельной электроники подвержены влиянию многообразных факторов:

изменений технологической среды (параметров гидротермального синтеза — температуры, давления, концентрации реагентов, времени обработки, рН);

изменений технологии процесса (вариации действий операторов, варианты технологических решений);

изменений технологического оборудования (износ, старение отдельных деталей и оборудования в целом);

изменений свойств материалов и заготовок (морфологии, состава и степени кристалличности).

Действие указанных факторов может привести к появлению дефектов в поверхности получаемых материалов и элементов твердотельной электроники (рис. 1).

Изменение морфологии является способом управления параметрами функционирования материалов и используется в этих целях, а нежелательное изменение характеристик может привести к потере продукции, поскольку получаемый в результате материал может существенно отличаться по своим физическим свойствам от предполагаемого. Это приводит к не нужным энергозатратам, к потере дорогостоящих материалов и увеличению времени на изготовление.

Одной из возможностей решения задачи повышения качества изготовления материалов и элементов твердотельной электроники является осуществление контроля при разработке технологии [1, 2]. Выверенная технология позволяет минимизировать потери при серийном изготовлении. Поиск лучшего технологического решения — процесс творческий, результат которого во многом зависит от опыта и изобретательности технолога. В ходе этого процесса необходимо контролировать получаемый образец и документировать режимы и условия изготовления.

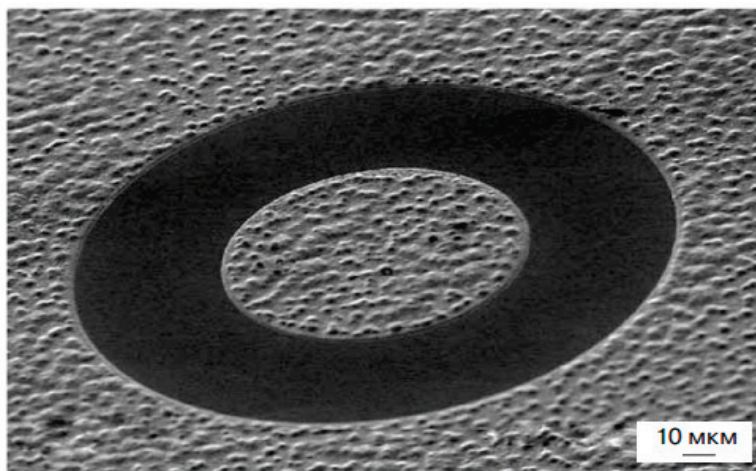


Рис. Морфология поверхности контактов, полученная на сканирующем электронном микроскопе [3]

Особое значение в технологии изготовления радиоматериалов и элементов твердотельной электроники имеет качество обработки поверхности [3–5]. Как было отмечено выше, в процессе изготовления интегральных схем должно контролироваться не только качество подготовки поверхности кристаллов, но и морфология поверхности, сформированная в результате планарной технологии.

Существуют различные методы контроля деталей и материалов при изготовлении [1, 2, 5], например, радиационные, акустические, акустико-эмиссионные, магнитные, вихретоковые, электрические, оптические, визуально-измерительные, вибро-диагностические, тепловые и проникающими веществами. Внутри каждого класса методов выделяются подклассы методов, различающихся между

собой по характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым материалом, первичным информативным параметрам и способам получения первичной информации.

При изготовлении радиоматериалов и элементов твердотельной электроники одним из основных условий является ненарушение структуры материала, поэтому многие методы контроля становятся неприменимы.

Визуально-оптический метод неразрушающего контроля основан на наблюдении и анализе параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом [2].

Широкое распространение получили оптические методы, использующие электромагнитные излучения — это

методы светового сечения, теневой проекции, интерференционные.

Преимущество этих методов состоит в том, что они являются бесконтактными и в качестве зондирующего пучка в них применяются фотоны. Фотоны имеют пренебрежимо малый импульс по сравнению с импульсом изучаемых частиц и являются нейтральными частицами, вследствие чего практически не возмущают исследуемую поверхность и не вызывают ее заряда.

Одним из вариантов контроля качества при разработке технологии изготовления радиоматериалов и элементов твердотельной электроники является визуальное обнаружение дефектов и принятие технологических решений «по факту».

Для этого требуются методы и средства наблюдения и диагностирования материала, позволяющие оценить морфологию его поверхности на текущий момент и спрогнозировать изменение ее состояния на ближайшее время. При этом поиск дефектов должен осуществляться на основе прямых и косвенных измерений и анализа параметров, определяющих химические и физические свойства материала.

Первичные данные, полученные по результатам измерений должны передавать четкость линий контура и морфологию поверхности, так как именно эти два фактора являются основными для технологического процесса изготовления радиоматериалов и компонентов твердотельной электроники. Например, при нечеткой линии контура невозможно получение малого промежутка между затвором и истоком транзистора [4], а при грубой поверхности металлизации трудно получить хороший контраст маркерных знаков при совмещении в процессе фото- или электронной литографии [3, 4].

Количество оцениваемых параметров может быть достаточно большим, а предъявляемые к быстродействию и точности измерений требования очень жесткими. Измеряемые параметры могут быть разнородными, например, амплитудными, шаговыми, гибридными, градиентами поверхности в различных точках, азимутальными направлениями; статистические методы анализа морфологии поверхности требуют расчета различного рода статистики трехмерных параметров шероховатостей и шагов неровностей. Поэтому требуется хранение и обработка больших массивов данных.

Математическая обработка параметров, например, при исследовании текстуры, может быть сведена к анализу внутри и межклассовых дисперсий. Анализ глубины неровностей и рельефа поверхности может осуществляться

на основе закономерности рассеяния света, отраженного от неровности поверхности путем определения среднего квадратичного отклонения профиля, радиуса корреляции.

Таким образом, при математической обработке параметров следует также учесть обработку исходной диагностической информации, вычисление спектральных характеристик, корреляционных функций, цифровую фильтрацию, вейвлет-анализ и т.д. Для реализации этих операций необходим компьютер или программируемый микроконтроллер и специально разработанное программное обеспечение (например, с использованием методов расчетов, изложенных в [2]).

Из сказанного следует, что проведение контроля морфологии радиоматериалов и компонентов твердотельной электроники может осуществляться при помощи комплекса, включающего в себя оптический микроскоп с установленной цифровой видеокамерой для микроскопа высокого разрешения, компьютер и программное обеспечение, разработанное для расчета оцениваемых параметров. Вместо видеокамеры может быть использована зеркальная камера с фотоадаптером для микроскопа, однако использование видеокамеры, очевидно, предпочтительнее.

В случае, если требуется визуализация, этот комплекс необходимо дополнить программным обеспечением просмотра получаемых изображений и проектором.

Для просмотра изображения на экране компьютера необходимо специальное программное обеспечение, имеющее широкий набор функций, в том числе обеспечивающее масштабирование, поворот, настройку яркости и контрастности, имеющее удобный интуитивный интерфейс и использующее немного ресурсов.

Проектор может быть использован для проецирования получаемого изображения, например, для сравнения с фото-эталоном.

Проведенные наблюдения поверхностей интегральных микросхем и поверхностей кристаллов кремния, подвергнутых различным видам обработки, с использованием традиционно используемого для этих целей микроскопа с увеличением около $\times 200$, видеокамеры для микроскопа SXY-150 и компьютера с программным обеспечением S-Viewer показало возможность наблюдения и демонстрации морфологии поверхности с фактическим увеличением более $\times 1000$. Увеличение определялось при помощи объект-микрометра. Программное обеспечение позволяет при этом проводить измерения линейных размеров и площади неограниченного количества элементов, а также их маркировку.

Литература:

1. Фельдман, Ф. Основы анализа поверхности и тонких пленок. / Ф. Фельдман, Д. Майер. — М.: Мир, 1989.
2. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. Пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. — Владивосток: ДВГТУ, 2007. — 243 с.
3. Jacobs, B. Towards integrated AlGaN/GaN based X-band high-power amplifiers. Proefschrift / B. Jacobs. — Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2004. — 204 p.

4. Xin, H.P. Optimization of AlGa_N/Ga_N HEMT Ohmic contacts for improved surface morphology with low contact resistance. / H.P. Xin, S. Poust, W. Sutton, D. Li, D. Lam, I. Smorchkova, R. Sandhu, B. Heying, J. Uyeda, M. Barsky, M. Wojtowicz, R. Lai. — Portland (USA), 2010. — P. 1491–4.
5. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Дел-чар; пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 564 с.

ИНФОРМАТИКА

Применение машинного обучения для обнаружения сетевых аномалий

Кожевникова Ирина Сергеевна, магистрант;
Ананьин Евгений Викторович, студент;
Лысенко Александр Вячеславович, студент;
Никишова Арина Валерьевна, доцент
Волгоградский государственный университет

Обнаружение вторжений изучается в течение последних 20 лет. Вторжение — это деятельность, которая нарушает политику безопасности информационной системы [1]. Обнаружение вторжений основано на предположении, что поведение нарушителя будет существенно отличаться от нормального поведения, что обеспечит обнаружение большого количества несанкционированных действий.

Системы обнаружения вторжений обычно используются совместно с другими системами защиты, такими как контроль доступа и аутентификации в качестве дополнительной защиты информационных систем [2]. Есть много причин, которые делают обнаружение вторжений важной частью во всей системе защиты. Во-первых, многие из существующих систем и приложений, были разработаны и построены без учета требований безопасности. Во-вторых, компьютерные системы и приложения могут иметь недостатки или ошибки в их конфигурации, которые могут быть использованы злоумышленниками для атаки систем или приложений. Таким образом, профилактический метод не может быть столь же эффективным, как и ожидалось.

Системы обнаружения вторжений можно разделить на два класса: системы обнаружения сигнатур и системы обнаружения аномалий. Система обнаружения сигнатур идентифицирует шаблоны трафика данных или приложений которые считаются вредоносными, в то время как системы обнаружения аномалий и сравнивают деятельность с нормальным поведением.

Согласно [3], [4] все методы обнаружения аномалий состоят из следующих основных модулей или этапов (рис. 1). Эти этапы параметризация, обучение и обнаружение. Параметризация включает в себя сбор исходных данных из контролируемой среды. Исходные данные должны быть типичными для системы, которая должна быть смоделирована, (например, данные пакета из сети). Этап обучения моделирует систему с помощью ручных или авто-

матических методов. Для архитектуры клиент-сервер, сервер является хост, который ожидает входящее соединение. Когда соединение устанавливается между клиентом и сервером, то сервер подтверждает сокет, который будет использоваться для создания экземпляра. Объект обработчика, который работает на отдельном потоке. Эти обработчики будут храниться в объекте коллекции.

Этапы, представленные в модели, будут отличаться в зависимости от используемого метода. При обнаружении сравнивается система, созданная на этапе моделирования, с выбранным параметризованным блоком данных. Пороговые критерии будут выбраны для определения аномального поведения [4].

Машинное обучение может построить необходимую модель автоматически на основе некоторых обучающих данных. Применение такого подхода нуждается в наличии необходимой подготовки данных, но эта задача является менее сложной по сравнению с вычислением аномальной модели [5]. С увеличением сложности и количества различных атак, методы машинного обучения, которые позволяют создавать и поддерживать системы обнаружения аномалий (ADS) с меньшим вмешательством человека является единственным практическим подходом для создания следующего поколения систем обнаружения вторжений.

Применение методов машинного обучения для обнаружения вторжений позволит автоматически построить модель, основанную на наборе обучающих данных, которая содержит экземпляры данных, описанных с помощью набора атрибутов (признаков). Атрибуты могут быть различных типов, например качественными или количественными.

Были рассмотрены различные алгоритмы обнаружения аномалий, в таблице 1 представлены плюсы и минусы каждого из них.

Обнаружение аномалий включает в себя контролируемые и неконтролируемые методы. Сравнительный анализ

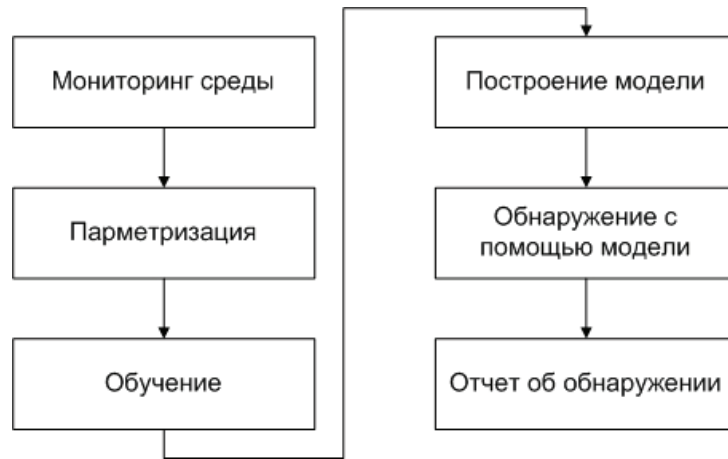


Рис. 1. Общая схема обнаружения аномалий

показал, что контролируемые методы обучения значительно превосходят неконтролируемые, если тестовые данные не содержат неизвестных атак. Среди контролируемых методов, наилучшая производительность достигается за счет нелинейных методов, таких как SVM, многослойный

персептрон и методов, основанных на правилах. Неконтролируемые методы, такие как K-средних, SOM, и один класс SVM показывают более высокую производительность по сравнению с другими методами, хотя они различаются по эффективности обнаружения всех классов атак.

Методы	Плюсы	Минусы
K — ближайших соседей	Легко реализуем, когда есть несколько предикторов. Применяется для построения моделей, которые обрабатывают нестандартные типы данных, такие как текст.	Большие требования к объему памяти. Зависит от выбора функции подобия, которая используется для сравнения экземпляров. Отсутствие принципиального способа выбора, кроме как через перекрестную проверку или аналогичный способ. Дорогая вычислительная техника.
Нейронная сеть	Нейронная сеть может выполнять задачи, которые не выполнит линейная программа. Когда один элемент не справляется с задачей, метод может продолжить работу благодаря параллельной обработке данных. Нейронную сеть не нужно перепрограммировать. Может быть реализована в любом приложении.	Нейронная сеть нуждается в обучении. Высокое время обработки больших нейронных сетей.
Дерево решений	Прост в реализации. Требует небольшой подготовки данных. Возможность обрабатывать как числовые и иные типы данных. Использует модель белого ящика. Возможность проверки модели с использованием статистических тестов. Работает с большими данными в короткий промежуток времени.	Проблема обучения оптимального дерева решений, как известно, является NP-полным по нескольким аспектам оптимальности и даже для простых задач. При создании дерева решений могут получиться неоптимальные и очень сложные деревья, которые плохо обрабатывают данные. Существуют задачи, которые невозможно отобразить деревом решений, потому что оно не описывает ее полностью.
Машина опорных векторов	Нахождение оптимального разделения гиперплоскости. Обрабатывает большую размерность данных. Обычно работает очень хорошо.	Нуждается как в положительных, так и в отрицательных примерах. Необходимо выбрать хорошую функцию ядра. Требует много памяти и процессорного времени. Есть некоторые численные проблемы устойчивости при решении ограничения QP

Самоорганизующиеся карты	Прост в реализации. Работает с нелинейным набором данных. Визуализация многомерных данных на 1 или 2-мерном пространстве делает его уникальным, особенно для уменьшения размерности.	Требуется много времени для вычислений.
K-средних	Низкая сложность.	Необходимость указания K. Чувствительны к помехам и посторонним точкам данных. Кластеры чувствительны к первоначальному значению.
Алгоритм нечёткой кластеризации Fuzzy C-means	Позволяет точке данных быть в нескольких кластерах.	Необходимо определить число кластеров C. Необходимо определить пороговое значение участников. Кластеры чувствительны к начальному заданию центроидов.
Аппроксимация	Можно легко изменить модель, чтобы адаптировать к различным распределениям наборов данных. Число параметров не увеличивается с увеличением обучающих данных.	В некоторых случаях наблюдается медленная сходимость.

Анализ показал, что контролируемые методы обучения значительно превосходят неконтролируемые, если исследуемые данные не содержат неизвестных атак. Среди контролируемых методов, наилучшая производительность достигается за счет нелинейных методов, таких как SVM, многослойный

перцептрон и методов основанных на правилах. Неконтролируемые методы, такие как K-средних, SOM, и один класс SVM показывают более высокую производительность по сравнению с другими методами, хотя они показывают различную эффективность обнаружения всех классов атак.

Литература:

1. Никишова, А. В. Интеллектуальная система обнаружения атак на основе многоагентного подхода // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10. Инновационная деятельность.. — 2011. — № 5. — С. 35–37.
2. Аткина, В. С. Оценка эффективности катастрофоустойчивых решений // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10. Инновационная деятельность.. — 2012. — № 6. — С. 45–48.
3. Estevez, J., Garcia P., Dyaz J. «Anomaly detection methods in wired networks: a survey and taxonomy». Computer Networks, том.27 — № .16. — 2004. — С. 1569–84.
4. Garcia, T., Diaz V., Macia F., Vazquezb. «Anomaly-based network intrusion detection». Computers and security, том 28. — 2009. — С. 18–28.
5. Omar, S., Ngadi A., Jebur H. «Machine Learning Techniques for Anomaly Detection: An Overview». International Journal of Computer Applications, том 79. — № 2. — 2013 — С. 33–41.

Клиентские обнаружения веб-прокси из непривилегированных мобильных устройств

Коккоз Махаббат Мейрамовна, кандидат педагогических наук, доцент;
 Кадилова Динара Талгатовна, магистрант;
 Дюсенбекова Салтанат Дулатовна, магистрант
 Карагандинский государственный технический университет (Казахстан)

Мобильные устройства, которые подключаются к интернету через сотовые сети, быстро становятся основным средством для доступа к веб-контенту. Сотовые

провайдеры («поставщики») широко применяются веб-прокси и другими настройками промежуточных устройств для обеспечения безопасности, оптимизации производи-

тельности и технических причин движения. Тем не менее, распространенность и политика этих веб-прокси, как правило, непрозрачны для пользователей, и трудно измерить без привилегированного доступа к устройствам и серверам. В этой статье мы представляем методику обнаружения веб-прокси, не требующих доступа к низкоуровневой трассировки пакетов на устройстве, ни доступа к контактному серверу. Мы продемонстрируем жизнеспособность этой техники, используя контролируемые эксперименты, и представим результаты работы нашего подхода на нескольких производственных сетях и популярных веб-сайтах. Далее мы изучим поведение этих веб-прокси, в том числе кэширование, переадресацию, и переписывание контента. Наш анализ может выявить как влияет веб-прокси на производительность сети и мы выпустим приложение для Android под названием Proxy Detector на Google Play Store, позволяющий обычным пользователям с непривилегированными (некорневыми) устройствами понять размещение веб-прокси.

Такие мобильные устройства как смартфоны и планшеты становятся все более вездесущими, сотовая сеть передачи данных расширена для обслуживания роста их сетевого трафика. Отчасти из-за дефицитной и дорогостоящей полосы пропускания, провайдеры услуг сотовой связи (ППО) размещают веб-прокси и другие настройки на промежуточных устройствах для эффективного использования этих ограниченных ресурсов и для повышения производительности сети.

Вывод нашей методики основана на наблюдении, в котором веб-прокси, за которым мы наблюдали в мобильных сетях, вклинилась на трафик порта 80 (протокол http), но не вклинилась на порт 443 (https), предположительно потому, что они предполагают, что шифрование по протоколу https поможет избежать многих прокси-объектов из рабочей (например, кэширование, транскодирование и перенаправления). Таким образом, мы определяем сервера, которые служат как http, так и https-трафик, а также используем тесты на порту 443, как наш «контроль», что не является субъектом стратегии прокси-сервера.

Одной из ключевых задач нашей работы является обнаружение прокси без доступа к низкоуровневой трассировки пакетов, без доступа к Web-серверам. Поэтому

наша методология должна обеспечить способ сделать вывод, что существует веб-прокси, основанный только на информации, полученной из слоя приложения на клиенте. Достижение этой цели требует от нас решения двух проблем: 1) контроль трафика является предметом доверенности взаиморасположения, и 2) выявление влияния этого вмешательства.

Для решения первой задачи, мы опираемся на результаты предыдущих исследований, где веб-прокси работают на только на определенные порты трафика (например, порт 80 для HTTP), но не на другие (например, порт 443 для HTTPS). Таким образом мы прибегаем назад к экспериментам для получения тех же веб-страниц через http и https с того же сервера, 2 — где последний не подлежит взаиморасположению прокси. Для решения второй проблемы мы используем комбинацию функций, которые включают задержку различия и модификацию содержимого.

Проверка наличия прокси-сервера. Мы используем задержку подхода к выводу о существовании веб-прокси. В частности, для каждого направления мы создаем TCP-сокет, и измеряем время приема-передачи (РТТ) между SYN и SYN /ACK, как измеряется клиентом. Мы делаем это на порт 80 и порт 443, вплотную измеряем, затем повторяем эту пару измерений несколько раз к посчитать шум производительности сотовой сети. 3 исходя из наших наблюдений, веб-прокси отправляет пакет SYN/ACK в клиента сразу; однако, пакет SYN отправляется на тот же сервер 443, пройдет прокси-сервера и ответ придет напрямую с сервера назначения. Таким образом, мы сравниваем RTT_{80} с RTT_{443} . Мы предполагаем, что веб-прокси находится где-то на пути между клиентом и web-сервером, и поэтому если в сети существует веб-прокси, то RTT_{80} должна быть не менее RTT_{443} . В противном случае, измеренные на этих двух портах РТТ должны быть почти идентичны.

Так как задержка сотовой сети может значительно меняться с течением времени из-за условий канала и скопления, важно использовать несколько образцов. Однако существует компромисс между увеличением количества образцов и минимизации трафика, потребляемого нашими тестами для пользователей, работающих нашими экспериментами. Чтобы исследовать этот вопрос, мы исследовали влияние ряда тестов на точность системы.

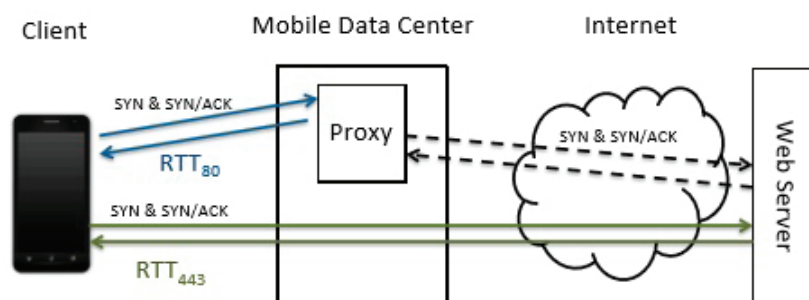


Рис. 1. Диаграмма, изображающая типичный веб-прокси, который разделяет TCP-соединения на порт 80 (http), но не на порт 443 (https)

При изменении количества тестов от 2 до 10 мы обнаружили, что 4 датчика были лучшими номерами для точного определения прокси даже в присутствии шума при минимальном количестве испытаний.

Чтобы понять влияние прокси на популярные направления в Интернете, мы выбрали веб-сайты из топ 100 мировых сайтов Алексы [1]. Однако, есть две проблемы при выборе сайтов использования для определения прокси. Во-первых, для достижения хорошего качества обслуживания интернет-пользователей, многие сервера назначения уже размещены вблизи (или внутри) мобильных сетей, то прокси и назначения пути сервера практически идентичны. Используя только такие сайты, в наших измерениях может привести к ложноотрицательных результатов, поскольку RTT80 будет похож на RTT443 (мы рассмотрим это на рис. 2).

Во-вторых, шум в сотовой сети из-за перегрузки, сила сигнала и другие факторы могут повлиять на наши выводы, вызывая задержки существенно различающихся по тестам. Чтобы достоверно определить прокси-поведение, таким образом, нам нужно выбрать направления, которые являются относительно «далекими» от клиента, гораздо больше, чем любое отклонение в показателях из-за сети.

С учетом этого шума, мы предлагаем следующий динамический подход, который корректирует разницу в любой системе измерения. Сначала мы измеряем RTT 443 за 100 ведущих веб-сайтов сразу. Затем мы используем стандартное отклонение (SD) по измерениям RTT, используем $2*SD$ как порог для исключения направлений, которые находятся «слишком близко» к сети для использования прокси-вывода. В частности для каждого места назначения мы сравниваем RTT443 с $2*SD$, и смотрим, если первое больше, чем второе, мы удаляем сайты, чьи RTT443 меньше, чем $2*SD$.

При проверке прокси-сервера, наш клиент устанавливает TCP-сокеты с целевым веб-сервером на порт 80 и порт 443. Мы используем 4 датчика для каждого теста, т.е. для каждого назначения мы собираем четыре пары RTT80 и RTT443. Для каждой пары мы вычисляем разницу между RTT443 и RTT80. После этого мы вычисляем стандартное отклонение (SD) из этих четырех значений разницы. Для каждого сайта сравниваем разницу и SD. Если значение разности больше нуля и больше чем SD, мы предполагаем что этот веб-прокси в сети. Мы утвердили этот подход для всех перевозчиков Соединенных Штатов в нашем исследовании, используя тесты на контролируемом сервере в Amazon EC2 в Вирджинии. Мы обнаружили, что наш метод вывода дало идентичные результаты.

Кэширование. Для обнаружения кэширования на веб-прокси, мы предполагаем, что время выборки для содержимого из кэша меньше, чем от начального сервера, исходя из предположения, что кэш ближе к клиенту с точки зрения времени ожидания. Таким образом, мы используем латентную методологию для того, чтобы сделать вывод о том, есть ли кэширование прокси в сети, для опреде-

ления кэширования на основе различий в разное время, при повторном извлечении кэшированного содержания.

Конкретно, мы посылаем два последовательных HTTP GET, чтобы получить такой же (кэшированный) объект дважды. Предполагая пустой кэш в начале эксперимента, и что веб-прокси кэширует извлеченный контент, извлеченный объект будет кэшироваться после первой HTTP GET. В этом случае второй HTTP GET будет обслуживаться из кэша. Затем мы вычисляем разницу во времени загрузки для двух GetS (first80 и second80) и делаем вывод, что объект был кэширован, если first80 статистически больше, чем second80.

Поскольку данный объект может быть кэширован в предыдущей выборке, мы используем несколько источников контента (некоторые из которых не следует сохранять в кэше) и убеждаемся, что наши эксперименты оставляют достаточное время между парами GETs, чтобы гарантировать, что любое кэшированное содержимое истекает [2]. Мы проверили этот подход с нашим управляемым сервером, подтвердили, что каждая из записей истечет. Для двух носителей, развернутых в Веб кэшированных (Sprint и Boost), мы обнаружили, что записи кэша истекают через 5 минут.

Мы динамически определили, какие объекты выбрать для тестирования, чтобы кэшировать с помощью загрузки индексной страницы для популярных веб-сайтов и извлечения URL-адресов для встроенных объектов. Мы обнаружили, что Веб-кэширование не кэширует все типы файлов. Чтобы исследовать это поведение, мы включаем CSS, JavaScript, JPG, PNG, GIF и HTML файлы в нашем эксперименте, потому что они обычно встроены в веб-страницы.

Похожий сценарий у обнаружения прокси, мы не можем обнаружить поведение кэширования прокси-сервера, если кэш и начальный сервер относительно близко друг к другу и размеры файлов невелики. Таким образом, мы повторно использовали «далекие» сайты, которые мы включаем в прокси выявляющего эксперимента для извлечения URL, и мы исключаем мелкие объекты (менее 5 КБ).

Объект перезаписи. Для обнаружения объекта перезаписи, мы рассчитываем на то, что веб-прокси не может модифицировать HTTPS трафик не нарушая шифрования, но может свободно сделать это с HTTP трафиком. Таким образом мы сравнили результаты выборки похожего Web объекта через HTTPS и HTTP для определения изменения содержания на незашифрованном трафике [4].

Мы используем аналогичный подход к методологии кэш-обнаружения для идентификации объектов для извлечения, используя встроенные объекты на популярных веб-сайтах и обеспечения того, чтобы серверы хостинга поддерживали контент как HTTP и HTTPS. Мы выбрали каждый объект через HTTP (порт 80) и HTTPS (порт 443), и сравнили содержимое извлеченных объектов для идентификации перезаписи.

Это, конечно, возможно, что веб-контент извлекающийся из порта 80 и 443 не идентичен, и, эти различия

в содержании не обязательны для перезаписи. Чтобы исключить ложную тревогу, мы используем сервер, мы контролируем проверку различия веб-контента при извлечении с помощью HTTP и HTTPS, основываясь на предположении, что такое поведение не будет меняться в зависимости от местоположения клиента. Если содержание одинаково по обоим протоколам для нашего сервера управления, но они разные при получении черезтовую сеть, мы приходим к выводу о том, что веб-прокси перезаписывает содержимое HTTP.

We include CSS, JavaScript, PNG, GIF, JPG, and HTML files in the experiment to explore what file types are rewritten and how. Our approach allows us to detect behaviors such as transcoding, compression, header modification, and content injection.

Мы включаем CSS, JavaScript, PNG, GIF, JPG, HTML файлы в эксперимент, чтобы исследовать какие типы файлов были переписаны и каким образом. Наш подход позволяет нам обнаружить поведения, такие как транскодирование, сжатие заголовка, видоизменение и инъекции содержимого.

Литература:

1. Alexa top 100 websites. <http://www.alexa.com/topsites>.
2. G. Detal, B. Hesmans, O. Bonaventure, Y. Vanaubel, and B. Donnet. Revealing middlebox interference with tracebox. In Proc. of IMC. ACM, 2013.
3. V. Farkas, B. Heder, and S. Nov'aczki. A Split Connection TCP Proxy in LTE Networks. In Inf. Comm. Tech., 2012.
4. C. Kreibich, N. Weaver, B. Nechaev, and V. Paxson. Netalyzer: Illuminating the edge network. In Proc. of IMC, 2010.
5. A. Nikraves, H. Yao, S. Xu, D. Choffnes, and Z. M. Mao. Mobilyzer: An open platform for controllable mobile network measurements. In Proc. of MobiSys. ACM, 2015.

Перенаправление. Хи и др. [3] показали, что некоторые веб-прокси игнорируют IP-адрес, предоставляющий HTTP GET запросы, и вместо этого, чтобы выполнить новый поиск DNS для определения назначения IP основывается на разрешении доменных имен в хосте: поле в HTTP GET заголовка запроса. В этом случае HTTP поток может быть отправлен на другой сервер, не обусловленный клиентом. Чтобы обнаружить такое поведение перенаправления, мы были не в состоянии эффективно использовать латентные методы, поэтому мы используем два сервера под нашим контролем, E1 и E2, каждый из которых имеет другой IP-адрес. Мы изменили содержимое заголовка HTTP GET, помещая имя домена E1 в хост: поля и отправив запрос GET на E2 (при условии, что IP-адрес E2 в заголовке IP).

Мы делаем это как для E1 и E2, и проверяем, какой сервер получает запрос HTTP [5]. Если E1 получает запрос GET, это указывает на то, что прокси-сервер Web перенаправил запрос GET E2 путем разрешения доменного имени E1 в IP-адрес E1. В противном случае, прокси-сервер не делает перенаправление.

LMS-система как механизм повышения качества обучения студентов очного отделения: симбиоз конкурентного подхода и технологий социальных сетей на базе свободного программного обеспечения

Меркель Александра Викторовна, студент;

Радыгин Виктор Юрьевич, кандидат технических наук, доцент;

Куприянов Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент;

Лукьянова Наталия Владимировна, кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва)

Подробно исследован вопрос трансформации систем электронного обучения за последние два десятилетия. Показаны особенности использования данных систем для обучения очных студентов внутри университета. Исследовано влияние выбора системы учёта успеваемости студентов и её интеграции в систему электронного обучения на мотивацию элитарной группы студентов. Предложен собственный подход к выбору принципов и технологий построения системы электронного обучения.

Ключевые слова: e-learning, LMS, m-learning, мотивация студентов, конкурентный подход, Ruby on Rails, Markdown, динамический рейтинг

Всё возрастающая конкуренция на рынке высшего образования диктует необходимость применения все

более совершенных средств для повышения качества обучения студентов университетов. Лицом любого высшего

учебного заведения являются его студенты очного отделения, следовательно, задача совершенствования методов их подготовки является наиболее актуальной. В то же время, трансформация психики современного поколения в сторону всеобщей информатизации и социальных сетей требует кардинальной модернизации технологий передачи знаний. Решением данного вопроса может стать внедрение современных систем электронного обучения.

Несмотря на огромное количество систем электронного обучения (LMS) на международном рынке выбор конкретного решения, удовлетворяющего текущему моменту, отнюдь не тривиален. Большинство университетов сегодня сталкиваются с общим падением уровня школьного образования, снижением государственного финансирования, необходимостью диверсификации источников дохода. Таким образом, эффективная LMS-система, направленная на повышение качества образования студентов очного отделения, должна, прежде всего, удовлетворять критерию низкой стоимости. Она должна предоставлять все основные элементы технологии социальных сетей. Также система должна способствовать созданию конкурентной среды, ориентированной на обучающихся с сильной дифференциацией базовых знаний. Решением данного вопроса может быть ориентация на свободные программные средства.

Литературный обзор

В последние десятилетия современные социально-технологические тенденции кардинальным образом меняют методики обучения в крупных университетах. Прежде всего, эти изменения касаются перехода от классической лекционной модели передачи знаний и семестровой экзаменационной модели к студентоцентричным моделям, уменьшающим роль очного общения между преподавателем и обучающимся.

Стремительная информатизация общества привела к серьёзной трансформации в методологии преподавания, её эволюции на основе внедрения систем электронного обучения. Их важность на сегодняшний день очевидна и подчёркнута в работах многих авторов из разных стран мира. Например, N. Van Phuc в статье [1] показывает, как система электронного обучения не только помогает студентам Вьетнама в изучении основных дисциплин, но и способствует развитию таких навыков, как управление информацией, креативное мышление, критическое мышление и т.д. Н. Емельянова в своей работе [2] показывает преимущества систем электронного обучения на примере Высшей школы экономики (Россия). Таким образом, можно смело говорить, что системы электронного обучения стали неотъемлемой частью работы современного вуза, стремящегося к качественному обучению мирового уровня.

Дальнейшим развитием систем электронного обучения стало появление систем массовых открытых онлайн-курсов (Massive Open Online Courses) [3]. Биз-

нес-модель современных систем MOOC и причины её эффективности подробно разобраны в работе E. L. Burd [4]. Анализ данного вопроса показывает, что в большинстве случаев основная целевая аудитория MOOC систем — это не студенты очного отделения университета, создателя курса, а, в лучшем случае, студенты, обучающиеся дистанционно или сторонние заинтересованные лица. Это приводит к потере эффективности применения данных систем с целью повышения качества обучения внутри образовательной организации.

Многие университеты ошибочно путают системы электронного обучения и публикацию учебных материалов в открытом доступе. Опыт ведущих вузов мира показывает, что это не одно и то же. К примеру, в Массачусетском технологическом институте (также в Стэнфорде, Карнеги-Меллоне и др.) уже более десяти лет действует инициатива открытых курсов (MIT Open Courseware Initiatives). Как показывает в своей работе M. Vladiou [5] эти программы успешны как с точки зрения репутации университета, так и с точки зрения обучения студентов и обмена опытом с другими университетами. Но сегодня для повышения качества обучения очных студентов такого подхода недостаточно!

Абитуриенты, поступающие сегодня в университеты, живут в новом информационном пространстве, базирующемся, прежде всего, на социальных сетях и мобильных технологиях. Большинство успешных университетов уже несколько лет внедряют подобные технологии в свои системы электронного обучения. Так, например, M. Lucas в своей работе [6] показывает механизмы использования социальных сетей для построения распределённой системы электронного обучения на примере первого года магистратуры. M. Šepić в своей работе [7] доказывает на примере университета Градца-Кралоуе необходимость перехода от методологии «чёрной доски» к современным технологиям социальных сетей.

На смену электронным системам обучения (e-learning) приходят мобильные системы обучения (m-learning). Постепенное внедрение мобильных технологий в образовательный процесс университета подробно показали в своей работе R. Picek [8]. Таким образом, можно без колебаний сказать, что методология преподавания в последние десять лет пережила очередную значительную трансформацию и вошла в новую мобильную эру.

Поддержание конкуренции в условиях применения электронных систем обучения при сильной дифференциации уровня абитуриентов

Сложная экономическая ситуация в большинстве стран мира диктует даже ведущим университетам необходимость рассматривать различные бизнес-модели учебной деятельности. Многие университеты, в том числе большинство российских, вынуждены работать в бизнес-модели большого набора, с последующим вычленением элиты и диверсификации обучения на различные группы

по сложности подаваемого материала. Подробно данная модель рассмотрена в работе М. Сгюв [9]. Она требует эффективных способов дифференциации студентов с целью последующего отбора лучших. При этом должна быть обеспечена поддержка мотивации среди элитарной группы в условиях общего обучения на младших курсах со студентами более слабого начального уровня.

Одним из способов повышения мотивации может быть конкурентная борьба. Важной компонентой её обеспечения является эффективная система оценки, интегрированная в систему электронного обучения.

К сожалению, существующие системы электронного обучения рассматривают задачу ведения успеваемости студентов как второстепенную. В большинстве из них предусмотрена возможность учёта оценок студентов посредством элементов линейной кредитно-рейтинговой системы, наиболее часто применяемой в классических университетах. При подобной системе студенты, выполняя те или иные задания по курсу, набирают кредиты, которые суммируются в общее количество баллов. При достижении данной суммы определённой величины дисциплина считается сданной на минимальную оценку. При дальнейшем росте суммы кредитов оценка может увеличиться. Таким образом, даже если в конце курса предусмотрен экзамен или зачёт, то он не вносит принципиально кардинальных изменений в результирующую оценку студента по данному курсу, а только корректирует её в большую сторону.

Преимущество данного подхода заключается в стимулировании студентов на постоянную работу в течение всего семестра. Таким образом, устраняется привычка студентов «учиться только в сессию». Тем не менее, не-

смотря на все положительные стороны данной модели, её применение максимально эффективно только при работе с набором студентов приблизительно одинакового уровня подготовки и мотивации.

На сегодняшний день многие университеты стран, в которых высшее образование преимущественно бесплатно (например, Россия, Франция, Швеция, Китай и т.д.), сталкиваются с ситуацией сильной дифференциации начального уровня подготовки абитуриентов, поступающих на первый курс обучения. Главной проблемой в таких условиях становится задача поддержания мотивации элитарной группы студентов на фоне более слабых параллельно обучающихся сокурсников.

Проведённое авторами в ряде университетов исследование показало, что в данных условиях линейная кредитно-рейтинговая система становится не только неэффективной, но и наоборот снижает к концу курса мотивацию элитарных обучающихся. В качестве примера рассмотрим статистический анализ успеваемости студентов, обучающихся с 2009 по 2014 года на первом курсе специальности «Информатика и вычислительная техника» в Московском государственном индустриальном университете (сегодня объединён с Московским политехническим университетом). В указанный период для обучения данных студентов применялась линейная кредитно-рейтинговая система. Обучения осуществлялось в очной форме с применением системы электронного обучения. С целью уменьшения фактора различия в подходах обучения на разных специальностях в данном анализе рассматриваются студенты только одной специальности. Подробно статистические характеристики выборки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики исследуемой выборки

Название характеристики	Единица измерения	Значение
Срок формирования выборки	год	6
Количество представленных в выборке студентов	единица	715
Среднее число учитываемых в рейтинге курсов, изучаемых студентами за первый семестр	единица	6
Математическое ожидание для выборки вступительных баллов студентов	% от единицы	53,1
Среднеквадратическое отклонение для выборки вступительных баллов студентов	% от единицы	22,8
Математическое ожидание для выборки итогового среднего рейтинга студентов	% от единицы	58,0
Среднеквадратическое отклонение для выборки итогового среднего рейтинга студентов	% от единицы	23,7

Для анализа начального уровня подготовки студентов используются их вступительные баллы. Причём сначала значения каждого года поступления нормализуются относительно максимального балла в данный год. Затем значения по всем годам нормализуются относительно разницы между максимальным и минимальным значениями.

Для анализа уровня дифференциации достижений студентов к концу первого семестра обучения используются средние значения сумм набранных в течение семестра студентом баллов рейтинга по всем дисциплинам общепрофессионального цикла. Причём сначала значения каждого года обучения нормализуются относительно мак-

симального среднего балла в данный год. Затем значения по всем годам нормализуются относительно разницы между максимальным и минимальным значениями.

Результаты проведённого в Московском государственном индустриальном университете исследования показаны на рисунках 1, 2.

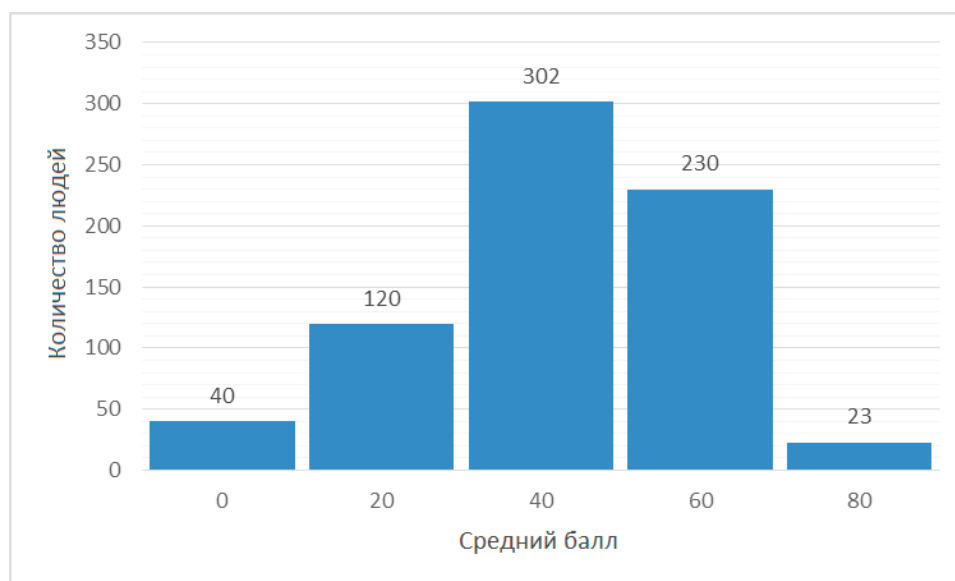


Рис. 1. Распределение числа поступающих на первый курс студентов по уровню вступительных баллов

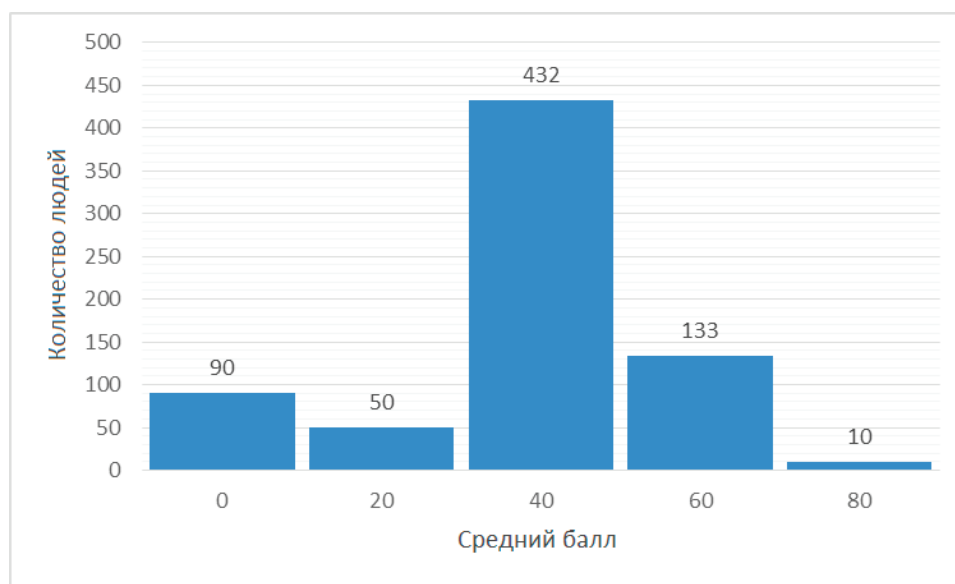


Рис. 2. Распределение числа завершивших первый семестр студентов по уровню их средних баллов

Как видно из рисунка 1 распределение абитуриентов по уровню подготовки стремится к нормальному. При этом убывание численности студентов по мере удаления от среднего уровня подготовки к экстремальным значениям достаточно ровное. Фактически, количество абитуриентов с уровнем подготовки выше среднего составляет более 30% от общего числа поступающих.

Из рисунка 2 видно, что к концу семестра проявились две тенденции. Во-первых, сработало основное назначение линейной кредитно-рейтинговой системы: были успешно отсеяны студенты, для которых интенсив-

ность нагрузки и сложность курсов оказалась слишком большой. Данный факт подтверждает высокое по сравнению с аналогичной позицией на рисунке 1 значение самого левого столбца гистограммы. Также значительный вклад в данный столбец внесли студенты, неправильно выбравшие специальность и стремящиеся к концу первого семестра её покинуть, и студенты, пропустившие значительную часть семестра по болезни. Тем не менее, можно смело говорить, что с задачей отсеивания «слабых» студентов подобная методика учёта успеваемости справляется отлично.

Вторая тенденция, просматриваемая на рисунке 2, носит ярко негативный характер. Анализ группы студентов с успеваемостью выше 20% от максимальной показывает, что распределение их численности относительно среднего суммарного балла стало гораздо более приближено к нормальному распределению. Убывание численности студентов по мере удаления от среднего уровня к экстремальным значениям носит резких характер. Число студентов с результатами выше среднего сократилось до менее чем 20% за один семестр. Исследования, проведённые в других вузах и на других специальностях, в большинстве случаев подтверждают данную тенденцию. Исключение составляют вузы с очень высоким входным порогом или маленькими группами в рамках одной специальности.

Ориентированные на среднего студента рамки оценивания приводят к тому, что студенты со способностями выше среднего уже к середине семестра чётко понимают, что набрать необходимое количество баллов в оставшееся время для них не составит труда. В свою очередь это приводит, в лучшем случае, к снижению мотивации к обучению, а в худшем случае, даже к снижению посещаемости среди них. При условии повторения данной тенденции более одного семестра возникает ситуация, когда вместо взращивания талантов, университет превращается в фабрику по выпуску усреднённых специалистов, среди которых только талантливые единицы не потеряли мотивацию и смогли добиться больших успехов по сравнению с остальными.

Отдельно хотелось бы подчеркнуть, что подобная ситуация снижает мотивацию не только у студентов, но и у преподавателей, уменьшая их желание готовить специальные материалы для более сильной группы обучающихся.

Таким образом, проведённое исследование показало необходимость применения более совершенных рейтинговых моделей. Одним из решений может быть внедрение системы динамического рейтинга. Данный подход позволяет учитывать факт падения успехов студента, уменьшая вклад в общий результат достижений с большим сроком давности. Подробнее данная система описана в работе [10]. К сожалению, большинство современных систем электронного обучения не включают в себя подобные механизмы. По этой причине внедрение даже самых совершенных готовых систем электронного обучения в образовательный процесс требует значительной доработки силами ИТ-департамента университета.

Анализ современных систем электронного обучения и требований, предъявляемых к ним в российских университетах

На сегодняшний день на рынке программного обеспечения представлен широкий спектр систем электронного обучения. Их можно поделить на три основные группы: проприетарные программные продукты, свободные программные продукты, продукты, базирующиеся на об-

лачных технологиях, или сервера, доступные посредством веб-доступа.

По данным сайта edutechnica.com [11] в 2015 году доля американских университетов, использовавших проприетарные системы, составила 63,9% от общего числа высших учебных заведений США. Подробно об опыте и особенностях использования данных систем можно узнать из работ К. Wainwright [12], А. Plott [13], S. Kinash [14], N. Munkhtsetseg [15], J. Morger [16]. L. MacKinnon в своей работе [17] показывает, что для построения студентоцентричной модели обучения необходима система электронного обучения. В качестве решения они предлагают LMS Canvas.

К сожалению, все проприетарные системы электронного обучения обладают рядом существенных недостатков. Для российских вузов, ограниченных в бюджете и выборе статей его расходования, главной проблемой является цена системы. Вторая, но не менее важная, сложность определяется трудностями и высокой стоимостью доработки данных систем.

Российское законодательство в сфере персональных данных накладывает жёсткие ограничения на то, какую информацию университет может выкладывать в открытый доступ. Дополнительным фактором в крупных российских вузах является наличие закрытых специальностей, материалы обучения по которым ни в коем случае не могут быть выложены для всеобщего обозрения. С другой стороны, всё возрастающие требования к повышению качества обучения студентов и необходимость конкурентной борьбы университета на международной арене, в том числе, и в рейтингах высших учебных заведений, приводят к стремлению сделать все материалы максимально открытыми. Таким образом, система электронного обучения должна удовлетворять двум противоположным требованиям: быть открытой и закрытой одновременно! Причём данная открытость должна касаться всех аспектов системы электронного обучения, включая и работу с современными технологиями социальных сетей. С одной стороны, она должна быть интегрирована с такими средствами, как Facebook, Twitter, ВКонтакте и т.д. С другой стороны, она должна предлагать собственные, закрытые аналоги элементов социальных сетей. К сожалению, ни одна из проприетарных систем электронного обучения подобным противоречивым набором возможностей не обладает, что порождает необходимость собственной доработки подобных систем после их развертывания в университете. Причём, учитывая проприетарность данных продуктов и отсутствие доступа к их исходным кодам, доработка связана с серьёзными финансовыми затратами (если работы заказываются у фирмы разработчика) или с технологическими трудностями (если работы выполняются самостоятельно).

По данным сайта edutechnica.com [11] в 2015 году доля американских университетов, использовавших системы электронного обучения с открытым кодом, составила 24,6% от общего числа высших учебных заведений США. Подробно об опыте и особенностях использования данных

систем можно узнать из работ J. Chauhan [18], V. M. Ramesh [19], T. Martin-Blas [20], S. Graf [21], R. A. Sanchez [22].

Использование свободного программного обеспечения в значительной мере решает вопрос затрат на развёртывание системы электронного обучения. Тем не менее, вопрос необходимости выполнения дополнительной доработки систем остаётся актуальным и для свободных программных продуктов. Как показывают в своих работах M. J. Casany [23] и C. Chilivumbo [24] на сегодняшний день степень поддержки мобильных технологий в данных системах недостаточна и требует доработки.

К облачным технологиям относятся все основные MOOC системы. Представляемые ими функциональные возможности довольно разнообразны и развиваются с каждым годом. Тем не менее, для всех указанных систем характерна проблема невозможности их серьёзной доработки для нужд конкретного университета, в том числе, невозможность внедрения интегрированной с ними системы динамического рейтинга для учёта успеваемости студентов. Отдельно хотелось бы отметить, что в рамках требования российского законодательства о хранении персональных данных на серверах внутри России, полноценное использование данных систем также не представляется возможным.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного, для вузов России очевидна невозможность использования готовой системы электронного обучения. Качественное обучение требует разработки собственной системы либо на базе существующих проектов с открытым кодом, либо полностью самостоятельно, силами IT департамента высшего учебного заведения.

Выбор базовых технологий для разработки собственной системы электронного обучения: кластер вузов

Основные требования к средствам разработки LMS системы могут быть сформулированы следующим образом: средство разработки должно быть гибким, способным обеспечить быструю и эффективную модификацию продукта, должно позволять осуществлять работу со всеми основными форматами информации, интегрироваться с социальными и научными сетями. По этой причине в качестве базового механизма разработки выбран современный фреймворк Ruby on Rails [25, 26]. Он обеспечивает эффективную реализацию MVC (Model-View-Controller) шаблона проектирования и предоставляет эффективные средства объектно-реляционного преобразования посредством системы ActiveRecord.

Для решения задачи интерактивного взаимодействия с пользователем выбрана связка средств Ajax — jQuery [27]. jQuery — это популярная JavaScript-библиотека, имеющая огромное количество преимуществ, в том числе удобство использования, лёгкость и большое количество встраиваемых модулей.

Ajax, в свою очередь, обеспечивает подход к построению интерактивных пользовательских интерфейсов, заключающийся в «фоновом» обмене данными браузера с веб-сервером. В результате, при обновлении данных веб-страница не перезагружается полностью, веб-приложение становится более быстрым и удобным.

LMS-система должна обеспечивать взаимодействие между пользователями в режиме online. Базовый набор средств, предоставляемых веб-серверами и браузерами, не предусматривает нужного функционала. Таким образом, возникает необходимость применения дополнительных средств online взаимодействия между ними для обеспечения своевременной реакции клиента на события, происходящие на сервере. Большую популярность в последнее время приобрела в этой области технология WebSocket [28]. К сожалению, она обладает рядом существенных недостатков. Прежде всего, это работа по собственному протоколу, отличному от протокола HTTP. Данная особенность может приводить к серьёзным проблемам при работе в крупных корпоративных сетях, для которых характерна блокировка всех нестандартных протоколов передачи данных. Кроме того, существенным недостатком является высокая сложность применения данной технологии с программной точки зрения.

По этим причинам для эффективной реализации обратной связи от клиентского браузера в веб-приложении планируется использовать механизмы Message Bus [29].

Особой задачей является обеспечение универсальности подачи материалов. Внутреннее представление учебных материалов должно быть таким, чтобы их можно было трансформировать во все основные форматы, используемые конечными пользователями, начиная от HTML и TeX и заканчивая форматами Microsoft Word, Excel и Power Point. Для решения данной задачи в качестве средства внутреннего представления материалов были выбраны два формата: HTML и Markdown [30]. Работа с обоими форматами возможна как в текстовом режиме, так и в формате WYSIWYG-редактора. При этом их последующая конвертация в формате более высокого уровня не является сложной задачей.

Использование современных средств веб-разработки, таких как Sass, Haml, CoffeeScript призвано значительно облегчить реализацию адаптивной верстки приложения. Таким образом, возможна реализация единой группы интерфейсов, как для мобильных устройств, так и для стационарных компьютеров. Более того, современные средства построения презентаций на основе веб-технологий, такие как Reveal JS, позволяют реализовать эффективный и гибкий механизм динамического представления информации, рассчитанный как на работу в режиме проектора, так и на одиночный просмотр студентом удалённо.

Интеграция современных технологий социальных сетей будет выполнена как на уровне прямого импорта/экспорта в наиболее популярные сети посредством API, предоставляемых компаниями разработчиками, так и на уровне создания собственного закрытого аналога соци-

альной сети. В совокупности с динамической рейтинговой мерой повысить мотивацию студентов и преподавателей системой всё вышесказанное позволит в значительной и увеличит общую эффективность обучения.

Литература:

1. Van Phuc, N. The solution for building a strategic plan for e-learning at universities in Vietnam // International Conference on Education and e-Learning Innovations, ICEELI 2012, Proceeding pp.1–5.
2. N. Emelyanova, E. Voronina. Introducing a Learning Management System at a Russian University: Students' and Teachers' Perceptions // The International Review of Research in Open and Distance Learning. 2014. Vol. 15. No. 1 (2014). pp. 272–289.
3. Abedi, M., Beikverdi, A. Rise of massive open online courses Engineering Education (ICEED), 20124th International Congress, Proceeding pp.1–4.
4. Burd, E.L., Smith, S.P., Reisman, S. Exploring Business Models for MOOCs in Higher Education // Innovative Higher Education Volume 40, Issue 1, 2014, Pages 37–49.
5. M. Vladoiu Open Courseware Initiatives — After 10 Years // Roedunet International Conference (RoEduNet), 2011, pp.1–6.
6. M. Lucas, A. Moreira Knowledge Construction with Social Web Tools // Technology Enhanced Learning. Quality of Teaching and Education Reform. Proceedings of First International Conference, TECH-EDUCATION2010, — Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010 — pp. 278–284.
7. M. Černá Trends in Acceptance of Social Software Applications in Higher Education from the Perspective of University Students - Case Study // Proceedings of the European Conference on e-Learning, 2014, pp. 121–129.
8. Picek, R.; Grcic, M., Evaluation of the potential use of m-learning in higher education // Information Technology Interfaces (ITI), Proceedings of the ITI 201335th International Conference, pp.63–68.
9. M. Crow, W. Dabars. Designing the New American — University Baltimore, John Hopkins University Press, 2015—360pp.
10. Александров, А. И., Лукьянова Н. В., Радыгин В. Ю., Роганов Е. А. Использование динамической рейтинговой системы для повышения качества обучения студентов технических направлений // Молодой ученый, № 3(83), 2015 — С717–722.
11. <http://edutechnica.com/2015/10/10/lms-data-3rd-annual-update> — отчёт об использовании систем электронного обучения в США и некоторых других странах. Дата последнего обращения 07.11.2016.
12. Wainwright, K., Osterman, M., Finnerman, C., Hill, B. Traversing the LMS terrain // Proceedings ACM SIGUCCS User Services Conference, 2007, — pp. 355–359.
13. Plott, A. Web 2.0 in Blackboard learn: Mind the template // Proceedings ACM SIGUCCS User Services Conference, 2010, — pp. 285–286.
14. Kinash, S., Brand, J., Mathew, T., Kordyban, R. University student experiences of mobile learning: One year beyond commencement // International Journal of Innovation and Learning Vol. 13, Is. 2, 2013, — pp. 201–217.
15. Munkhtsetseg, N., Garmaa, D., Uyanga, S. Multi-criteria comparative evaluation of the E-learning systems: A case study // Proceedings — 20147th International Conference on Ubi-Media Computing and Workshops, U-MEDIA 2014, — pp. 190–195.
16. Morger, J. Consistency and convenience: Use of canvas in help desk staff training // Proceedings ACM SIGUCCS User Services Conference — pp. 59–62.
17. MacKinnon, L., и Bacon, L. The move to student-centric learning: Progress and pitfalls // Proceedings of the International Conference on e-Learning, ICEL — pp. 188–195.
18. Chauhan, J., Batbayar, K., Sharma, R., Sharma, D., Popli, D., Kumar, N., Goel, A. Towards adapting sakai for e-Learning provider // CSEDU2015—7th International Conference on Computer Supported Education, Proceedings, Vol. 1, 2015, — pp. 306–314.
19. Ramesh, V.M., Ramanathan, C. A rubric to Evaluate Learning Management Systems // Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, TALE2013, — pp. 73–77.
20. Martin-Blas, T., Serrano-Fernandez, A. The role of new technologies in the learning process: Moodle as a teaching tool in Physics // Computers and Education Vol. 52, Is. 1, January 2009, — pp. 35–44.
21. Graf, S., List, B. An evaluation of open source e-learning platforms stressing adaptation issues // Proceedings — 5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2005, — pp. 163–165.
22. Sanchez, R.A., Hueros, A.D. Motivational factors that influence the acceptance of Moodle using TAM // Computers in Human Behavior Vol. 26, Is. 6, November 2010, — pp. 1632–1640.
23. Casany, M.J., Alier, M., Mayol, E., Piguillem, J., Galanis, N., Garcia-Penalvo, F.J., Conde, M. A. Extending Moodle Services to Mobile Devices: The Moodbile Project // Proceedings of UBICOMM 2012—6th International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, — pp. 24–28.

24. Chilumbo, C. Mobile E-learning: The choice between Responsive/Mobile Websites and Mobile Applications for Virtual Learning Environments for increasing access to Higher Education in Malawi // Proceedings of IST-Africa Conference, 2015, — pp.1–15.
25. Viswanathan, V. Rapid web application development: A ruby on rails tutorial // IEEE Software Vol. 25, Is. 6, 2008, — pp. 98–106.
26. Wagstrom, P., Jergensen, C., Sarma, A. A network of rails: A graph dataset of ruby on rails and associated projects // Proceedings of IEEE International Working Conference on Mining Software Repositories, 2013, — pp. 229–232.
27. Liao, Y., Zhang, Z., Yang, Y. Web applications based on ajax technology and its framework // Communications in Computer and Information Science Vol. 288 CCIS, Is. PART 1, 2012, — pp. 320–326.
28. Pimentel, V., Nickerson, B. G. Communicating and displaying real-time data with WebSocket // IEEE Internet Computing Vol. 16, Is. 4, 2012, — pp. 45–53.
29. https://github.com/SamSaffron/message_bus — официальный сайт библиотеки Message Bus для фреймворка Ruby on Rails. Дата последнего обращения 07.11.2016.
30. Voegler, J., Bornschein, J., Weber, G. Markdown — A simple syntax for transcription of accessible study materials // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) Vol. 8547 LNCS, Is. PART 1, 2014, — pp. 545–548.

Приложение для составления библиографического описания

Самохина Виктория Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент
Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова в г. Нерюнгри

Каждый студент, сталкиваясь с проблемой составления списка используемой литературы. К составлению библиографического списка выдвигается ряд требований, который определяют следующие документы:

- ГОСТ 7.0.5–2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82–2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- ГОСТ 7.12–1993. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила;
- ГОСТ 7.11–2004. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках.

В среднем, количество литературных источников для дипломной работы составляет 45–50 источников, для курсовой работы 15–20, а для реферативных работ не менее пяти источников.

Составление списка литературы является обязательным элементом любой научно-исследовательской работы: реферата, статьи, курсовой, дипломной работы и др. Список включает литературу, имеющую непосредственное отношение к исследуемой теме. Большое значение имеет правильное оформление библиографического описания документов.

Данная работа требует не только внимательности, но и времени: если у человека нет навыка составления данного списка, ему приходится систематически заглядывать в ГОСТ, что отнимает много времени.

Целью работы является, разработка программного приложения, которое помогло бы правильно оформлять библиографическое описание в соответствии с ГОСТ.

Библиографическое описание — это совокупность библиографических сведений о документе или его частях, приведенных по установленным правилам и предназначенных для унификации и общей характеристики документа.

Согласно ГОСТ 7.1–2003 в состав библиографического описания входят следующие области: заглавия и сведений об ответственности; издания; специфических сведений; выходных данных; физической характеристики; серии; примечания; стандартного номера и условий доступности.

Для создания программы использовалась среда программирования Delphi XE2

Программа состоит из двух частей:

- база данных access;
- экраны, позволяющие вводить, редактировать, просматривать, сортировать и искать данные.

База данных состоит из трех таблиц: «Каталог», «Автор» и «Издательство» (рис. 1).

Основной таблицей в базе данных, представленной в программе, является «Каталог».

При запуске программы отображается главная форма, в ней приведены все таблицы базы данных, это является наиболее удобным, так как предполагается, что данные будут постоянно пополняться (рис. 2).

При выборе определенного литературного источника программа автоматически формирует заполненный список литературы составленный в соответствии с ГОСТ.

Также имеется возможность выбора с использованием фильтра по таким критериям как: «Издательство», «Автор», «Тип источника».

catalog_id	book_name	pages_count	annotations	author_id	izdat_id
3	Экономическа	416	Базиков, А.А. Э	5	4
8	Английский яз	200	Баранова, К.М.	11	10
10	Социальная фи	352	Гобозов, И.А. С	13	10
11	Причины кризи	36	Боков, В.К. При	14	13
12	Фармацевтиче	323	Фармацевтиче	15	14
13	Мировая экон	256	Абрамов, В.Л.	16	15
15	Психология тр	383	Носкова, О.Г. Пс	18	17
16	Метрология, с	90	Васильева Т.Н.	17	19
17	Физиология че	619	Солодков А.С.	19	20

Рис. 1. База данных, таблица «Каталог»

Литература Информация Выход

Поиск книг

Издательства Авторы Тип источника

Наименование:

Название	Страниц, шт.	Автор	Издательство
Экономическая теория в микро-, макро- и	416	Базиков А.А.	М.: Омега-Л, 2013
Английский язык. Звездный английский (§	200	Баранова, К.М	М.: Дашков и К, 2013
Социальная философия: Учебник для вуза	352	Гобозов, И.А.	М.: Просв., 2010
Причины кризиса экономической модели С	36	Боков, В.К.	Рн/Д: Феникс, 2013
Фармацевтическая химия: учеб. пособиед	323	Совенко И.Н.	М.: Акад. Проект
Мировая экономика: Учебное пособие	256	Абрамов, В.Л.	РБК. -2014.
Психология труда: учеб. пособие для сту.	383	Носкова О.Г.	М.: Дашков и К, 2008
Метрология, стандартизация, сертифика	90	Васильева, Т.Н.	М.: Флинта, МПСУ, 201
Физиология человека. Общая. Спортивна	619	Солодков А.С.	М: Академия, 2011

Гост

Васильева Т.Н. Метрология, стандартизация, сертификация в АСУ: учеб. пособ. для студентов вузов / Васильева Т.Н. - М.: Рос. ун-т дружбы народов, 2012. - 90с.

Рис. 2. Главный экран программы «Библиографическое описание»

Справочник авторов

Авторы

Е.Н. Басовская

Е.В. Васильева

Т.В. М...

А.Г. В...

И.П. Аг...

Баран...

Галкин...

Гобоз...

Боков...

Совен...

Абрам...

Василь...

Носкова О.Г.

Солодков А.С.

Введенская Л.А.

Назарова Е.Н.

*

Добавить

Редактировать

Сохранить

Отмена

Выход

Редактирование автора

ФИО автора:

Рис. 3. Окно «Добавление автора»

В случае, когда в программе отсутствует нужный источник, пользователь может самостоятельно внести данные, после чего программа автоматически построит правильное библиографическое описание по ГОСТу.

Для того чтобы занести в базу данных новую литературу, нужно открыть вкладку «Информация» и выбрать пункт «Авторы». Далее откроется форма «Справочник

авторов», в которой отображается список уже существующей литературы в базе данных, выбрать нужное действие «Добавить», «Редактировать» или «Удалить» (рис. 3.).

После того как пользователь занес в базу данных основную информацию, он может переходить во вкладку «Литература» и при нажатии на кнопку «Добавить» откроется окно «Редактирование каталога» (рис. 4).

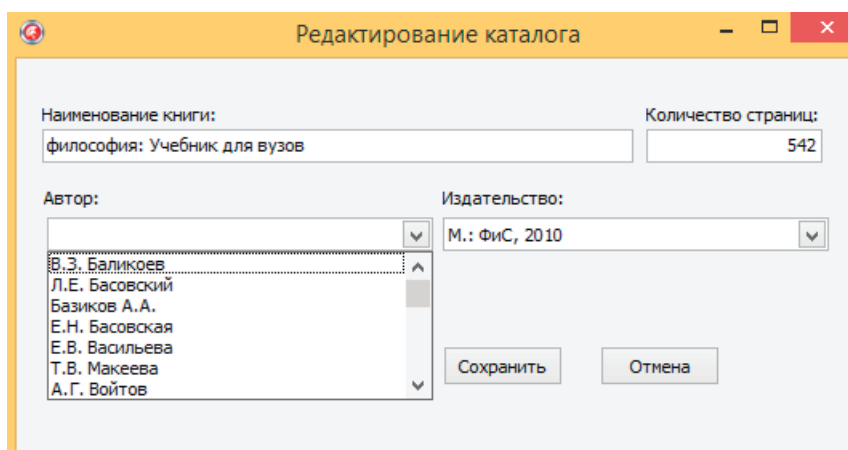


Рис. 4. Окно «Редактирование каталога»

Автор и издательство литературы отображается в выпадающем списке, который был сформирован при добавлении данной информации ранее.

В случае, когда пользователь по невнимательности при заполнении пропустит какой-либо пункт, то программа предупредит об этом (рис. 5).

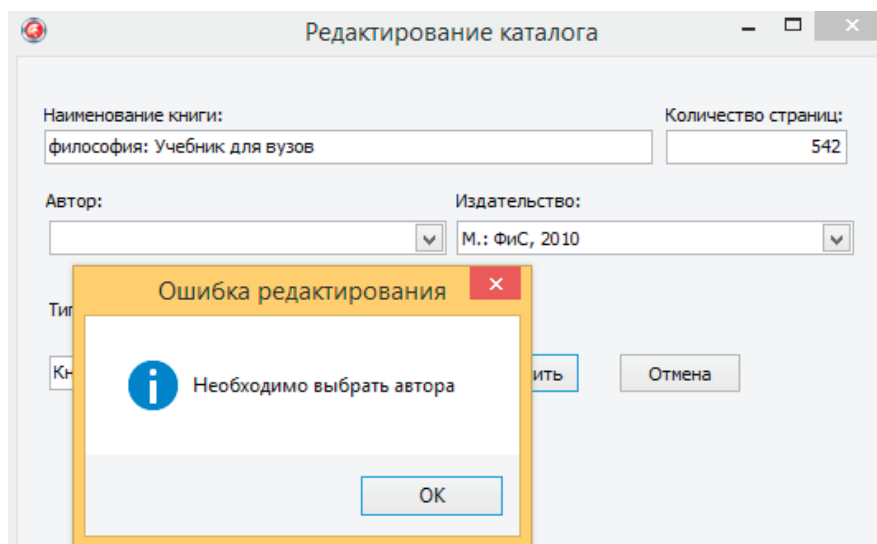


Рис. 5. Окно «Ошибка редактирования»

Данная программа позволит без труда составить список используемой литературы любому пользователю.

Литература:

1. ГОСТ 7.26–80. Библиотечное дело. Основные термины и определения. — Введ. 01.01.82. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 13 с. — (Система стандартов по информ., библи. и изд. делу).

2. ГОСТ 7.27–80. Научно-информационная деятельность. Основные термины и определения. — Введ. 01.01.82. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 12 с. — Система стандартов по информ., библиот. и изд. делу).
3. Глушаков, С. В., Клевцов А. Л., Программирование в среде Delphi 7.0, Фолио 2003—415 с.
4. Орлов, С. А. Теория и практика языков программирования: Учебник для вузов. Стандарт 3-го поколения. — СПб.: Питер, 2014. — 668 с.

Особенности разработки языковых модулей для IDE NetBeans на примере языка HAML

Шелудько Сергей Дмитриевич, студент;

Науменко Алексей Михайлович, студент;

Радыгин Виктор Юрьевич, кандидат технических наук, доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва)

Исследован вопрос выбора среды разработки для Ruby on Rails проектов. Показано отсутствие готовых полноценных решений. Обосновано преимущество доработки IDE NetBeans для формирования готово рабочего места Ruby on Rails программиста. На примере HAML-плагила раскрыта технология разработки собственных дополнений для IDE NetBeans. Описано преимущество полученного полноценного программного решения.

Ключевые слова: Ruby on Rails, HAML, IDE NetBeans, ANTLR, Java, плагины

На сегодняшний день разработка коммерческой информационной системы невозможна без использования фреймворков или аналогичных им программных систем. Для каждого из популярных на сегодняшний день языков построения веб-ориентированных приложений существует целый спектр подобных средств. Например, высокую востребованность имеют следующие фреймворки: ASP.NET MVC Framework для языков программирования семейства .NET (таких, как C#, Visual Basic.NET, JScript.NET), Django для скриптового языка Python, Spring Framework для языка программирования Java, AngularJS для языка JavaScript и другие.

В последнее десятилетие особо активное развитие демонстрирует фреймворк Ruby on Rails [1]. Согласно статистике Австралийского независимого агентства Built-With [2], фреймворк Ruby on Rails в той или иной мере лежит в основе десятой части самых посещаемых сайтов Интернета. Работы различных авторов подтверждают популярность данной системы, как за рубежом, так и в нашей стране. Например, перспективы использования Ruby on Rails в своих статьях рассматривают П. Вагстрём (P. Wagstrom) [3] и Д. Ю. Куприянов [4].

Особую популярность данной системы обуславливают три фактора: полноценная реализация MVC (Model-View-Controller) шаблона проектирования, базирование на современном языке программирования Ruby и универсальная поддержка взаимодействия с большинством популярных систем управления базами данных, включая как поддержку реляционных баз данных на уровне объектно-реляционного преобразователя (например, PostgreSQL, Oracle, MySQL и т.д.), так и поддержку NoSQL систем (например, MongoDB).

Системы, базирующиеся на шаблоне проектирования MVC, обычно не ограничены одним языком разработки, а объединяют в своей основе целый пакет языков, начиная с языков разметки и заканчивая языками низкого уровня. В частности, крупное коммерческое Ruby on Rails приложение может включать в себя комбинацию языков SQL, Ruby, C (или C++) на уровне моделей, комбинацию языков Ruby и C (или C++) на уровне контроллеров, и комбинацию целой россыпи языков на уровне представлений (интерфейсной части), в том числе языки: Ruby, ERB, HAML, JavaScript, Sass, CSS, SCSS, CoffeeScript, LaTeX, Markdown, YAML и т.д. Такое разнообразие программных средств накладывает серьёзные квалификационные требования не только на самих разработчиков, но и на вспомогательные средства разработки. При этом использование несвязанных инструментов, таких как: текстовый редактор, компилятор, отладчик, система контроля версий и т.д., приводит к потерям большого количества времени на переключение между компонентами, и снижению общей эффективности программистов. Оптимизировать процесс реализации проекта позволяет интегрированная среда разработки (IDE).

Сегодня можно выделить ограниченное множество IDE-систем или их близких аналогов, поддерживающих Ruby on Rails. В частности, это бесплатные системы NetBeans от компании Oracle и Aptana Studio (на основе Eclipse), редактор Atom с набором Ruby on Rails плагинов и коммерческая система RubyMine от компании JetBrains. К сожалению, каждая из данных систем имеет ряд недостатков. RubyMine является платной и ориентирована исключительно на Ruby on Rails. Aptana Studio больше не поддерживается на должном уровне. Atom

не является IDE в своей основе, что затрудняет работу с ним. NetBeans поддерживает не все современные технологии, так как начиная с версии 7.0 модуль поддержки языка Ruby и фреймворка Ruby on Rails не входит в состав его стандартной сборки, а предоставляется в виде плагина.

С другой стороны, NetBeans является одной из наиболее популярных сред разработки в мире [5]. При этом данная IDE является кросс-платформенной и поддерживает многие языки программирования и веб-технологии, востребованные одновременно с Ruby on Rails в крупных проектах. Причём одной из ключевых особенностей этой среды является возможность написания собственного плагина для добавления ещё не поддерживаемого языка. Всё вышесказанное показывает преимущество использования NetBeans перед другими IDE-системами, но не устраняет её недостатков. Основным из них на сегодняшний день является отсутствие поддержки языка HAML. Разработка данного языкового модуля может значительно повысить востребованность IDE NetBeans в среде Ruby on Rails разработчиков.

Базовые концепции разработки языкового модуля для IDE NetBeans

Для реализации языкового модуля необходимо построить программную реализацию лексического и синтаксического анализаторов [6]. Программная реализация должна быть выполнена на базовом языке IDE NetBeans и встроена в полноценный плагин-проект. В следующей части будут раскрыты базовые технологии построения данных компонент, а также рассмотрен процесс их интеграции в единый модуль.

Лексический анализ — это аналитическая обработка входного потока символов для получения потока токенов. Токен представляет собой пару лексема — идентификатор (токена). Лексема — это последовательность символов входного потока, удовлетворяющая шаблону идентификатора токена. Результат работы лексического анализатора является входным потоком для работы синтаксического анализатора.

Синтаксический анализ — это процесс проверки последовательности токенов на корректность их следования в контексте описываемого языка. В случае успешной проверки на корректность синтаксический анализатор строит дерево разбора. Имеется два основных типа синтаксических анализаторов грамматик: восходящие и нисходящие. Нисходящие анализаторы строят дерево разбора сверху вниз, а восходящие снизу вверх. В обоих случаях входной поток сканируется слева направо.

ANTLR как средство анализа

Существуют два способа создания лексического и синтаксического анализаторов: самостоятельное описание алгоритма его работы на языке программирования и ав-

томатическая генерация программного кода на основе формального описания языка с помощью специализированных программных средств. Для написания плагина поддержки языка HAML для NetBeans более приемлема автоматическая генерация анализатора, так как его самостоятельная разработка — процесс излишне трудоёмкий, затраты на который не оправдывают потенциальной выгоды (пользы) от разработанного языкового модуля. В качестве программного средства генерации синтаксического и лексического анализаторов использовался генератор нисходящих анализаторов для формальных языков ANTLR [7]. Такой выбор был сделан по следующим причинам: ANTLR, в отличие от большинства альтернативных продуктов, таких как, например, Flex и Bison, предоставляет возможность генерации обоих анализаторов, и лексического (далее лексера) и синтаксического (далее парсера). Это позволяет использовать одно программное средство для решения обеих задач. Кроме того, одним из возможных целевых языков генерируемого кода ANTLR является язык Java, являющийся основным языком разработки плагина для NetBeans. Не менее важно, что ANTLR является широко используемым программным средством с подробной документацией и большим сообществом.

Для реализации, непосредственно, HAML-плагина был выбран ANTLR версии 3.5.2. На данный момент существует более поздняя версия ANTLR — 4.5.3, но в ней отсутствует поддержка автоматического построения деревьев разбора, что затрудняет её использование для решения поставленной задачи.

ANTLR генерирует код лексера и парсера на основе файла с расширением *.g. Синтаксис подобных файлов довольно прост, что делает их удобными для описания формального языка. Каждый g-файл начинается с ключевого слова `grammar`, определяющего название грамматики (указывается сразу после него). Название грамматики должно совпадать с названием самого файла. Далее может идти блок опций, начинающийся с ключевого слова `options`. Доступный для ANTLR версии 3.5.2 ряд опций приведён в таблице 1.

Пример использования блока `options` показан на рисунке 1.

После блока `options` могут идти блоки `@header` и `@members`. В блоке `@header` располагается код, который будет помещен в начало генерируемого файла. В блоке `@members` располагается код, который будет помещен в тело классов лексического и синтаксического анализаторов. При помощи конструкции `@lexer::` и `@parser::` можно задать `@header` и `@members` для лексера и парсера отдельно. Пример использования блоков `@header` и `@members` показан на рисунке 2.

Блок `@rulecatch` позволяет заменить стандартное содержимое `catch`-раздела для каждого правила. Пример использования блока `@rulecatch` показан на рисунке 3.

Правила лексического анализатора задаются в верхнем регистре и представляют из себя шаблоны идентифика-

Таблица 1. Опции грамматики для ANTLR версии 3.5.2

Опция	Описание
language	Целевой язык для генерации. Доступные языки генерации: Java, C/C++, C#, Python, Ruby и другие. При отсутствии данной опции целевым языком является Java
tokenVocab	Позволяет описывать грамматики лексера и парсера в разных файлах. Опция задает имя грамматики лексера, из которой парсер возьмёт идентификаторы токенов.
output	Задаёт тип структуры данных, возвращаемый парсером. Возможные значения: AST или template.
ASTLabelType	Задаёт тип возвращаемого парсером дерева разбора. Возможные значения: CommonTree или собственный класс. По умолчанию ANTLR генерирует парсер, возвращающий дерево типа CommonTree.
TokenLabelType	Задаёт тип возвращаемых лексером токенов. Возможные значения: CommonToken или собственный класс. По умолчанию ANTLR генерирует лексер, возвращающий токены типа CommonToken.
superClass	Задаёт суперкласс для лексического или синтаксического анализаторов. Используется в тех случаях, когда необходимо переопределить стандартные методы класса лексера или парсера. При отсутствии опции лексический анализатор наследуется от класса Lexer, синтаксический анализатор — от класса Parser.
filter	Предоставляет возможность игнорирования тех конструкций потока символов, которые не определены в описании лексического анализатора. Предпочтительно использовать данную опцию в тех случаях, когда нет необходимости разбирать весь поток символов. При указании filter = true исключена возможность синтаксической ошибки.
rewrite	Необходим в тех случаях, когда входной поток после работы парсера должен измениться. Значение по умолчанию — false.
k	Задаёт ограничение для LL(k)-анализатора на количество токенов, доступных для предварительного просмотра. Опция уменьшает время работы парсера, однако может вызвать его некорректную работу. По умолчанию для предпросмотра доступны все токены, т.е. используется LL(*)-анализатор.
backtrack	Меняет алгоритм выделения нужной альтернативы в правилах разбора с LL(*)-анализатора, где для однозначного выделения нужной альтернативы поток токенов просматривается вперед на нужное кол-во элементов, на алгоритм с откатами. Возможные значения: true, false. Значение по умолчанию — false.
memoize	При алгоритме с откатами (backtrack = true) можно включить опцию memoize, которая позволяет запоминать применение правила к определенной позиции, таким образом, одна и та же последовательность токенов не может быть обработана синтаксическим анализатором более одного раза. В некоторых случаях существенно уменьшает время разбора, но требует больших ресурсов памяти. Возможные значения: true, false. Значение по умолчанию — false.

```
Options
{
    language = Java;
    backtrack=true;
    memoize=true;
    output=AST;
    ASTLabelType=CommonTree;
}
```

Рис. 1. Пример использования блока options

торов токена. Правила синтаксического анализатора задаются в нижнем регистре и представляют из себя шаблон корректной последовательности токенов. Шаблоны задаются через двоеточие после названия правила, в конце ставится точка с запятой. Их синтаксис во многом основан на регулярных выражениях. При создании плагина

использовались конструкции языка ANTLR, показанные в таблице 2.

Некоторые правила лексера могут начинаться с префикса fragment. Такое правило будет являться вспомогательным и не будет обрабатываться как токен. Пример подобного правила показан на рисунке 4.

```

@lexer::header {
    package org.mephi.haml.antlr;
}
@parser::header {
    package org.mephi.haml.antlr;
}
@lexer::members {
    @Override
    public void displayRecognitionError(String[] tokenNames, RecognitionException e) {
        String hdr = getErrorHeader(e);
        String msg = getErrorMessage(e, tokenNames);
        throw new RuntimeException(hdr + ":" + msg);
    }
}
@parser::members {
    @Override
    public void displayRecognitionError(String[] tokenNames, RecognitionException e) {
        String hdr = getErrorHeader(e);
        String msg = getErrorMessage(e, tokenNames);
        throw new RuntimeException(hdr + ":" + msg);
    }
}
    
```

Рис 2. Пример использования блоков @header и @members

```

@rulecatch
{
    catch (RecognitionException e)
    {
        throw e;
    }
}
    
```

Рис 3. Пример использования блока @rulecatch

ANTLR позволяет работать не только с текущим символом или токеном потока, но и предоставляет возможность получения информации о символах и токенах, следующих за ним. Для лексического анализатора существует функция LA(n), которая возвращает символ,

стоящий на n позиций впереди текущей. Для синтаксического анализатора есть аналогичная функция LT(n), которая возвращает токен, стоящий впереди текущей позиции на n токенов. Тип возвращаемого данной функцией значения — токен. Для получения идентификатора то-

Таблица 2. Основные конструкции языка ANTLR

Обозначение	Описание
(...)	Подправило
(...)*	повторение подправила 0 или более раз
(...)+	повторение подправила 1 или более раз
(...)?	подправило, может отсутствовать или встречаться один раз
{...}	семантические действия (на языке, используемом в качестве выходного)
[...]	параметры правила
{...}?	условие выполнения
	оператор альтернативы
..	оператор диапазона
~	отрицание
.	любой символ
=	присвоение

```

text : TEXT;

TEXT : (('a'..'z')|('A'..'Z'))(('a'..'z')|('A'..'Z'))[NUM|'_']*;

fragment
NUM : ('0'..'9');

```

Рис. 4. Пример вспомогательного правила

кена используется функция `getType()`, для получения лексем — `getText()`. Идентификатор токена, находящийся на n позиций впереди текущего, также можно получить с помощью функции `LA(n)`. Тип возвращаемого значения функций `LA(n)` и `LT(n).getType()` — целое число, присваиваемое токенам в соответствии с тем, какому правилу они удовлетворяют. Тип возвращаемого значения функции `LT(n).getText()` — строковая константа (`String`). Пример использования данных функций показан на рисунке 5.

Завершающей стадией процесса разработки лексического и синтаксического анализаторов является генерация их кода. Она осуществляется командой `java` (версия может отличаться):

```
java -jar antlr-3.5.2-complete.jar Haml.g.
```

После генерации каждому токenu будет присвоен числовой идентификатор токена, поэтому понятие идентификатор токена разделяется на два новых понятия: числовой идентификатор и смысловой идентификатор.

Последний хранит в себе идентификатор токена, указанный в `g`-файле.

Этапы создания плагина

На первом этапе происходит создание каркаса плагина. Причём плагин для среды разработки `NetBeans` создаётся непосредственно в самой среде `NetBeans`, как проект модуля в категории «Модули `NetBeans`». После чего в данный проект необходимо добавить поддержку нового типа файла, соответствующего целевому языку. Для языка `HAML` это файлы с расширением «*.haml». В результате данного действия создаются файлы `HamlDataObject.java`, `HamlTemplate.haml`, `HamlVisualElement.java`, `HamlVisualElement.form`.

Следующий этап — это создание нового слоя `XML`, добавление которого повлечёт за собой создание файла `layer.xml`, в котором позднее будет задана структура проекта.

```

input.LT(1).getText()
input.LT(1).getType()
input.LA(1)

```

Рис. 5. Работа с последующими токенами

Третий этап — это подключение ANTLR v.3. Для его корректной работы требуется подключить к проекту последнюю версию соответствующего jar-файла, которая может быть загружена с ресурса [8].

Четвёртый этап — это создание пакета antlr и размещение в нем файлов с кодом грамматики. Кроме того, требуется создать пакет lexer и реализовать в нём классы, показанные в таблице 3.

Последний этап максимально прост и заключается в задании цвета лексем, относящихся к введенным кате-

гориям. Для решения данной задачи необходимо создать файл FontAndColors.xml, и установить в нём связи между категориями и цветами.

Заключение

В результате выполненных работ был разработан и успешно протестирован плагин поддержки языка HAML для среды разработки NetBeans. Разработанный плагин в совокупности с другими существующими плагинами

Таблица 3. Классы пакета lexer

Класс	Описание
HamlTokenId	Реализует интерфейс класса TokenId пакета org.netbeans.api.lexer. Объекты класса хранят числовой и смысловой идентификаторы токена, а также категорию, к которой он относится. Класс реализует три метода: name(), ordinal(), primaryCategory(), которые возвращают хранимую информацию. Также необходимо создать объект класса Language пакета org.netbeans.api.lexer и присвоить ему “new HamlLanguageHierarchy().language()”.
HamlLanguageHierarchy	Наследуется от абстрактного класса LanguageHierarchy пакета org.netbeans.spi.lexer. Необходимо реализовать три абстрактных метода: createTokenIds(), createLexer(), mimeType(), а также создать HashMap, в котором ключом является идентификатор токена, а значением — объект класса HamlTokenId. Для получения значения из HashMap по ключу требуется реализовать публичный метод getToken().
AntlrCharStream	Реализует интерфейс класса CharStream пакета org.antlr.runtime. В данном классе необходимо реализовать следующие методы: substring(), LT(), getLine(), setLine(), setCharPositionInLine(), getCharPositionInLine(), consume(), LA(), mark(), rewind(), release(), seek(), index(), size(), getSourceName(). Занимается обработкой потока символов.
HamlLexer	Реализует интерфейс класса Lexer пакета org.netbeans.spi.lexer. В данном классе необходимо реализовать следующие методы: nextToken(), state(), release(). Считывает набор символов и группирует их в токены.

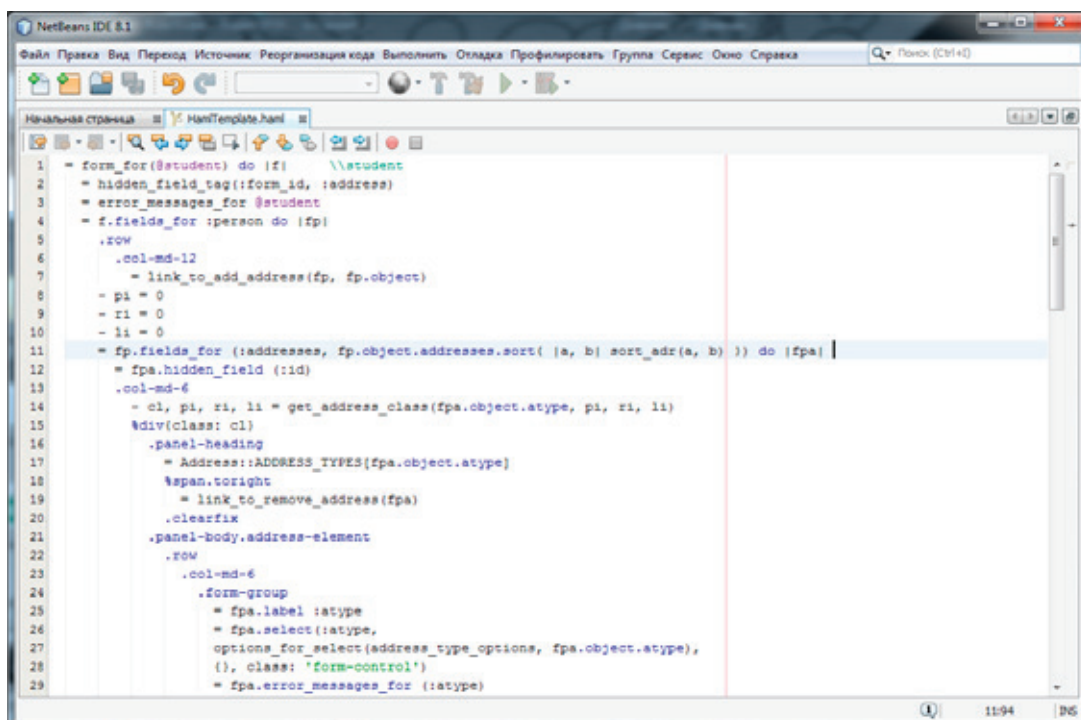


Рис. 6. Пример работы HAML-плагина

поддержки фреймворка Ruby on Rails обеспечивает полноценный инструмент Ruby on Rails-программиста и позволяет значительно повысить эффективность разработки HAML-программ. Что, в свою очередь, позволяет использовать IDE NetBeans в качестве основной среды разработки веб-приложений на основе фреймворка Ruby on Rails. Пример работы разработанного плагина показан на рисунке 6.

Рассмотренные в статье технологии независимы от выбора целевого языка и позволяют разрабатывать соб-

ственные языковые модули для широко спектра языков программирования. Что, в свою очередь, позволяет использовать такое мощное средство разработки, как IDE NetBeans для большинства современных задач программирования.

Стоит отметить, что используемые программные продукты являются бесплатными и свободными, что позволяет беспрепятственно использовать их в коммерческих продуктах и значительно снижает затраты на разработку в целом.

Литература:

1. Hartl, M. Ruby on Rails Tutorial: Learn Web Development with Rails. — Addison-Wesley, 2015, — 707 p.
2. <http://trends.builtwith.com/framework> — статистика использования различных фреймворк-технологий в сети интернет по информации компании BuiltWith Pty Ltd (дата последнего обращения 07.11.2016).
3. Wagstrom, P., Jergensen, C., Sarma, A. A network of rails: A graph dataset of ruby on rails and associated projects // Proceedings of IEEE International Working Conference on Mining Software Repositories, 2013, — pp. 229–232.
4. Куприянов, Д. Ю., Радыгин В. Ю., Лукьянова Н. В. Применение механизмов Ruby on Rails для построения информационных систем вуза // Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование — наука — инновационная деятельность. Труды конференции. — М., МГИУ, 2011 — С237–239.
5. <http://tagline.ru/ide-rating/> — рейтинг сред разработки (IDE) 2016 по версии компании tagline (дата последнего обращения 07.11.2016).
6. Alfred, V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, Jeffrey D. Ullman. Compilers: Principles, Techniques, & Tools, Second Edition, 2007
7. Parr, Terence (May 17, 2007), The Definitive ANTLR Reference: Building Domain-Specific Languages (1st ed.), Pragmatic Bookshelf, p. 376
8. <http://www.antlr3.org/> — официальный сайт ANTLR v.3 (дата последнего обращения 07.11.2016).

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Анализ методов искусственного интеллекта САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры

Абасов Расим Кайбулахович, студент;

Силла Абубакар, студент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

В статье рассмотрены особенности применения методов искусственного интеллекта в САПР технологического проектирования. Основное внимание уделено методам формализации декларативных знаний по технологическим процессам. Рассмотрена методика разработки фреймовой семантической сети для формирования технологической базы знаний. Приведены примеры построения интеллектуальной системы конструкторско-технологического проектирования. Даны рекомендации по интеграции интеллектуальной системы моделирования технологических комплектов в единый комплекс информационного сопровождения сложных производственных систем.

Ключевые слова: технологический процесс, искусственный интеллект, база знаний, фреймовые семантические сети

Application of methods of artificial intelligence SAPR of technological processes of production of the electronic equipment

Abasov R. K.;

Syllla Aboubacar

Bauman Moscow State Technical University

In article features of application of methods of artificial intelligence in SAPR of technological design are considered. The main attention is paid to methods of formalization of declarative knowledge of technological processes. The technique of development of frame semantic network for formation of the technological knowledge base is considered. Examples of creation of intellectual system of design-technology design are given. Recommendations about integration of intellectual system of modeling of technological sets into a uniform complex of information maintenance of difficult production systems are made.

Keywords: technological process, artificial intelligence, knowledge base, frame semantic networks

В работе рассмотрены вопросы разработки экспертных систем синтеза технологического процесса производства изделий электронной техники (ИЭТ) на примере стерео усилителя НЧ. В рамках современного производства задачи хранения и обработки больших объемов знаний в едином комплексе, быстрого получения рекомендаций по параметрам реализуемых технологических процессов приобретают все большую актуальность.

В настоящее время для накопления, систематизации и хранения данных и для оперирования знаниями применяются базы знаний и экспертные системы [1, 2]. Совре-

менные интеллектуальные системы информационного сопровождения производственных процессов обеспечивают поиска способов решения проблем из некоторой предметной области, основываясь на знаниях.

В теории обработки информации экспертные системы рассматриваются совместно с базами знаний как модели поведения экспертов в определенной предметной области с использованием процедур логического вывода и принятия решений, а базы знаний — как совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности.

Рассматривая экспертные системы (ЭС) в целом, можно отметить их особенность, заключающуюся в том, что они выступают в виде некой системы, помогающая обычным пользователям в повседневной работе. Общение с экспертными системами, работа с ними должны быть максимально просты [2, 3].

Экспертная система — компьютерная программа, ориентированная на разрешении конкретной проблемной ситуации [3, 4]. Экспертная система отличается от прочих прикладных программ наличием следующих признаков:

- моделирует не столько физическую (или иную) природу определённой проблемной области, сколько механизм мышления человека применительно к решению задач в этой проблемной области;
- система, помимо выполнения вычислительных операций, формирует определённые соображения и выводы, основываясь на тех знаниях, которыми она располагает;
- при решении задач основными являются приближенные методы, которые, в отличие от алгоритмических методов, не всегда гарантируют успех;
- одной из основных характеристик экспертной системы является её производительность, т.е. скорость получения результата и его достоверность;
- экспертная система должна обладать способностью объяснить, почему предложено именно такое решение, и доказать его обоснованность.

Многие информационные системы, такие как Oracle Business Suite и SAP, имеют встроенные модули аналитической обработки данных. Рассмотрим примеры ЭС, получивших наибольшее распространение в конструкторско-технологической информатике:

— CLIPS (<http://www.clipsrules.net/>) — суть технологии CLIPS заключается в том, что язык и среда CLIPS предоставляют пользователям возможность быстро создавать эффективные, компактные и легко управляемые экспертные системы. При этом пользователь применяет множество уже готовых инструментов (встроенный механизм управления базой знаний, механизм логического вывода, менеджеры различных объектов CLIPS и т.д.) и конструкций (упорядоченные факты, шаблоны, правила, функции, родовые функции, классы, модули, ограничения, встроенный язык COOL и т.д.). Так же CLIPS предоставляет возможность разбиения базы данных и решения задачи на отдельные независимые модули. В последнее время экспертная система CLIPS применяется как в системах, ориентированных на различные игры, так и в нечётких системах для формализации знаний. В рамках решения конструкторско-технологических задач решения на базе CLIPS следует отнести к системам локальной (очаговой) автоматизации проектных процедур.

— ACQUIRE (<http://aiinc.ca/>) — среда разработки ЭС, которая позволяет эксперту полностью создать законченную ЭС. Система использует режим диалога с экспертом, задавая ему вопросы и наполняя таким образом базу знаний. Если система обнаруживает логические ошибки, она уведомляет об этом эксперта. Методы ре-

шений: предикатный и метод распознавания шаблонов. БЗ — объектно-ориентированная. Практических данных об опыте применения в конструкторско-технологической информатике нет.

— OpenCyc (<http://www.opencyc.org/>) OpenCyc является сокращённым открытым вариантом базы знаний Cyc. Может использоваться для создания экспертных систем. В БД OpenCyc содержится 47000 понятий и 300000 фактов. Система ориентирована на развитие технологий тонкого клиента на базе семантического уровня (обработки запросов, системы взаимосвязи контента и т.д.). Применение OpenCyc многообразно: создание обучающих игр, создание БЗ в wikipedia, подключение в качестве модуля к другим экспертным системам и т.д.

Несмотря на значительный опыт разработки и внедрения модулей интеллектуальной поддержки конструкторско-технологического проектирования до настоящего момента остаются нерешёнными целый класс проблем, к которым следует отнести сложность механизмов формализации декларативных знаний, отсутствие единых форматов представления конструкторско-технологических знаний и ряд других [1–4]. В рамках данной работы изложена обобщённая методика создания простой и универсальной ЭС генерации рекомендаций к технологическому процессу изготовления ИЭТ.

Решение данной задачи предполагает:

- выбор способа представления знаний в ЭС, например, освоение принципов построения фреймовой модели базы знаний
- анализ предметной области, анализ существующих знаний о рассматриваемых базовых технологических процессах;
- разработка структуры базы знаний;
- разработка архитектуры тонкого клиента ЭС;
- разработка процедур обработки знаний с помощью процедур, созданных в «открытом коде»;
- тестирование и отладка развернутой ЭС на сервере;
- разработка руководства пользователя автоматизированной системы.

В результате решения указанных задач создается ЭС синтеза техпроцесса для типового радиотехнического предприятия, с возможностью адаптации базовых ТП к возможностям конкретного производства.

Одной из основных и наиболее сложных задач является выявление и формализация знаний по исследуемой предметной области, с учетом того, что многих из реализуемых ТП являются уникальными, присущими только конкретному производству. Для проведения информационного аудита производства и описания его компонентов в последнее время все шире используются различные CASE-средства, которые базируются на методах структурного или объектно-ориентированного анализа и проектирования [5–11].

В работе проиллюстрирована конкретная практическая методика аудита производственной системы, формализации знаний в рассматриваемой предметной области,

создании ЭС на основе рекурсивной фреймовой семантической сети, что позволило автоматизировать ранние стадии проектирования и технологической подготовки производства.

1. Анализ концептуально-абстрактной модели функционирования экспертной системы

Методика представления комплексных знаний по уровням экспертизы предполагает анализ на концептуально-абстрактном (обобщенном), структурно-функциональном (уровень иерархической декомпозиции вплоть до конкретного рабочего места), объектном (информаци-

онном) уровне принятия решений. На каждом из уровней представляется необходимая детализация исследуемого процесса, тем самым достигается доступность и простота создаваемых моделей для их интерпретации и последующего использования. В качестве примера рассмотрим анализ особенностей разработки и внедрения подсистемы аналитической поддержки принятия решений в виде совокупности указанных моделей. По аналогии могут быть построены и модели исследуемых технологических процессов.

На рисунке 1 представлена концептуально-абстрактная модель [12–14] разработки экспертной системы генерации ТП производства ИЭТ, определяющая основные компоненты создаваемой экспертной системы.



Рис. 1. Концептуально-абстрактная модель разработки экспертной системы

Из концептуально-абстрактной модели экспертной системы следует, что разработка экспертной системы включает в себя создание фреймовой структуры для формализации декларативных (конструкторско-технологических) знаний, формирование прототипов слотов, фреймов и их экземпляров с помощью высокоуровневого языка программирования. В дальнейшем с привлечением группы экспертов предметной области, осуществляется конкретизация фреймовой структуры под конкретную область знаний, проводится наполнение слотов, фреймов и установка семантических связей. Для дальнейшей детализации процесса разработки необходимо перейти к более точной (детализованной) модели рассматриваемого процесса. В качестве такой модели обычно используют структурно-функциональное описание [5–7]. Методики структурно-функционального представления сложных систем известны достаточно давно, по некоторым из них существуют отечественные ГОСТы [15].

2. Контекстная диаграмма работы ЭС АСУ ТП изготовления стерео усилителя НЧ

Структурно-функциональная модель представляет собой иерархическую декомпозицию исследуемого про-

цесса. На верхнем уровне декомпозиции (рисунок 2) работы экспертной системы представлена в общем виде (контекстная диаграмма в нотации IDEF0). Она отражает взаимодействие исследуемой ЭС с внешней средой. Данный уровень декомпозиции является отправной точкой анализа, позволяет синхронизировать концептуально-абстрактную и структурно-функциональную модели и является в общем смысле моделью «черного ящика».

В результате выполнения процесса на основе преобразования входных воздействий, которыми являются знания и решаемые задачи, формируются ожидаемые результаты. Данный процесс осуществляется под управлением алгоритмов, реализованных процедур принятия решений и нормативных документов, определяющих работу экспертной системы. Созданное программное обеспечение и средства обеспечивающие его функционирование являются инструментами (механизмами) рассматриваемой системы (на модели не показаны), с которые взаимодействуют различные категории пользователей.

На первом уровне декомпозиции (рисунок 3) модель представляет собой 4 взаимосвязанные работы, представленные в нотации IDEF0: «Работа со слотами», «Работа с фреймами», «Работа с экземплярами», «Синтез решения».

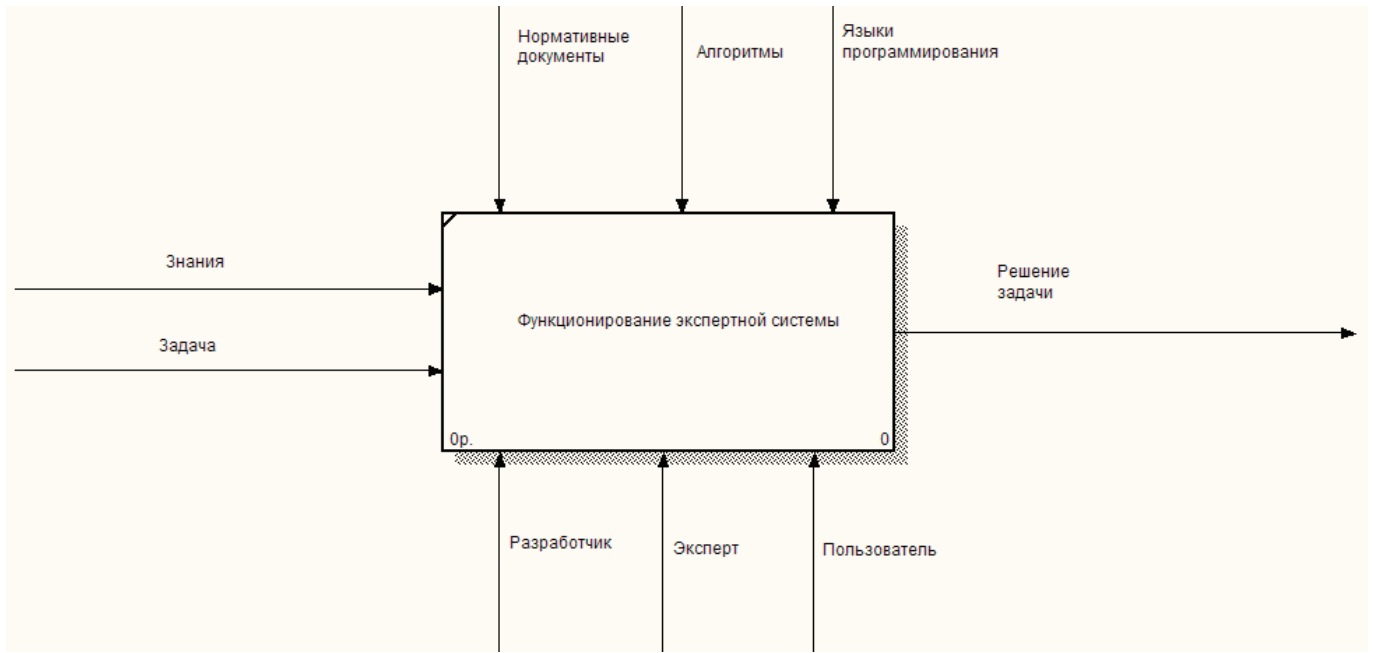


Рис. 2. Контекстная диаграмма «Функционирование экспертной системы»

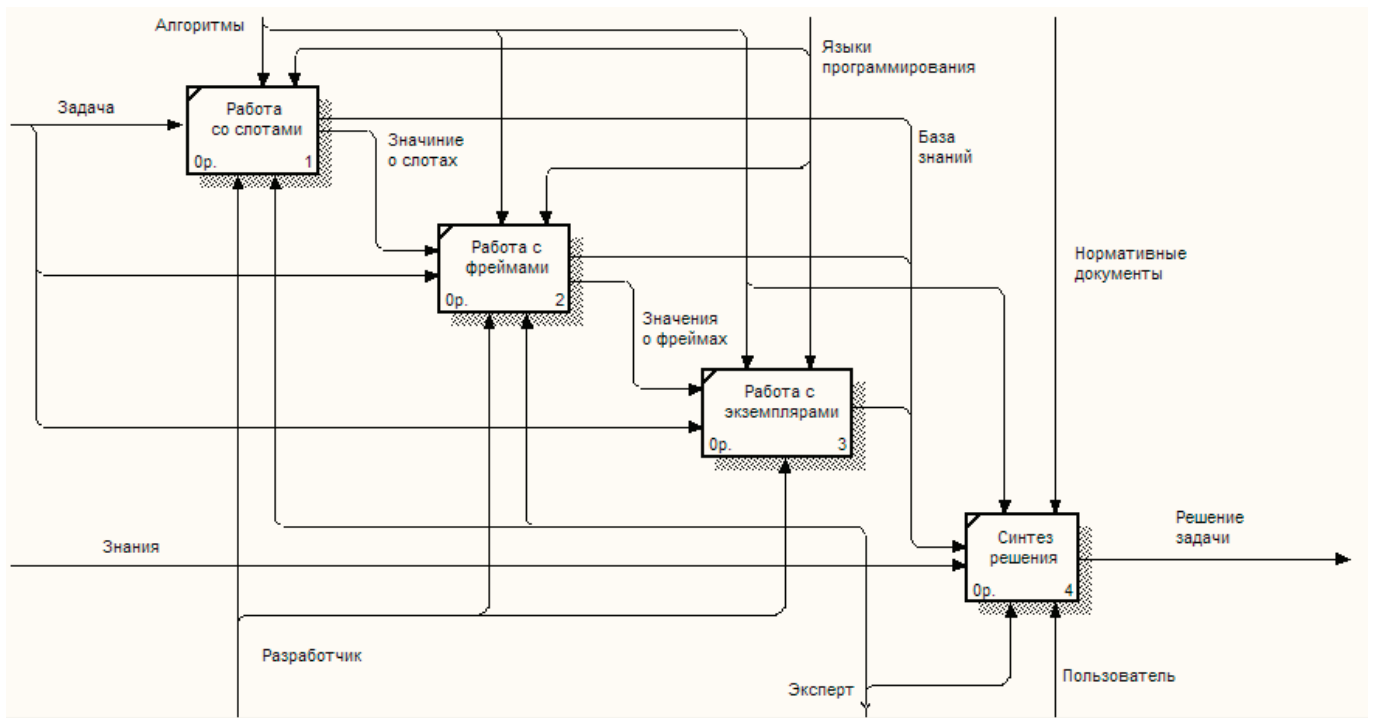


Рис. 3. Первый уровень декомпозиции «Функционирование экспертной системы»

Работы «Работа со слотами», «... фреймами» и «... экземплярами» получают на вход знания о ТП и служат для создания, редактирования и удаления слотов, фреймов, экземпляров и наполнения базы знаний. Наполнение производится экспертом в области ТП при помощи разработанных программных инструментов. Работа «Синтез решений» формирует искомое решение в результате взаимодействия (диалога) с пользователем экспертной системы.

Итогом разработки иерархической диаграммы является комплексная диаграмма дерева узлов (рисунок 4), ко-

торая представляет собой полную модель декомпозиции рассматриваемого процесса. С помощью диаграммы дерева узлов можно проследить за всеми операциями процесса функционирования экспертной системы в деталях.

На диаграмме не представлена последовательность работы экспертной системы, однако она включает в себя все процессы её функционирования.

После построения полной декомпозиции процесса проводят его оптимизация (адаптацию по конкретные требования). Оптимизация может выполняться по сово-

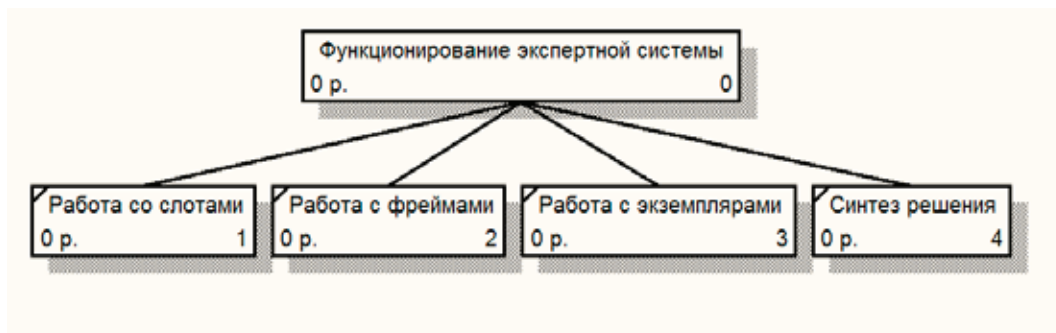


Рис. 4. Диаграмма дерева узлов работы функционирования экспертной системы

купности интегральных (время, стоимость) и/или дифференциальных (качественных) критериев [10, 16–20].

3. Разработка модели фреймовой семантической сети для ЭС АСУ ТП

Обобщенная структура фреймовой семантической сети, представляющая знания по технологическому процессу, на примере изготовления стерео усилителя НЧ (рисунок 5а). На рисунке 5б представлен результат синтеза.

5. Анализ информационной модели ЭС АСУ ТП

Современное производство трудно представить без развертывания системы его информационного сопровождения и управления [21–24]. Во многих из них активно используются аналитические подсистемы, пример пользовательского интерфейса модуля ЭС для использования в составе АСУ ТП типовой АСУ радиотехнического предприятия, созданной по архитектуре «тонкого клиента» представлена на рисунке 6.

На модели формы интерфейса представлены основные структурные блоки ЭС: логотип предприятия и информация о нем (1), навигационная панель модуля ЭС для пе-

ремещения между слотами, фреймами и экземплярами базы знаний и панель для управления ими (добавление/удаление/изменение информации) (2). Страница содержит информацию о текущей авторизации, действующим в системе пользователе и панель управления текущим подключением (3). Блок синтеза решения позволяет создать типовой технологический процесс на основе ответов на вопросы экспертной системы пользователем системы.

Навигационную модель ЭС можно представить в виде описания основных возможных переходов по сайту, а также в виде графа навигационной модели ЭС. На рисунке 7 представлен граф навигационной модели ЭС для АСУ ТП. Представленная структура является наиболее частым решением для интерфейса ЭС в составе АСУ и имеет весь необходимый функционал.

Для работы с ЭС пользователю необходимо пройти авторизацию. После прохождения авторизации развернется основное навигационное меню позволяющее перейти на все доступные страницы системы: «Слоты», «Фреймы», «Экземпляры» и «Синтез решения». Так как используемая в данной ЭС модель является плоской, каждая страница имеет одинаковый набор ссылок на все остальные страницы, переход между ними осуществляется максимально быстро.

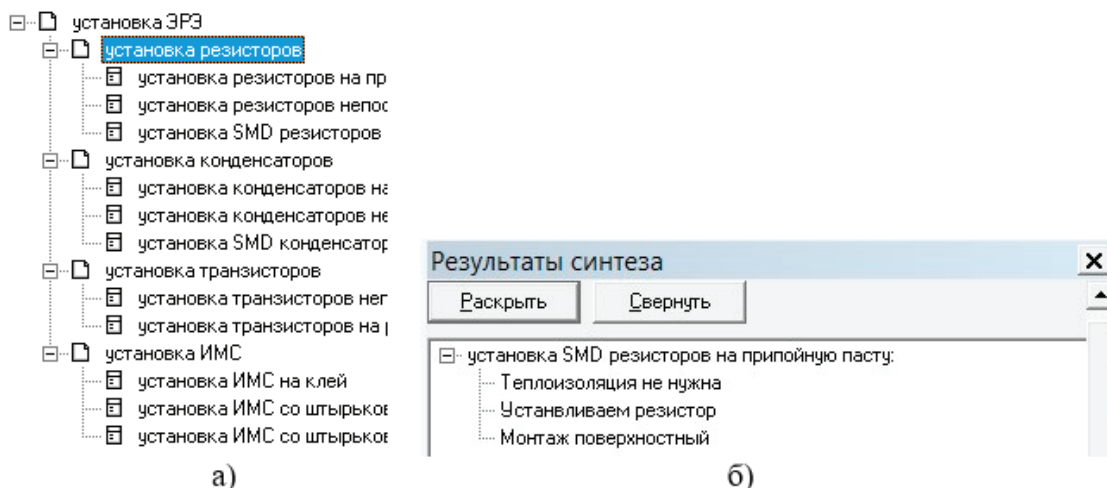


Рис. 5. Модель диаграммы дерева узлов ЭС АСУ ТП изготовления стерео усилителя НЧ

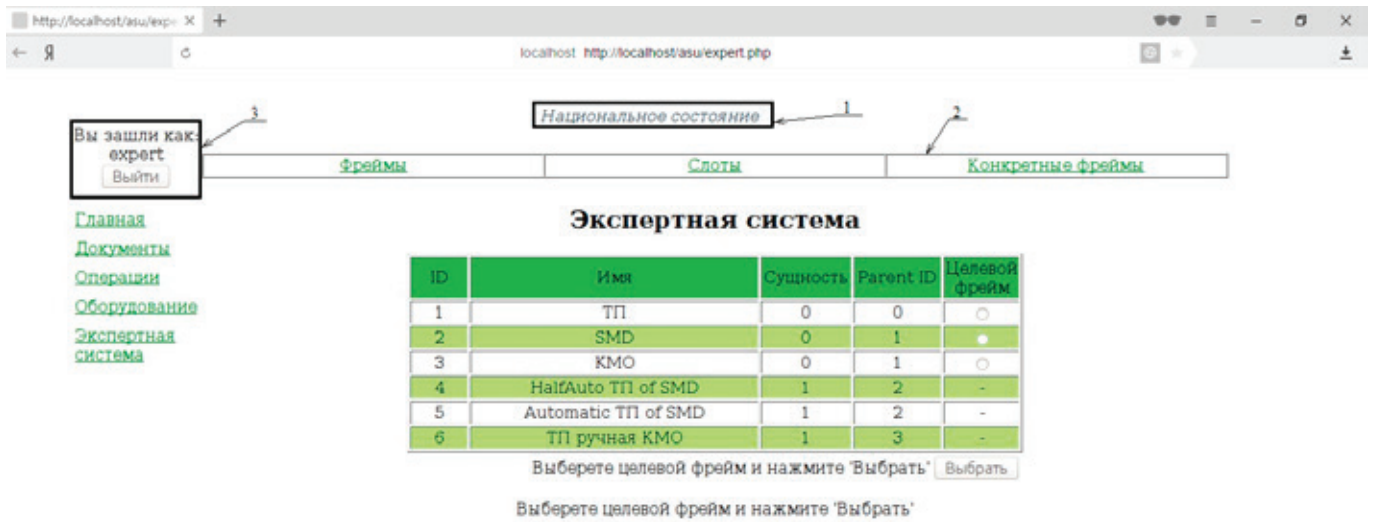


Рис. 6. Основная форма интерфейса модуля ЭС для АСУ ТП

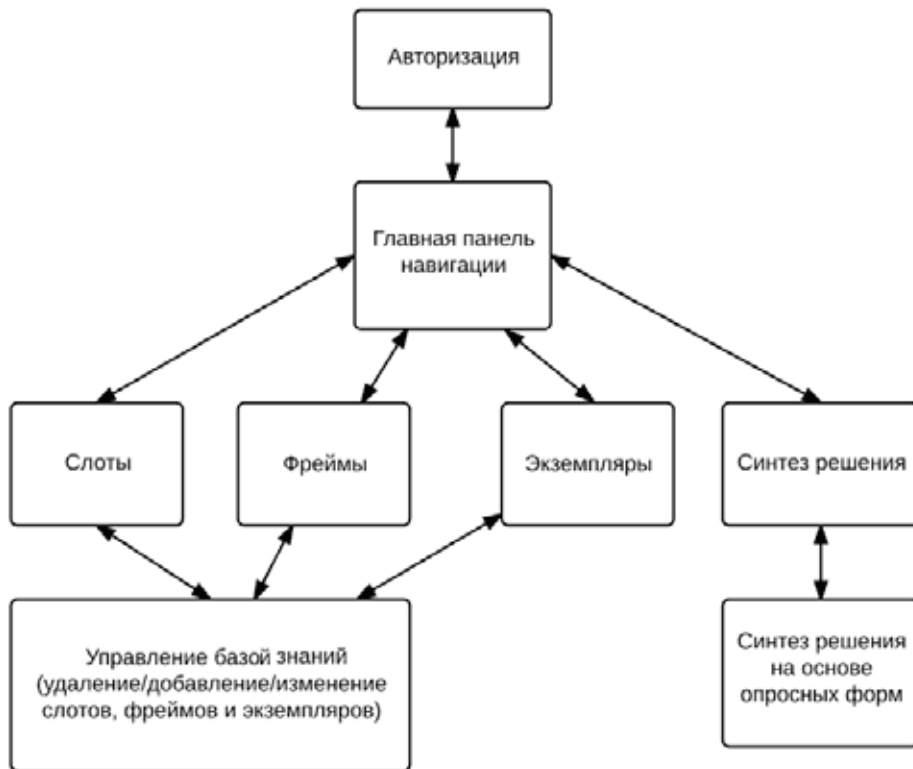


Рис. 7. Граф навигационной модели модуля ЭС для АСУ ТП

При переходе на выбранную страницу появляется таблица данных из БЗ, а также поле управления этими данными, позволяющее добавить/изменить/удалить информацию из текущей таблицы в случае авторизации в системе как инженер по знаниям или эксперт в предметной области. Работа с системой заканчивается завершением сеанса и выходом из нее. Рассмотренные системы находят свое применение не только в производственных информационно-управляющих системах [21], но и университетах, при создании комплексных тренажеров [8],

моделей «виртуальное предприятие» [10], информационных системах поддержки обучения иностранных студентов [13, 25, 26] и т.п.

Заключение

Рассмотренная комплексная методика разработки и внедрения аналитических подсистем на основе глубокого понятийного и структурно-функционального процессов предметной позволяют создавать современные АСУ ТП.

Литература:

1. Григорьев, В. П., Камышная Э. Н., Нестеров Ю. И., С. А. Никитин Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ, 1998. — 48 с., ил.
2. В. П. Григорьев, Ю. И. Нестеров, Д. В. Черепанов Информационные технологии в конструировании и технологии микроэлектроники. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. — 39 с.
3. Дембицкий, Н. Л., Назаров А. В. Применение методов искусственного интеллекта в проектировании и производстве радиотехнических устройств — Москва. Изд-во МАИ. 2009. Сер. Научная библиотека. 228 с.
4. Назаров, А. В. Многокомпонентное 3D-проектирование наносистем: Учебное пособие; под ред. В. А. Шахнова. — Москва, 2011. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. Библиотека «Наноинженерия». Кн. 4. 391 с.
5. Маклаков, С. В. VPwin и Egwin: CASE-средства для разработки информационных систем. — М.: Диалог-МИФИ, 2000 г. — 304с.
6. Кознов, Д. В., Ольхович Л. Б. Визуальные языки проектов // Системное программирование. 2005. Т. 1. С. 148–167.
7. Власов, А. И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10–28.
8. Адамов, А. П., Адамова А. А., Сенькина М. А., Исмаилова И. Т. Системный анализ в управлении предпринимательскими организациями. Под общей редакцией А. П. Адамова — Изд-во Политехника. Санкт-Петербург, 2002. 251 с.
9. Власов, А. И. Особенности визуальной формализации информационных потоков в системах поддержки менеджмента качества ЭА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 2. С. 187–190.
10. Адамова, А. А., Власов А. И. Визуальное моделирование адаптации подготовки производства к выпуску новой продукции // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 2 (154). С. 46–56.
11. Власов, А. И. Применение методов визуального моделирования для формализации конструкторско-технологической информации // В сборнике: Информатизация образования — 2012 Материалы Международной научно-практической конференции. 2012. С. 70–78.
12. Кознов, Д. В., Ларчик Е. В., Плискин М. М., Артамонов Н. И. О задаче слияния карт памяти (MIND MAPS) при коллективной разработке // Программирование. 2011. Т. 37. № 6. С. 56–66.
13. Журавлева, Л. В., Власов А. И., Тимофеев Г. Г. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро-/наносистем // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 107–111.
14. Журавлева, Л. В., Власов А. И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133–140.
15. ГОСТ Р 50.1.028–2001. «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования».
16. Камышная, Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А. Методика расчета технологичности конструкций электронной аппаратуры // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2003. № 1. С. 116–125.
17. Адамова, А. А., Адамов А. П., Шахнов В. А. Методика оценки технологичности электронных изделий на этапах проектирования и производства // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 352–356.
18. Ирзаев, Г. Х., Адамова А. А. Автоматизация процесса формирования системы показателей для оценки технологичности конструкции изделия // Автоматизация. Современные технологии. 2014. № 11. С. 27–33.
19. Адамов, А. П., Адамова А. А., Власов А. И. Дифференциальные коэффициенты оценки технологичности электронных средств и их применение при структурно-функциональном моделировании производственных систем // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2015. № 5 (104). С. 109–123.
20. Адамова, А. А., Адамов А. П. Многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 11 (23). С. 12.
21. Власов, А. И., Михненко А. Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники. 2006. № 4. С. 5–12.
22. Власов, А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Системный анализ «Бережливого производства» инструментами визуального моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4 (160). С. 19–24.
23. Власов, А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. система 5S-технология создания эффективного рабочего места в концепции «Бережливого производства» // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 1 (161). С. 65–68.

24. Власов, А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Картирование потока создания ценностей в концепции «бережливого производства» // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 2 (162). С. 23–27.
25. Власов, А. И., Кирбабин О. Е., Шепель А. С. Методология визуального проектирования как инструмент организации поддержки учебного процесса // Материалы международного симпозиума. Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&MQ'2008). 2008. С. 110–111.
26. Журавлева, Л. В., Камышная Э. Н. Картирование толкового словаря неологизмов в области информационных технологий // В сборнике: Современные концепции научных исследований IV Международная научно-практическая конференция. Сер. «Технические науки» 2014. С. 152–155.

The problem of synthesis of management by difficult system in the conditions of uncertainty

Боева Окила Хусановна, ассистент
Навоийский государственный горный институт (Узбекистан)

Key words: *complex system, the classification uncertainty of a priori uncertainty, adaptive system*

The study of the power system as a control object that allows to build its mathematical model. Using this framework, the type and algorithms of the system of governance and ways of its software and hardware implementation.

To build an adequate mathematical model of the control object requires a large amount of a priori information. This information about controlled and uncontrolled perturbations, internal parameters and status variables of the object, and its output signals. It should be noted that the high dimensionality and complexity of the mathematical model built using the entire volume of a priori information, can negate all attempts of control.

Generally, some of the information about complex object of management and its interaction with the environment is not defined and even unknown. The presence of a variety of interference, which is a source of uncertainty leads to incomplete a priori information.

The essential feature of any a priori information consists in the fact that, being received in advance, they are then not only not updated, but due to various random changes always existing in the real world, lose their accuracy [1].

Uncertainty can be caused by exogenous (determined by external factors) or endogenous factors (determined by internal changes).

To endogenous factors include:

- parametric;
- structural;
- uncertainty.

Parametric uncertainty. Along with the state variables the system is characterized by parameters. The parameters of the system include mass, inductance, capacitance, length, resistance, etc. system Parameters can be partially defined or determined some average values. In the process of functioning of the system they can change.

The structural uncertainty. Modern control systems are characterized by complex hierarchical structure. With the transition from the lower to the upper level system structure is complicated, added the cross and feedback that are sometimes difficult. Wrong decomposition of the control tasks, excessive idealization of a complex process, linearization, discrimination, violation of the assumptions adopted in the derivation of the equations leads to inaccurate models [2, 3].

Mathematical description of systems in terms of a priori uncertainty

In conditions of a priori uncertainty of traditional principles of building control systems are ineffective. When using the principle of control by deviation small changes in the actual behavior of the control object, in connection with the inability to quickly make adjustments to the management process and lead to unsatisfactory results [4]. When using the principle of compensation for disturbance is necessary to directly measure the disturbance that is often impossible. Using the principle of combined control deviation and disturbance does not always lead to the desired results. Do the drift parameters of the object, the channel delay compensation will negate all attempts to stabilize the object. Using the principle of control as it entails the same problems of management.

It should be noted that these problems can be solved for relatively simple objects of control with parametric uncertainties or uncertainties in the input and output signals. They are described by linear models in the form of input-output, input-state-output or well-studied nonlinear systems of equations. As a mathematical model of a complex system to use them is problematic. This is due not only to the hierarchical structure of complex systems, and, consequently, the presence of several optimality criteria, but also with the presence of structural uncertainties that cannot be eliminated using classical mathematical models and techniques.

Consideration of uncertainty in decision tasks is largely modifies the methods of decision making: the concept of the initial data and the parameters of the model become ambiguous concept of decision tasks and optimality of solutions. Attempts to use a particular mathematical apparatus for decision making under uncertainty allows to adequately reflect in the model, only certain types of data and leads to irrevocable loss of other types of information [5].

These problems can be solved by using the principles of adaptation. Adaptation is the process of changing parameters, structure, input signals of the system on the basis of current information to achieve the control objectives, in conditions of a priori uncertainty and variable conditions.

The a priori uncertainty kompensiruet current information through processes of learning or self learning. The learning process takes place at multiple external influences on the system by fixing its reaction and further external adjustment of management objectives. For the process of self-study external adjustment of the control objectives is missing. Thus, when using the principle of adaptation in the process of learning or self-study there is an accumulation of data which is subsequently used to compensate for uncertainty and management objectives.

To use the principle of adaptation, you need to know: the class of belonging of the object of control, the conditions of its functioning, the purpose of management.

The task is to construct a regulator that is acting on an object that implements the target control after a finite time. In this class the controller will be adaptive, and the system itself is adaptive. The end time of the achievement of the objective will be a time of adaptation. If the conditions of a priori uncertainty the object belongs to the class of adaptation of the controller, the adaptive controller can be achieved [6].

As shown in [7] the classification adaptive systems are divided into:

- passive — controlled changes to the system software depend on the available at the design stage of a priori information about the internal and external conditions of work;
- active — controlled changes to the system software dependent on current and not just a priori information about the internal and external conditions of work;
- open — setup parameters are pre-determined and so that the control system was estimated optimally in some typical or most probable external and internal conditions;
- closed — have additional closed loop self-tuning, serving for analysis of the effect of changes in the quality management system in the process of adaptation;
- analytical — controlled changes in parameters or input actions made as a result of the analytical calculation of the conditions of extremum of the function that defines the purpose and quality management;
- search controlled parameter changes made as a result of the search for extremum quality.

The classification analysis shows that a complex hierarchical system it is necessary to synthesize the active closed-loop adaptive system with variable structure. Combined method the settings will allow you to achieve high levels of quality system: the first phase, with a sufficient amount of a priori information, an analytical method are determined by controlled changes of the settings and after a short period of time is calculated, the optimal mode; in the second stage search method is determined by the optimal mode.

Statement of the problem of adaptation and stages of its solution. Consider the scheme of interaction of the object of control (OY), control (YU) and sensors (D) (Fig. 1). The influence of the external environment, control actions and internal perturbations is reflected in the change of state of the control object. Status information is measured by sensors and fed into a vector signal to the control device. Based on this information and management purposes, the control device generates control actions.

For the formulation of adaptive management requires the vectors:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), U = (u_1, u_2, \dots, u_k), H = (h_1, h_2, \dots, h_r), A = (a_1, a_2, \dots, a_g),$$

where A — the vector of varied parameters, which serve not only the real physical quantity but an abstract, for example, the structures of the control object.

In the General case, this vector reflected uncertainty.

For example, if the channel measurement is present an obstacle, the set may $a' \in A$ consist of the coefficients of its spectral characteristics [5].

Description of adaptive control system can be performed using the equations:

$$h_i = \varphi(x_i, u_{i-1}, a_i), \tag{1}$$

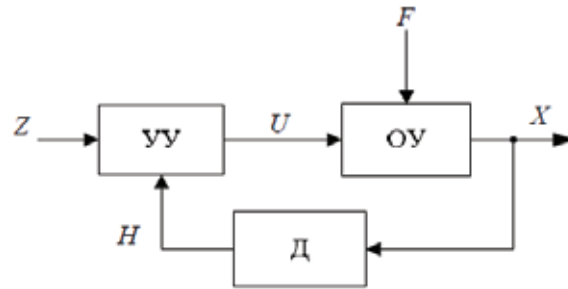


Fig. 1. Scheme closed-loop control system

$$x_i = \psi(x_i, u, a_i), \quad (2)$$

where i – indicates a reference not coordinate; φ, ψ – some functions.

In accordance with the terminology adopted in [5] equation (1) is called the sensory equation, and the equation (2) — evolutionary. If a mathematical model of the control object is unknown, for the operation of the adaptive controller needs only the coordinates of the vector H .

The objective of control Z is usually reflected in the form of some optimality criterion. As the criteria of optimality can be [8] the following criteria.

Criteria-inequality

$$S(U, X, A) = (s_1(U, X, A), s_2(U, X, A) \dots s_d(U, X, A)) \geq 0.$$

Criteria-equality

$$Q(U, X, A) = (q_1(U, X, A), q_2(U, X, A) \dots q_d(U, X, A)) = 0.$$

The minimization criteria

$$J(U, X, A) = (j_1(U, X, A), j_2(U, X, A) \dots j_l(U, X, A)) \rightarrow \min.$$

Thus, the goal of adaptation is to solve the problem

$$J(U, X, A) \rightarrow \min_{U, X, A \in W} \Rightarrow Z^*,$$

where $W: (S(U, X, A) \geq 0, Q(U, X, A) = 0)$, Z^* – the desired management goal.

The solution of the problem of synthesis of adaptive controller is performed in stages:

- the choice of the structure of the regulator: it is necessary to determine the structure of the regulator, which will implement goals of management;
- the selection of adjustable parameters: you must allocate physical and abstract parameters or evaluation;
- adaptive algorithm: it is necessary to synthesize an adaptation algorithm, performing adjustment of parameters;
- justification of the adaptation algorithm: it is necessary to prove that the synthesized system is adaptive.

References:

1. Tsyppkin Y. Z. Information theory of identification. — M.: Science. Fizmatlit, 1995. — 336 p.
2. Tsyppkin, Ya. z., Frequency criteria of robust modal linear discrete systems / Ya. z. Tsyppkin, B. T. Polyak // Automation. — 1990. — No. 5. — P. 4–11.
3. Tsyppkin, Y. Z. Robust stability of nonlinear discrete systems with parametric uncertainty / Y. Z. Tsyppkin // Automation. — 1992. — No. 4. — C. 3–9.
4. Emelyanov S. V., Korovin S. K. New types of feedback: Management under uncertainty. — M.: Science. Fizmatlit, 1997. — 352 p.
5. Altunin A. E., semuhin M. V. Models and algorithms of decision making in fuzzy environment: Monograph. — Tyumen: Publishing house Tyumen state University, 2000. — 352 p.
6. Fomin V. N., Fradkov A. L., Yakubovich V. A. Adaptive control of dynamic objects. — M.: Science. Home edition physical and mathematical literature, 1981. — 448 p.
7. Solodovnikov V. V., Plotnikov V. N., Yakovlev A. V. on the Theory of automatic control of technical systems: Textbook. allowance. — M.: Izd-vo MGTU, 1993. — 492 p.
8. Rastrigin L. A. Adaptation of complex systems. — Riga: Zinatne, 1981. — 375 S. Solovyev, Victor V.

Моделирование технологических процессов производства электронной аппаратуры инструментами когнитивной графики

Гоношилов Дмитрий Сергеевич, магистрант;

Маркос Лорето Ордас, магистрант

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

В статье рассмотрены особенности моделирования технологических процессов производства электронной аппаратуры инструментами когнитивной графики. Проанализированы этапы концептуально-абстрактного и структурно-функционального моделирования. В качестве примера рассмотрены особенности разработки моделей технологического процесса производства типового усилителя TDA2030. Даны рекомендации по разработке декомпозиционных (IDEF0) и операционных (IDEF3) диаграмм технологического процесса.

Ключевые слова: визуальное моделирование, когнитивная графика, технологические процессы, оптимизация, производственные системы

Modelling of engineering procedures of production of the electronic equipment instruments of the cognitive graphics

Gonoshilov D. S.,

Marcos L. O.

Bauman Moscow State Technical University

In article features of modeling of engineering procedures of production of the electronic equipment are considered by instruments of a cognitive graphics. Stages of conceptual and abstract and structurally functional modeling are analysed. As an example features of development of models of engineering procedure of production of the standard TDA2030 amplifier are considered. Recommendations about development the automatic partitioning (IDEF0) and operating rooms (IDEF3) of charts of engineering procedure are made.

Keywords: visual modeling, cognitive graphics, engineering procedures, optimization, production systems.

Современные производственные системы характеризуются сокращением сроков технологической подготовки производства при выпуске новой продукции. При этом во главу угла становятся задачи формализации, хранения и эффективной обработки знаний по реализуемым на производстве технологическим процессам. Имея базу знаний по типовым технологическим процессам необходимо иметь возможность оперативно синтезировать новые технологические процессы исходя из имеющихся возможностей и ограничений, проводя адаптацию производственной системы [1]. В последнее время для генерации новых технических решений все большее применение находит визуальное моделирование [2, 3].

Визуальное моделирование — один из компонентов конструкторско-технологической информатики, исследующий процессы и средства информационного взаимодействия между человеком и машиной посредством визуальных моделей различного уровня детализации [3–12].

Примеры применения визуальной каллиграфии для передачи знаний известно уже не одно тысячелетие. Однако, инструменты «визуального моделирования» в современной их трактовке стали активно развиваться

начиная с 30-х гг. XX в. Как и их исторические предшественники на первых порах визуальные модели используются для отражения непосредственного взаимодействия человека с предметами и орудиями труда (инструменты, станок, конвейер, средства транспорта и т.п.). Задачи моделирования сводились в основном к критическому анализу ошибок проектирования или подготовки операторов и выявлению факторов, влияющих на эффективность систем «человек и машина».

Весь комплекс моделей рассматривался в виде решений конструкционных и процессных задач [10–12]. Конструкционные задачи охватывали вопросы анализа структуры объектов и взаимосвязи их отдельных частей. Процессные — анализируют протекание процессов и их составных частей во времени. Решение таких задач способствовало формированию эффективных инженерных методик по рациональной разработке элементов управления и индикации, созданию новых методик передачи знаний и т.п. [13, 14].

Развитие методов визуального моделирования было обусловлено внедрением автоматизации производства и развитием информационных контрольно-управляющих

систем [15–17]. В 50-х гг. были определены в общих чертах закономерности приёма и переработки информации человеком, а в 60-х гг. — общие принципы организации взаимодействия человека и ЭВМ [14]. В конце 60-х гг. визуальные методы стали широко использоваться не только для представления объектов и процессов предметной области, но и для поддержки процедур синтеза решений. Комплекс известных на сегодня визуальных методик (нотаций) активно влияет на развитие методов обработки знаний [13, 18].

Тематика исследований визуальных методов обширна и постоянно расширяется, это требует применение современных инструментов обработки информации. Реализация тезиса **«один рисунок заменяет тысячу слов, а одна схема тысячу рисунков»** становится крайне актуальным [1], что обуславливает широкое применение визуальных инструментов.

Визуальное представление предметной области, в том числе и описания сложных систем в частности, строится на принципах когнитивности, конвергенции (от английского *convergence* — схождение в одной точке) и инкапсуляции [9].

Методики визуального моделирования сложных систем подробно рассмотрены в [1–10]. Под визуальным моделированием будем понимать совокупность методов, которые используют метафоры визуализации, которые представляют объект с разных точек зрения и могут применяться для отражения эволюции объекта моделирования.

Метафоры визуализации — это сопоставление абстрактных или реальных объектов зрительно воспринимаемым образом, при этом языки визуального моделирования представляют фиксированный набор метафор и правил создания визуальных моделей.

Следуя классическому унифицированному процессу проектирования на каждом из этапов проектирования применяются визуальные модели с соответствующим уровнем абстракции и детализации. Так, на начальных стадиях проектирования используется абстрактное визуальное моделирование, представляющие рассматриваемые системы в обобщенном виде (концептуальное моделирование) [19, 20].

Следующий этап включает в себя разработку моделей с точки зрения структурно-функционального и операционного подходов. На этом этапе чаще всего используются IDEF модели [1, 4, 5, 21].

Моделирование информационных потоков сводится к построению моделей объектов и потоков данных, а также структуры информационной модели и структуры базы данных и, если необходимо, базы знаний [6].

На заключительном этапе, как правило, разрабатывают объектно-ориентированные модели системы с помощью процедур RUP, которая описывает реализацию информационной системы сопровождения рассматриваемых процессов предметной области [7].

Среди популярных методов визуального моделирования в первую очередь следует выделить: абстрактно-

тно-концептуальные, структурные — IDEF (Integrated DEFinition) [1], ECLIPS модели [22], объектно-ориентированный анализ и проектирование (ООАП) (RUP — Rational Unified Process) [6], DSM-подход (Domain-Specific Modeling — предметно-ориентированного моделирования) и MSF-подход (Microsoft Solutions Framework) [23, 24]. На данный момент создано множество качественных и удобных визуальных методов. Основной проблемой применения визуальных инструментов является слабая связь методов между собой и проблемы с экспортом/импортом данных между CASE средствами различного уровня проектирования.

Наиболее эффективным оказывается применение визуальных инструментов на начальных (тематических) этапах проектной деятельности, характеризующихся высокой степенью креативности. Часто визуальные инструменты называют еще инструментами когнитивной (креативной) графики. Их основная задача сделать максимально простым представление особенностей предметной области, максимально раскрывая креативные возможности разработчиков и сокращая общее время «тематического» проектирования, давая возможность начальной формализации синтезированных решений.

1. Разработка концептуально-абстрактной модели

Концептуально-абстрактные методы — это методы, в которых правила ведения разработки максимально упрощены, что определяет крайне низкий уровень формализма и регламента разработки. Часто такие методы называют экранными — результат должен уместиться на одном «экране» (хотя известны и полиэкранные методы) [13, 19, 20, 24].

Что касается использования итеративного подхода то, как правило, он в концептуально-абстрактных методах не используется, так как сужает поле возможных вариантов решений. Регламент выполнения проекта тоже практически отсутствует.

В настоящее время известно более сотни методов концептуально-абстрактного анализа. Каждый из них имеет свою область применения, уровень сложности и особенности. Применение в начале концептуально-абстрактного моделирования позволяет более четко поставить проблему (задачи) разработки и с наименьшими затратами перейти к более глубокому анализу.

На визуальные инструменты концептуально-абстрактных методов не налагается жестких ограничений по формализации, регламенту, итерационности процесса, основная их задача предоставить инструмент для обобщенного описания генерируемого решения на ранних стадиях проектирования («тематический» уровень).

Прежде чем приступить к проектированию ПП, необходимо проанализировать техническое задание и требования, накладываемые на ПП. Этот этап является наиболее важным и ответственным с точки зрения проектирования и оптимизации печатной платы. Если готовая

плата не будет соответствовать хотя бы одной норме проектирования, то она отправляется в отдел брака из-за несоответствия требованиям ТЗ (техническое задание). Чтобы избежать лишней работы и брака, для начала надо ознакомиться с основными нормами проектирования и изучить техническое задание [10, 11].

В качестве примера рассмотрим особенности разработки концептуально-абстрактной модели для описания технологического процесса изготовления усилителя на основе ИМС TDA2030. Концептуально-абстрактную модель представим в виде ментальной карты, включающей перечень основных операций производства усилителя.

Начальным этапом разработки такой карты является анализ исходных данных, к которым относится конструкторско-технологическая документа по изделиям-прототипам, аналогам, технической документации на элементную базу [25]. Краткий конструкторско-технологический анализ компонента показывает, что рассматриваемое изделие электронной техники (ИЭТ) реализовано на базе ИМС TDA2030 и представляет собой усилитель мощности низких частот. Используется в аппаратуре среднего класса с двухполярным источником питания (см. рис. 1). Подробно особенности схемотехнического проектирования рассматриваемого ИЭТ представлено в [26]. Микросхема работает в широком диапазоне питающих напряжений от $\pm 4.5\text{В}$ до $\pm 22\text{В}$. Возможно, так же, подключение микросхемы в схему с однополярным источником питания. Максимальная мощность, которую способна развить микросхема, составляет 18Вт, соответственно, при максимальном на-

пряжении питания. Внутренняя структура ИС содержит схему защиты выхода от короткого замыкания в нагрузке и термозащиту. Внешние диоды защищают выходные транзисторы микросхемы от бросков обратного напряжения. Сборка усилителя по типовой схеме не требует больших затрат, учитывая их не высокую стоимость. Все компоненты компактно располагаются на небольшом отрезке печатной платы, микросхема обязательно устанавливается на соответствующий теплоотвод. Для работы усилителя необходим стабилизированный двухполярный источник питания $\pm 15\text{В} \dots \pm 22\text{В}$. На рисунке 1 представлен изометрический вид усилителя TDA2030, реализованного в виде Step модели, созданной при помощи CAD3D моделирования (к примеру Solid Works) и интегрированной в Altium Designer с помощью средств импорта 3D Step моделей [26].

Базируясь на исходной информации разрабатывается концептуально-абстрактная модель процесса изготовления ИЭТ на базе TDA2030 в виде ментальной карты (рисунок 2). Она определяет структуру технологического процесса изготовления ИЭТ, ее свойства и причинно-следственные связи. Обычно концептуально-абстрактная модель строится на основе схемы сборки изделий, типовых маршрутных карт или других документированных инструкций [10, 14, 17].

На концептуально-абстрактном этапе согласуются основные группы операций технологического процесса изготовления устройства «Усилитель на TDA2030», уточняется их операционный состав исходя из анализа базовых технологических процессов производства.

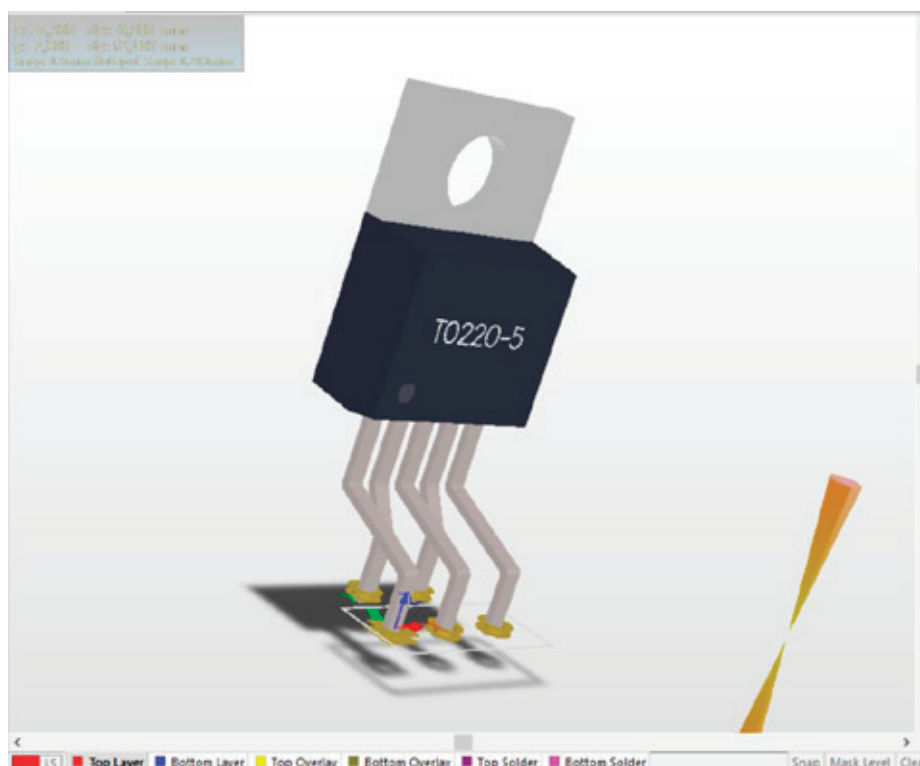


Рис. 1. 3D вид step-модели усилителя TDA 2030 в среде Altium Designer



Рис. 2. Концептуально-абстрактная модель усилителя на TDA2030

2. Разработка структурно-функциональной модели

2.1 Особенности разработки контекстной диаграммы структурно-функциональной модели

При необходимости более глубокой детализации разрабатываемого технологического процесса можно перейти к проектированию структурно-функциональной модели. Методика структурно-функционального моделирования является эффективным и достаточно распространенным методом формализованного описания сложных систем. Она предполагает моделирование функций объекта путем создания описательной графической модели, представляющей собой структуриро-

ванное изображение функций производственной системы с последующей иерархической декомпозицией до атомарного уровня (уровня перехода). Диаграммы, выполненные в нотации IDEF0, являются ICOM диаграммами, что предполагает использование четырех видов воздействий — входных (Input), контрольных (Control), механизмов (Mechanism) и выходных (Output). Соответственно входные воздействия отображены слева, контролируемые сверху, механизмы снизу, а выходные справа. Этот подход является первым этапом при описании и формализации техпроцесса, представляя так называемый уровень «черного ящика», иллюстрирующего как анализируемый процесс взаимодействует с внешней средой [1, 4, 18, 21]. На рисунке 3 представлена кон-

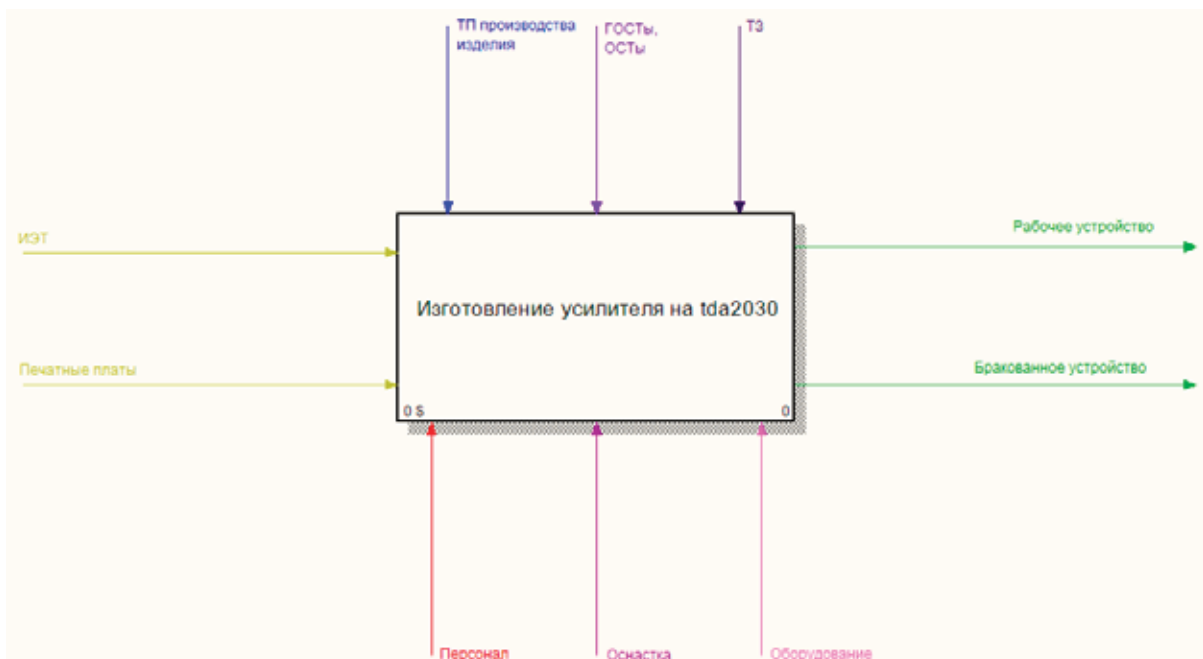


Рис. 3. Контекстная диаграмма ТП изготовления усилителя на TDA2030

текстная диаграмма ТП усилителя на основе TDA2030, разработанная на основе концептуально-абстрактной модели.

Описание контекстной диаграммы выглядят как “черный ящик”, она наглядно, в общем плане, показывает, какие ресурсы надо вложить (Input, Mechanism), какое управление обеспечивает выполнение заданной функции (Control), чтобы получить желаемое на выходе (Output).

2.2 Построение иерархической диаграммы структурно-функциональной модели

После построения контекстной диаграммы переходят к проведению ее иерархической декомпозиции на составные части, которые отражаются в виде иерархической диаграммы. Далее разработанная ранее контекстная диаграмма декомпозируется в нотации IDEF0 для отражения основных этапов изготовления усилителя на основе ИМС TDA2030.

Выходные данные каждой работы поступают на вход следующей, входные данные первой работы (предварительные операции) совпадают со входными данными контекстной диаграммы, а выходные последней (рабочее или бракованное устройство) — с выходными данными контекстной диаграммы. Такой подход позволяет формировать логическую цепочку производственного цикла посредством простых визуальных графических элементов. Подробно метода построения моделей в нотации IDEF представлена в [1].

2.3 Разработка моделей операционного анализа

При проведении иерархической декомпозиции технологического процесса встает вопрос, а до какого уровня необходимо выполнять данную декомпозиции. В принципе теоретически можно остановиться на любом уровне обобщения, однако для построения полной модели необходимо представить исследуемый техпроцесс до уровня перехода. При моделировании техпроцессов уровень перехода и принято считать атомарным. Т. е. дойдя до описания техпроцесса в виде совокупности операций — действий, выполняемых одним работником на одном рабочем месте, при дальнейшей детализации мы переходим на уровень переходов. Они выполняются на одном рабочем месте, одним работником и, следовательно, уже нет необходимости в применении ИСОМ блоков для описания работ, тут на первое место выходит логическая последовательность действий. Такую, атомарную декомпозицию операции на переходы позволяет выполнять диаграммы в нотации IDEF3. Можно проводить и более глубокую декомпозицию переходов, на установку ИЭТ и т.п., если это потребуется. На рисунке 5, в качестве примера, изображена IDEF3-диаграмма, декомпозиция одной из работ второго уровня декомпозиции производства усилителя на основе TDA2030.

Данный уровень декомпозиции, как правило, является атомарным. Все компоненты анализируемого технологического процесса определены, его структура сформирована. После этого осуществляется уточнение параметров работ рассматриваемого процесса, разрабатывается адаптированный технологический процесс (единичный, типовой

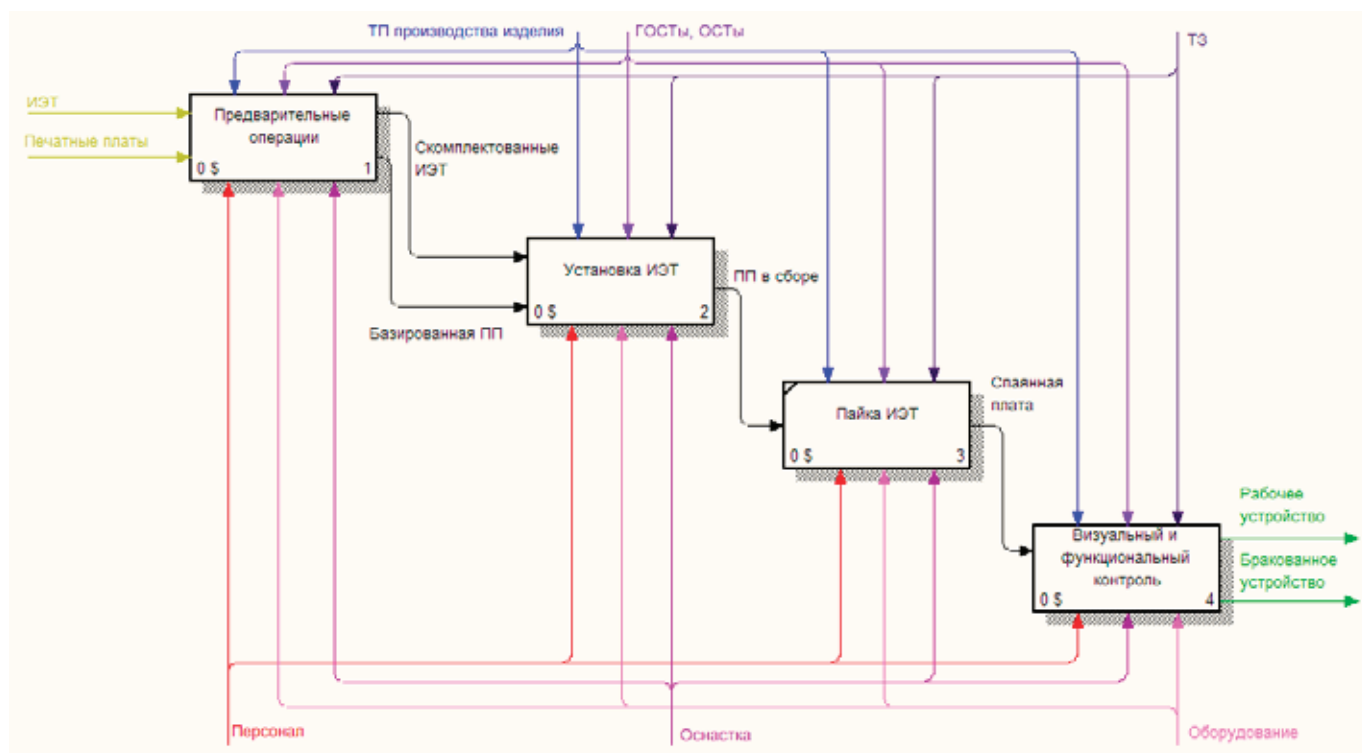


Рис. 4. Первый уровень декомпозиции ТП усилителя на TDA2030

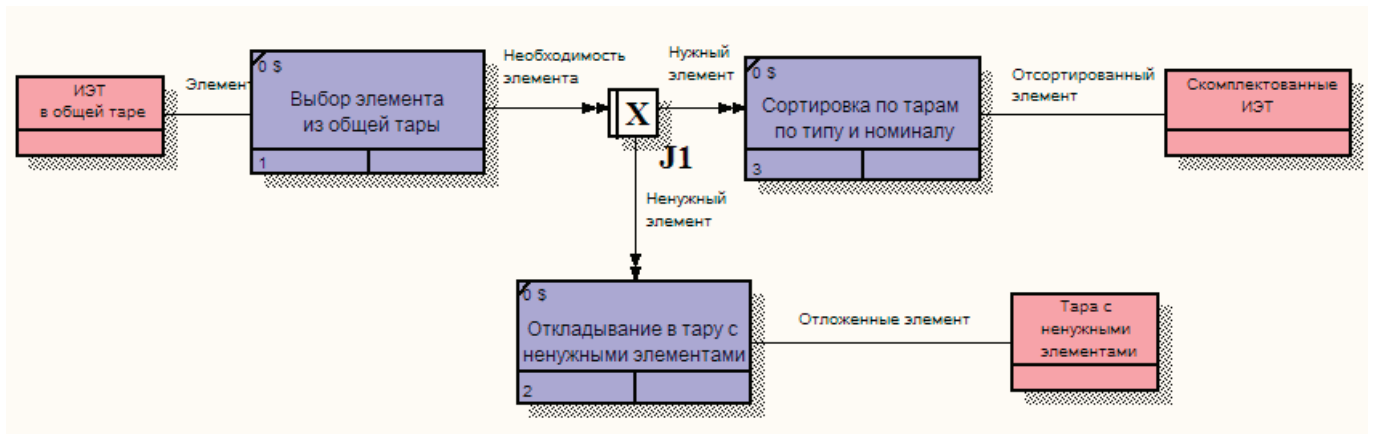


Рис. 5. Третий уровень декомпозиции работы «Комплектация ИЭТ»

или групповой), который учитывает конкретные производственные условия и технические требования на изделия.

Завершающим шагом моделирования является построение диаграммы дерева узлов, которая показывает сформированную декомпозицию технологического процесса в целом и может служить основой для разработки схемы сборки ИЭТ.

2.4 Оптимизация технологических процессов по интегральным и дифференциальным критериям

Полученная иерархическая диаграмма дерева узлов представляет полную декомпозицию технологического процесса и дает возможность детально проследить все операции и переходы (установку ИЭТ) технологического цикла сборки, отследить все затраты и время на сборку (интегральные критерии), оценить качественные характеристики составляющих технологического процесса (дифференциальные критерии) [29–32].

Интегральные критерии позволяют получить обобщенную комплексную оценку модели. Дифференциальные (UDP) критерии описывают непосредственно каждую из

«работ» модели. Обычно в качестве дифференциальных критериев применяются коэффициенты технологичности изготовления устройства. Полученный коэффициент определяет тип производства, при необходимости определенного объема выпуска его следует корректировать либо улучшением конструкции, либо совершенствованием технологии изготовления. По результатам оптимизации даются рекомендации по обеспечению заданных показателей качества, которые могут быть отражены с помощью диаграммы альтернативных точек зрения (FEO) [33].

3. Разработка знаниевой модели технологического процесса в виде фреймовой семантической сети

В общем случае, знания о технологических процессах относятся к знаниям описательного характера (декларативным). Для формализованного представления декларативных знаний чаще всего используются фреймовые конструкции или фреймовые семантические сети [5]. Для рассматриваемого в работе [34] примера фреймовая семантическая сеть ТП может быть представлена в виде семантического дерева, как показано на рисунке 6.

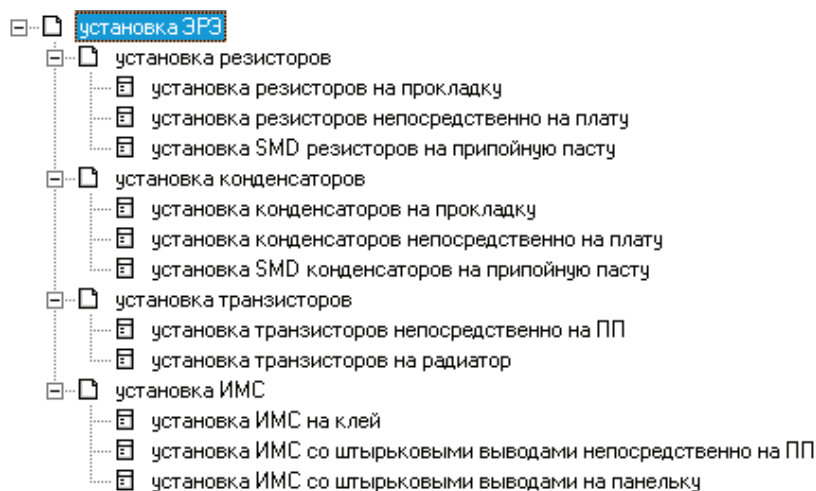


Рис. 6. Обобщенное представление фреймовой семантической сети, ТП усилителя на TDA2030

Данная фреймовая сеть позволяет сгенерировать способ монтажа электронных схем по заданным критериям. Выбор необходимых параметров, на основе которых происходит процесс генерации технологического

процесса сборки устройства, осуществляется в виде диалога, где пользователю представляется возможность отвечать на односложные вопросы в виде да/нет. Пример подобного диалога представлена на рисунке 7.

```
Диалог:
Теплоизоляция нужна (Д/Н)? [Д]
Устанавливаем резистор (Д/Н)? [Д]
Монтаж навесной (Д/Н)? [Д]
Найдено решение:

Результаты отчета:
установка резисторов на прокладку:
[]
Теплоизоляция нужна
Устанавливаем резистор
Монтаж навесной
```

Рис. 7. Пример диалога формирования ТП усилителя на TDA2030

Знания фреймовых сетей наполняются экспертами в своей области для автоматизации решений вопросов без участия этих самых экспертов с целью экономии временных ресурсов.

Заключение

В работе даны рекомендации по реализации основных этапов системного анализа производственных процессов

с использованием визуальных инструментов (инструментов когнитивной графики). Создаваемая база визуальных моделей технологических процессов является знанием архивом предприятия и позволяет проводить глубокий анализ производственной деятельности, вводить корректировки, предлагать новые решения, производить реинжиниринг этапов жизненного цикла выпускаемой продукции.

Литература:

1. Маклаков, С.В. VPwin и Egwin: CASE-средства для разработки информационных систем.— М.: Диалог-МИФИ, 2000 г.— 304с.
2. Вудсон, У.Е., Коновер Д.В. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. Пер. с англ.— М.: Издательство «Мир», 1968.— 518 с., ил.
3. Кознов, Д.В., Ольхович Л.Б. Визуальные языки проектов // Системное программирование. 2005. Т. 1. С. 148–167.
4. Власов, А.И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10–28.
5. Шахнов, В.А., Власов А.И., Журавлева Л.В. Визуальные методы в условиях синхронных технологий передачи знаний // Тезисы докладов второй международной научно-практической конференции «Управление качеством инженерного образования. Возможности ВУЗов и потребности промышленности» — М: МГТУ им.Н. Э. Баумана. 2016. С. 153–154.
6. Кознов, Д.В., Перегудов А.Ф., Романовский К.Ю., Кашин А.А., Тимофеев А.Е. Опыт использования UML при создании технической документации // Системное программирование. 2005. Т. 1. № 1. С. 18–35.
7. Павлинов, А.А., Кознов Д.В., Перегудов А.Ф., Бугайченко Д.Ю., Казакова А.С., Чернятчик Р.И., Иванов А.Н. О средствах разработки проблемно-ориентированных визуальных языков // Системное программирование. 2006. Т. 2. № 1. С. 116–141.
8. Власов, А.И. Особенности визуальной формализации информационных потоков в системах поддержки менеджмента качества ЭА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 2. С. 187–190.
9. Власов, А.И. Применение методов визуального моделирования для формализации конструкторско-технологической информации // В сборнике: Информатизация образования — 2012 Материалы Международной научно-практической конференции. 2012. С. 70–78.
10. Адамова, А.А., Власов А.И. Визуальное моделирование адаптации подготовки производства к выпуску новой продукции // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 2 (154). С. 46–56.
11. Власов, А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Системный анализ «бережливого производства» инструментами визуального моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4 (160). С. 19–24.

12. Власов, А. И., Кирбабин О. Е., Шепель А. С. Методология визуального проектирования как инструмент организации поддержки учебного процесса // *Материалы международного симпозиума. Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&MQ'2008)*. 2008. С. 110–111.
13. Власов, А. И., Журавлева Л. В., Тимофеев Г. Г. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро-/наносистем // *Научное обозрение*. 2013. № 1. С. 107–111.
14. Билибин, К. И., Власов А. И., Журавлева Л. В. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов — Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 568 с. Сер. «Информатика в техническом университете» (Издание второе, переработанное и дополненное).
15. Власов, А. И., Михненко А. Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // *Производство электроники*. 2006. № 4. С. 5–12.
16. Власов, А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Система 5S-технология создания эффективного рабочего места в концепции «бережливого производства» // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2016. № 1 (161). С. 65–68.
17. Власов, А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Картирование потока создания ценностей в концепции «бережливого производства» // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2016. № 2 (162). С. 23–27.
18. Адамов, А. П., Адамова А. А., Сенькина М. А., Исмаилова И. Т. Системный анализ в управлении предпринимательскими организациями. Под общей редакцией А. П. Адамова — Изд-во Политехника. Санкт-Петербург, 2002. 251 с.
19. Кознов, Д. В., Ларчик Е. В., Плискин М. М., Артамонов Н. И. О задаче слияния карт памяти (Mind Maps) при коллективной разработке // *Программирование*. 2011. Т. 37. № 6. С. 56–66.
20. Журавлева, Л. В., Власов А. И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2013. № 1 (21). С. 133–140.
21. Маркелов, В. В., Власов А. И., Зотьева Д. Е. Функциональная визуальная модель контроля качества ЭС // *Проектирование и технология электронных средств*. 2014. № 1. С. 25–30.
22. Сорокин, А. В., Кознов Д. В. Обзор Eclipse Modeling Project // *Системное программирование*. 2010. Т. 5. № 1. С. 6–32.
23. Кознов, Д. В. Разработка и сопровождение dsm-решений на основе MSF* // *Системное программирование*. 2008. Т. 3. № 1. С. 80–96.
24. Кознов, Д. В., Иванов А. Н. Поддержка концептуального моделирования при разработке визуальных языков с использованием Microsoft DSL TOOLS // *Системное программирование*. 2009. Т. 4. С. 105–127.
25. TDA2030 Datasheet. Электронный ресурс. URL: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Tda2030>. Дата обращения 14.06.2016.
26. Гриднев, В. Н., Емельянов Е. И., Власов А. И., Леонидов В. В. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER // *Датчики и системы*. 2016. № 5 (203). С. 28–36.
27. Власов, А. И., Маркелов В. В., Зотьева Д. Е. Управление и контроль качества изделий электронной техники. Семь основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники // *Датчики и системы*. 2014. № 8 (183). С. 55–66.
28. Мысловский, Э. В., Лукин К. Б. Статистический контроль качества сборки РЭА — Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 1982. 55 с.
29. Адамова, А. А., Адамов А. П., Шахнов В. А. Методика оценки технологичности электронных изделий на этапах проектирования и производства // *Труды международного симпозиума Надежность и качество*. 2015. Т. 2. С. 352–356.
30. Ирзаев, Г. Х., Адамова А. А. Автоматизация процесса формирования системы показателей для оценки технологичности конструкции изделия // *Автоматизация. Современные технологии*. 2014. № 11. С. 27–33.
31. Адамов, А. П., Адамова А. А., Власов А. И. Дифференциальные коэффициенты оценки технологичности электронных средств и их применение при структурно-функциональном моделировании производственных систем // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение*. 2015. № 5 (104). С. 109–123.
32. Адамова, А. А., Адамов А. П. Многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2013. № 11 (23). С. 12.
33. В. В. Маркелов, А. С. Кабаева *Управление качеством электронных средств: учеб. пособие*. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 272 с.: ил. (Библиотека «Конструирование и технология электронных средств»: в 25 кн. Кн. 2).
34. Гоношилов, Д. Концепция структурно-функционального моделирования технологического процесса производства электронной аппаратуры // *Сборник трудов 18-й Молодежной международной научно — технической конференции «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2016»*. — г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана. 20 апреля 2016 г. С. 47–50.

Моделирование установки первичной перегонки нефти в режиме энергосбережения

Долгополова Виктория Леонидовна, магистрант
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

Кривошеев Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

Ануфриев Александр Вячеславович, магистрант
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

В данной работе исследовано выделение прямогонного бензина по двухколонной схеме и установлено, что минимальная тепловая нагрузка на колонны до выхода на постоянную низкую скорость её изменения при различном уровне потерь бензина наблюдается без отбора газовой фазы из К-8 при 2% потере прямогонного бензина в колонне К-1. Целью данной работы является определение технологических параметров работы двухколонной ректификационной установки, при которых с минимальными энергозатратами обеспечивается получение фракции прямогонного бензина в широком диапазоне доли его отбора от потенциального содержания в сырье.

Ключевые слова: установка первичной перегонки нефти, прямогонный бензин, процессы разделения, минимизация энергозатрат, моделирование в системе UniSim Design компании Honeywell

Описание технологической схемы процесса

Существуют три различных способа перегонки нефти [1, с. 58–61]. Применительно к установкам получения прямогонного бензина известны следующие варианты перегонки. Первый способ предполагает разделение нефти на фракции в одной сложной ректификационной колонне с боковым отбором целевой фракции. Второй способ подразумевает перегонку нефти также в одной колонне, только при этом отделение газов от бензина будет происходить в парциальном конденсаторе. На практике чаще применяют технологическую схему перегонки нефти, состоящую из двух колонн, работающих при повышенном давлении.

Технологический процесс рассматриваемой установки получения прямогонного бензина (рис. 1) протекает следующим образом. Обессоленная нефть, нагретая до температуры 240°C, поступает в колонну отбензинивания К-1, откуда нижним продуктом выводится стабильная отбензиненная нефть. С верха колонны отбирается газовый поток и конденсат — нестабильный прямогонный бензин, содержащий в себе большое количество растворенных газов. Далее он нагревается в теплообменнике и поступает в колонну стабилизации бензина К-8, где происходит отделение сжиженных газов от прямогонного бензина.

Моделирование статических режимов работы установки

Моделирование технологической схемы первичной перегонки нефти проводилось в системе моделирования UniSim Design компании Honeywell.

Для нефтяной смеси уравнение состояния является термодинамической моделью равновесных паровой и жидкой

фаз в отдельности [2, с. 144]. При моделировании сложной нефтяной системы, имеющей в своем составе газовую часть, широкое распространение эмпирические уравнения состояния Пенга-Робинсона [3, с. 11, 4, с. 59].

Задачей моделирования является минимизация энергозатрат на получение прямогонного бензина заданного качества в широком диапазоне доли его отбора от потенциала.

В качестве исходных данных для характеристики нефтяной смеси были использованы данные из справочника [5, с. 580] для нефти Западной Сибири Усть-Балыкского месторождения (таблица 1).

Состав газовой части и содержание низкокипящих углеводородов, растворенных в нефти, приведены в таблице 2.

При моделировании в программе UniSim Design нефтяная смесь представлялась 33 «псевдокомпонентами» в диапазоне температур конца кипения от 47 до 560°C. Также было вычислено потенциальное содержание прямогонных продуктов в смеси по данным кривой разгонки нефтяной смеси, представленной на рис. 2. Для этого были заданы температурные границы фракций согласно данным технологического регламента установки ЭЛОУ-АВТ-6 ОАО «АНХК» (г. Ангарск) [6, с. 9–11]. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Для формирования потока нефти необходимо задать следующие потоковые характеристики: температуру, давление, расход, значения молярной массы и плотности нефти [5, с. 580, 6, с. 47]. Характеристики данного потока представлены в таблице 4.

Исследование статических режимов колонны К-1

Для моделирования первой стадии процесса разделения нефти в колонне К-1, так называемого «отбензи-

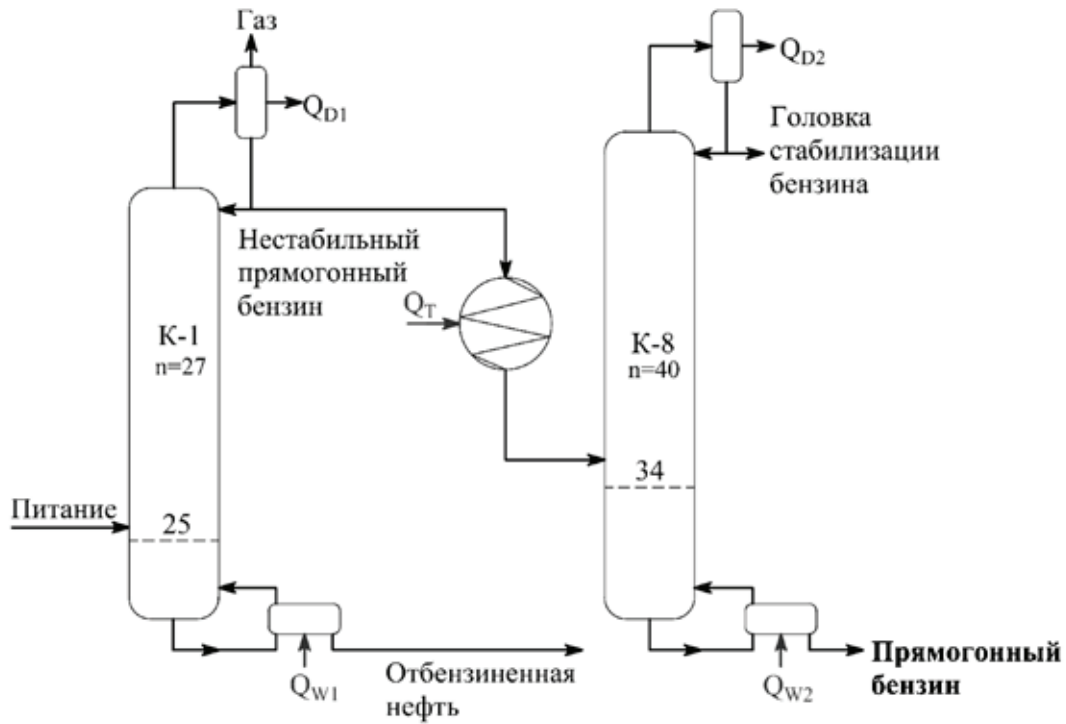


Рис. 1. Схема установки получения прямогонного бензина: n — число тарелок в колонне; Q_w — тепловой поток в куб колонны; Q_D — тепловой поток в конденсаторе; Q_T — тепловой поток в подогреватель

Таблица 1. Физико-химические свойства нефти Западной Сибири Усть-балыкского месторождения

№ фракции	Температура конца кипения фракции, °С	Выход на нефть, мас. %	Молярная масса фракции, г/моль	Плотность фракции, кг/м³	Вязкость при 20 °С, сСт	Вязкость при 100 °С, сСт
1	68	2,06	80	650,1	-	-
2	94	4,12	-	691,1	-	-
3	118	6,15	-	711,5	-	-
4	139	8,47	122	726,6	-	-
5	154	10,35	-	740,6	-	-
6	170	12,78	-	753,0	1,01	-
7	186	15,3	-	764,8	1,19	-
8	200	17,77	160	778,9	1,44	-
9	215	20,29	-	788,1	1,92	-
10	228	22,83	-	801,8	2,39	-
11	246	25,41	-	811,9	2,91	-
12	259	27,99	200	821,7	4,01	1,07
13	274	30,57	-	829,5	4,70	1,25
14	292	33,15	-	838,7	6,05	1,40
15	310	35,84	-	846,4	7,90	1,69
16	326	38,55	260	855,2	10,80	1,91
17	344	41,29	-	863,9	16,09	2,38
18	361	44,20	-	872,6	21,00	2,75
19	376	47,15	-	880,2	-	3,45
20	395	50,17	320	888,6	-	4,23
21	410	53,23	-	895,5	-	4,82
22	424	56,25	-	901,9	-	5,77
23	440	59,20	380	905,9	-	6,41
24	452	62,33	-	908,6	-	7,22
25	460	65,35	390	911,1	-	7,92

Таблица 2. Состав газов (до C₄), растворенных в нефти Усть-балыкского месторождения и содержание низкокипящих углеводородов (до C₅) [5, с. 399]

Вещество	Содержание индивидуальных углеводородов, % (мас.)
C ₂ H ₆	1,2
C ₃ H ₈	17,6
и-C ₄ H ₁₀	16,0
н-C ₄ H ₁₀	38,2
и-C ₅ H ₁₂	14,5
н-C ₅ H ₁₂	12,5

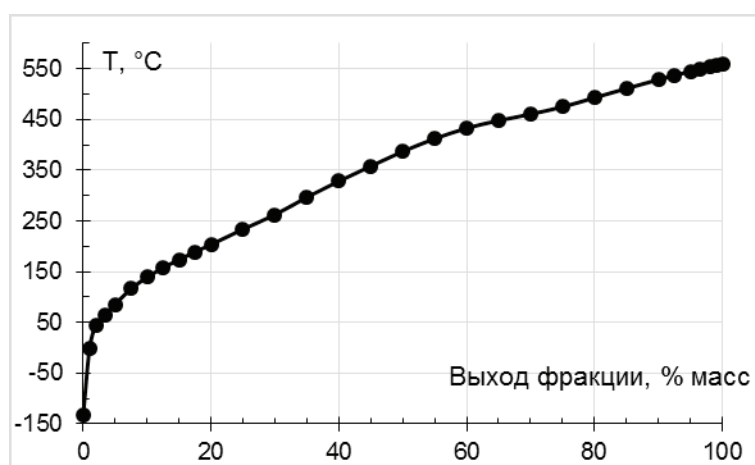


Рис. 2. Кривая истинных температур кипения нефти

Таблица 3. Потенциальное содержание прямогонных продуктов в нефти

Название фракции	Температура начала кипения фракции, °C	Температура конца кипения фракции, °C	Содержание фракции в нефти, % (мас.)
Газы	-26	30	0,014
Прямогонный бензин	30	180	0,142
Отбензиненная нефть	180	575,6	0,568

Таблица 4. Характеристики потока сырой нефти

Параметр	Значение
Температура, °C	240
Давление, МПа	4
Массовый расход, кг/ч	550 000
Плотность, кг/м ³	857,6
Молярная масса, кг/кмоль	235,9

нивания» или стабилизации, заданы параметры, приведённые в таблице 5.

Давление в нижней части колонны должно быть выше верхнего на величину гидравлического сопротивления внутренних устройств согласно ГОСТ [7, с. 2], поэтому перепад давления в колонне был принят равным 500 кПа.

При моделировании введены спецификации на требования к процессу, приведенные в таблице 6.

С помощью первой спецификации обеспечен конец кипения бензиновой фракции, выходящей с верхней части колонны К-1. Вторая спецификация зафиксировала начало кипения уходящей с нижней части колонны отбензиненной нефти. Последняя спецификация контролирует

Таблица 5. Параметры и режимные характеристики работы колонны К-1

Параметр	Значение для колонны К-1
Количество тарелок	27
Питающая тарелка	25
КПД тарелок	0,7
Давление в верхней части колонны, МПа	0,3
Давление в нижней части колонны, МПа	0,35
Температура в верхней части колонны, °С	135
Температура в нижней части колонны, °С	220

Таблица 6. Перечень спецификаций для колонны К-1

Вид спецификации	Значение параметра
Температура отгона 100% жидкости в конденсаторе колонны К-1	180 °С
Температура отгона 0% жидкости в ребойлере колонны К-1	180 °С
Массовый расход отходящих газов колонны К-1	0 кг

значение массового расхода газов, которое было выбрано исходя из представленных ниже результатов моделирования колонны К-1 и К-8 в виде графических зависимостей на рис. 3 и 4. Параметры и режимные характеристики работы колонны К-8 приведены в таблице 7.

Из приведенных выше графиков следует, что с увеличением расхода газового потока в колонне К-1 суммарное значение тепловой нагрузки на колонны К-1 и К-8, а соответственно энергозатрат, постоянно увеличивается (рис. 3), а с увеличением отбора газа из колонны К-1 уменьшается суммарная доля отбора прямогонного бен-

зина от потенциального содержания его в сырье (рис. 4). В связи с изложенным для энерго- и ресурсосбережения нецелесообразно отбирать газовый поток из колонны К-1.

Исследование статических режимов колонны стабилизации бензина К-8

Для моделирования второй стадии процесса разделения нефти в колонне К-8 поток нестабильного прямогонного бензина, содержащего большое количество газов, требуется нагреть в теплообменнике до темпера-

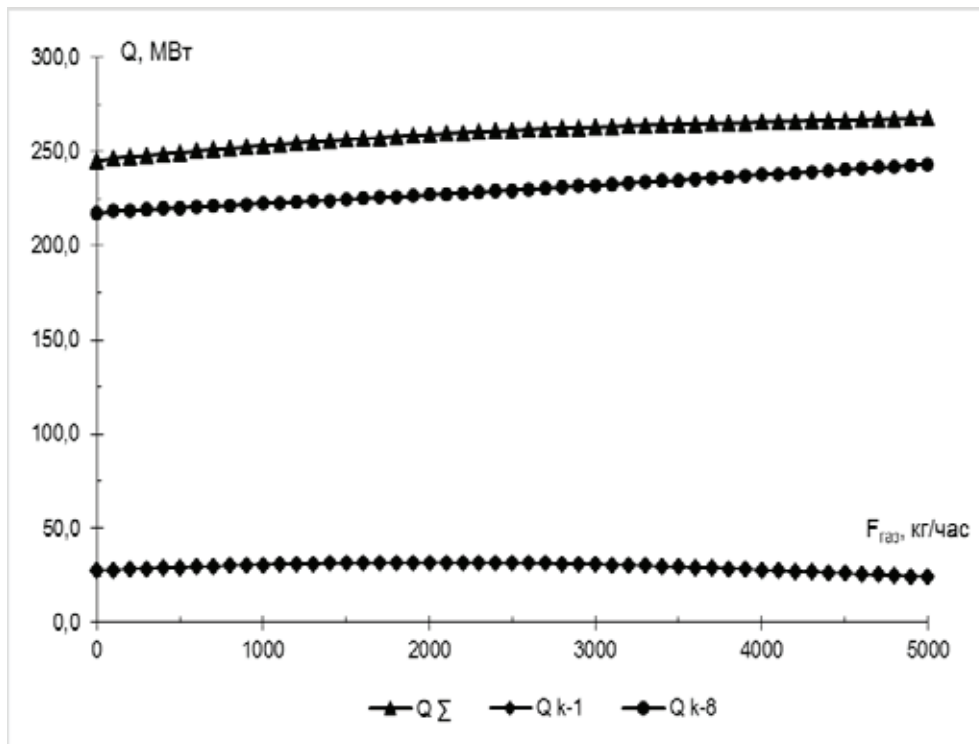


Рис. 3. Зависимость тепловой нагрузки колонн К-1, К-8 от расхода газа: Q_{k-1} — тепловая нагрузка колонны К-1; Q_{k-8} — тепловая нагрузка колонны К-8; Q_{Σ} — суммарная тепловая нагрузка; $F_{газ}$ — расход газового потока в колонне К-1

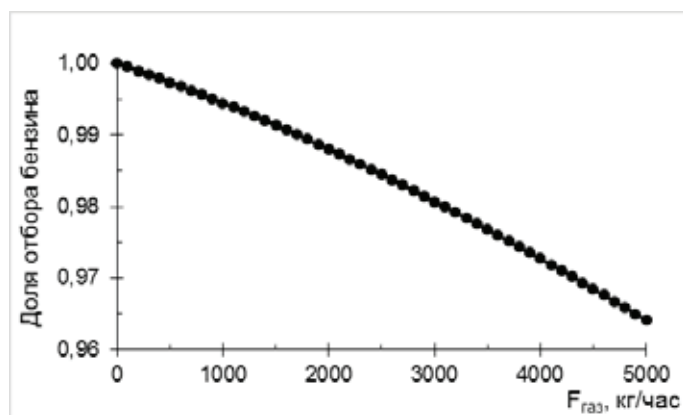


Рис. 4. Изменение суммарной доли отбора бензина от потенциала при увеличении расхода газа

туры 163°C, при которой давления потока достигает 1,1 МПа. Это необходимо вследствие того, что в колонне К-8 давление должно быть выше давления в колонне К-1. Для подогрева выходящего потока из колонны К-1

до 163°C тепловая нагрузка теплообменника составляет 4,76 МВт.

Для моделирования процесса разделения нефти в колонне К-8 заданы параметры, приведённые в таблице 7.

Таблица 7. Параметры и режимные характеристики работы колонны К-8

Параметр	Значение параметра
Количество тарелок	40
Питающая тарелка	34
Давление в верхней части колонны, МПа	10,5
Давление в нижней части колонны, МПа	11
Температура в верхней части колонны, °C	80
Температура в нижней части колонны, °C	160

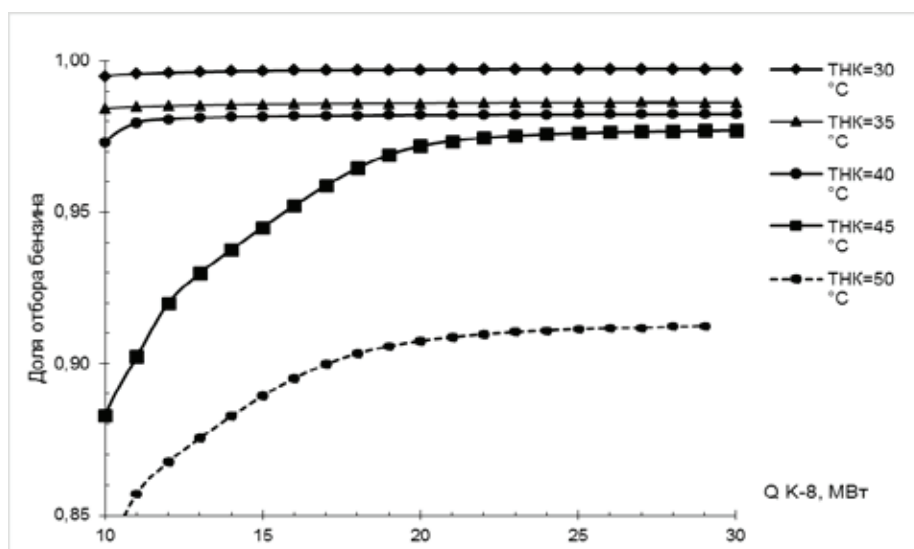


Рис. 5. Зависимость доли отбора прямогонного бензина от теплоты, подаваемой в куб колонны К-8, для различных ТНК фракции бензина

Таблица 8. Перечень спецификаций для колонны К-8

Вид спецификации	Значение параметра
Температура отгона 100% жидкости в конденсаторе	31 °C
Температура отгона 0% жидкости в ребойлере	30 °C

В данной колонне стабилизации бензина отбирается два потока: верхний, содержащий углеводороды C_1-C_4 , и нижний, содержащий прямогонный бензин требуемого качества.

В данной работе требования на качество прямогонного бензина взяты из Технического регламента предприятия [6, с. 9–11]. Согласно этого документа, температура начала кипения бензина (ТНК) должна быть не ниже 30°C, а температура конца кипения (ТКК) — не выше 180°C. Последнее граничное условие было задано при моделировании колонны К-1 с помощью спецификации, определяющей ТКК потока нестабильного прямогонного бензина. Для получения требуемого качества прямогонного бензина по ТНК были выбраны спецификации, приведенные в таблице 8. С помощью приведенных спецификаций зафиксирована ТКК головки стабилизации бензина и ТНК прямогонного бензина.

Исследуем влияние ТНК бензина и тепла, подаваемого в куб колонны К-8, на долю отбора бензина от потенциала. На рисунке 5 приведены графические зависимости доли отбора прямогонного бензина от теплоты, подаваемой в куб колонны К-8 для различных ТНК фракции бензина.

Из графика, представленного на рис. 5, следует, что при увеличении ТНК прямогонного бензина доля отбора постепенно уменьшается, а начиная с 45°C, при малых значениях тепловой нагрузки, доля отбора резко снижается. С увеличением подачи тепла в колонну доля отбора возрастает, однако для ТНК, равных 30, 35 и 40°C, данное влияние незначительно. Максимальная доля отбора прямогонного бензина достигается при

$$ТНК = 30^{\circ}C.$$

Характеристики потоков двухколонной установки для 100% отбора прямогонного бензина приведены в таблице 9.

Таблица 9. Характеристики потоков установки получения прямогонного бензина

Колонна	Наименование потока	Температура, °C	Давление, кПа	Массовый расход, кг/ч	Тепловая нагрузка колонны, МВт
К-1	Газ	81	300	0	216
	Нестабильный прямогонный бензин	250	300	80114	
	Отбензиненная нефть	354	350	469886	
К-8	Головка стабилизации бензина	57	1050	6740	27
	Прямогонный бензин	209	1100	73374	

Получены графические зависимости изменения ТНК стабильной нефти (рис. 6) и потери бензина в стабильной нефти относительно потенциального содержания бензина в сырье в зависимости от тепловой нагрузки колонны К-1 (рис. 7).

Из графиков следует, что при уменьшении тепловой нагрузки на колонну уменьшается ТНК стабильной нефти, что означает увеличение содержания в ней примесей бензиновой фракции.

Исследовано влияние подачи тепла в колонну К-8 на ТКК головки стабилизации бензина (рис. 8) и на потерю бензина в головке стабилизации относительно потенциального содержания в сырье (рис. 9).

Из графиков следует, что при уменьшении тепловой нагрузки на колонну К-8 увеличивается ТКК головки стабилизации бензина, что означает увеличение содержания в ней примесей бензиновой фракции.

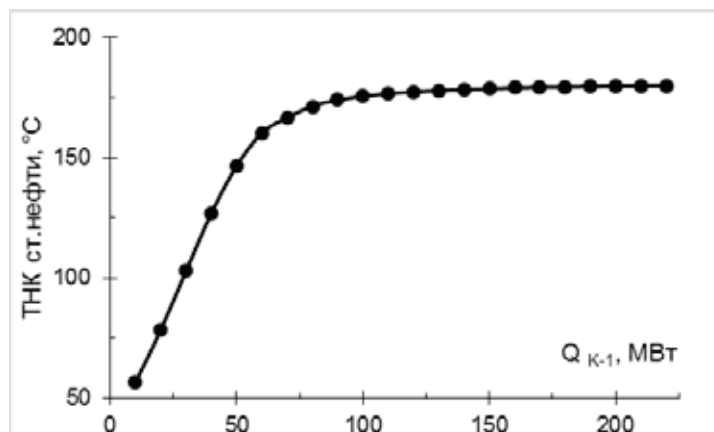


Рис. 6. Изменение ТНК стабильной нефти в зависимости от тепловой нагрузки колонны К-1

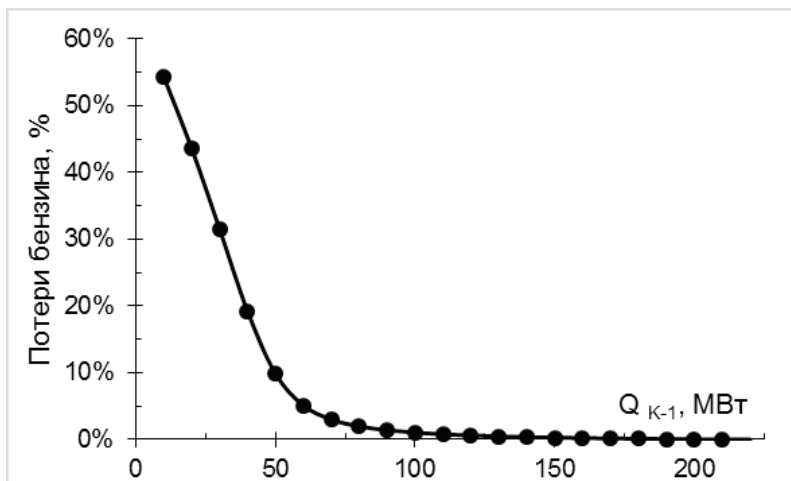


Рис. 7. Влияние тепловой нагрузки колонны К-1 на потерю бензина в стабильной нефти относительно потенциального содержания бензина в сырье

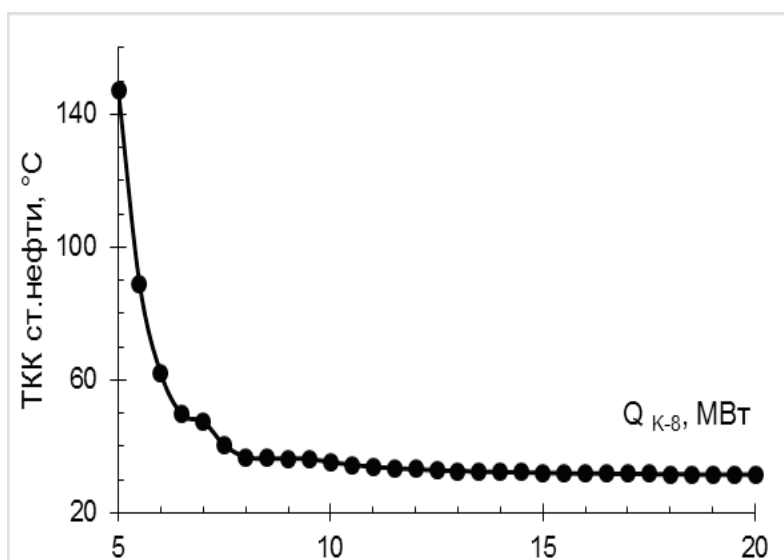


Рис. 8. Изменение ТКК головки стабилизации бензина в зависимости от тепловой нагрузки колонны К-8

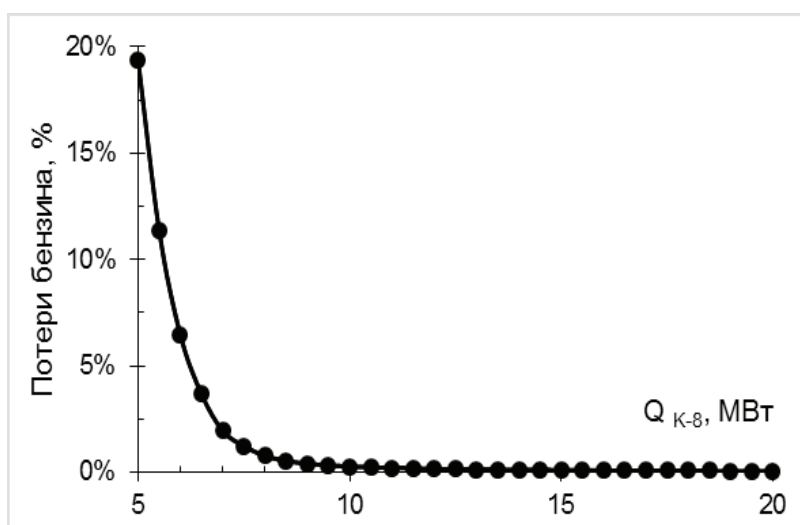


Рис. 9. Влияние тепловой нагрузки колонны К-8 на потерю бензина в головке стабилизации относительно потенциального содержания в сырье

Для выбора энергосберегающего режима смоделированы статические режимы совместного функционирования колонн К-1 и К-8 для различных величин суммарной доли отбора прямогонного бензина от его потенциального содержания в сырьевом потоке К-1 в диапазоне от 90% до 97,5%.

На рис. 10, 11 и 12 показаны зависимости тепловой нагрузки на К-1, на К-8 и суммарная тепловая нагрузка от потерь прямогонного бензина (нафты) с кубовым продуктом колонны К-1.

Из графиков следует, что минимальные энергозатраты при достижении доли отбора бензина заданного качества

90% (рис. 10) достигаются при его 9% потере с К-1. При этом суммарная тепловая нагрузка составляет 85 МВт. Тепловая нагрузка составляет соответственно 79 МВт на К-1 и 6 МВт на К-8.

Минимальные энергозатраты при достижении доли отбора бензина заданного качества 95% (рис. 11) достигаются при его 4,6% потере с К-1. При этом суммарная тепловая нагрузка составляет 70 МВт. Тепловая нагрузка составляет соответственно 62 МВт на К-1 и 8 МВт на К-8. Минимальные энергозатраты при достижении доли отбора бензина заданного качества 97,5% (рис. 12) достигаются при его 2,2% потере с К-1. При этом суммарная тепловая

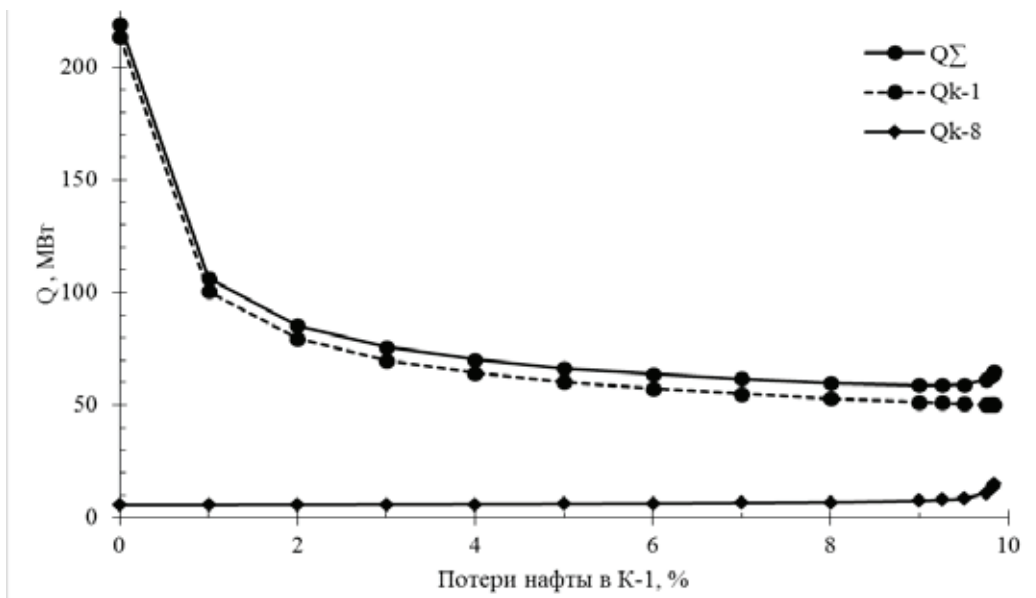


Рис. 10. Зависимость энергозатрат процесса от потери нафты с отбензиненной нефтью колонны К-1 при суммарной потере прямогонного бензина 10%

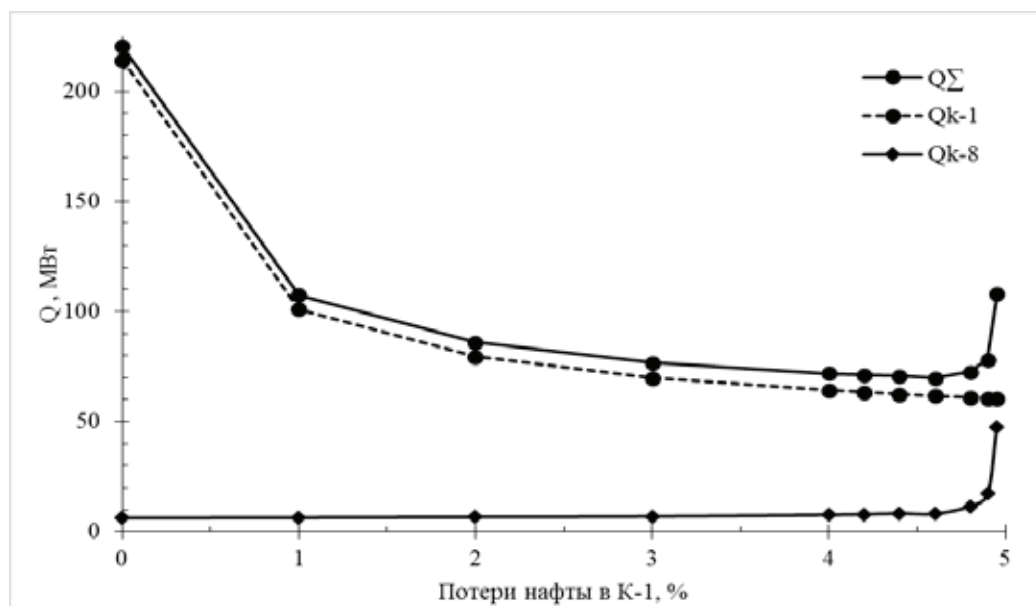


Рис. 11. Зависимость энергозатрат процесса от потери нафты с отбензиненной нефтью колонны К-1 при суммарной потере прямогонного бензина 5%

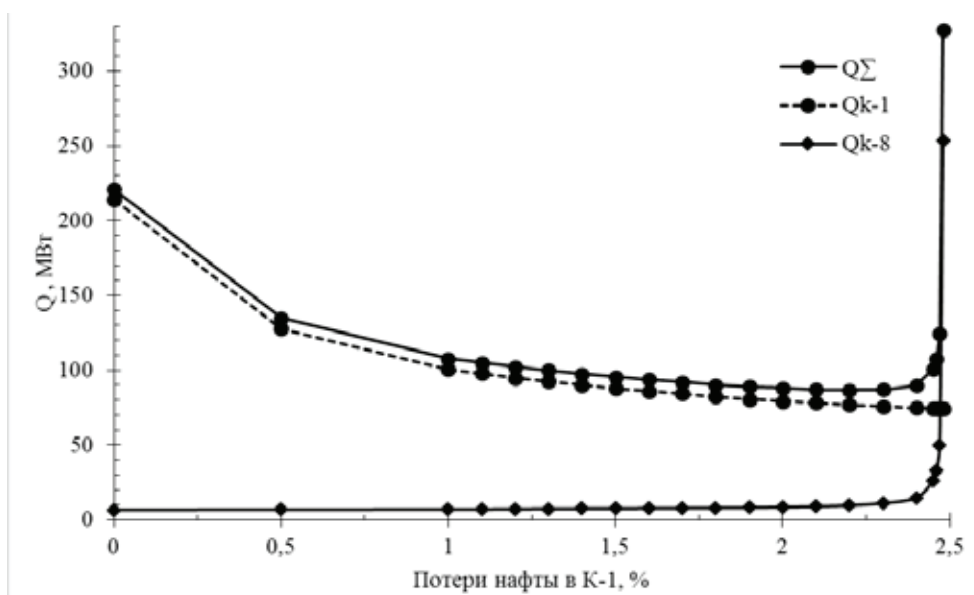


Рис. 12. Зависимость энергозатрат процесса от потери нефти с отбензиненной нефтью колонны К-1 при суммарной потере прямогонного бензина 2,5%

нагрузка составляет 87 МВт. Тепловая нагрузка составляет соответственно 77 МВт на К-1 и 10 МВт на К-8.

Резкое уменьшение скорости снижения общей тепловой нагрузки наблюдается во всех случаях при 2% потере бензина с кубовым продуктом колонны К-2. При

этом тепловая нагрузка на колонну К-1 остаётся постоянной на значении 79 МВт, а тепловая нагрузка на колонну К-8 изменяется незначительно (от 6 до 9 МВт).

Для моделирования энергосберегающего режима предлагаются спецификации, приведённые в табл. 10.

Таблица 10. Перечень спецификаций для колонн К-1 и К-8 в энергосберегающем режиме

Вид спецификации	Значение параметра
Температура отгона 100% жидкости в конденсаторе колонны К-1	180 °С
Тепловая нагрузка в куб колонны К-1	79 МВт
Массовый расход отходящих газов колонны К-1	0 кг
Тепловая нагрузка в куб колонны К-8	8 МВт
Температура отгона 0% жидкости в ребойлере колонны К-8	30 °С

В предлагаемом режиме энергосбережения (табл. 10) по сравнению с режимом 100% отбора нефти кубовым продуктом колонны К-8 (рис. 9) тепловая нагрузка уменьшается с 243 МВт до 87 МВт.

В результате выполненных исследований установлено, что с увеличением расхода газового потока в колонне К-1 значение тепловой нагрузки на обе колонны увеличивается, а доля отбора прямогонного бензина уменьшается;

максимальная доля отбора прямогонного бензина достигается при ТНК, равной 30°С. Предложен технологический энергосберегающий режим для колонн К-1 и К-8 установки ЭЛОУ-АВТ-6 ОАО «АНХК» при заданном расходе и составе нефти Усть-балыкского месторождения Западной Сибири и показано, что снижение тепловой нагрузки на колонны к-1 и к-8 составит 156 МВт, если допустить 2% потери бензина с кубовым продуктом колонны К-1.

Литература:

1. Баннов, П. Г. Процессы переработки нефти: учебно-методическое пособие: в 3-х кн. Часть 1 / П. Г. Баннов — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. — 224 с.
2. Брусиловский, А. И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа / А. И. Брусиловский. — М.: Грааль, 2002. — 575 с.
3. Уэйлес, С. Фазовые превращения в химической технологии / С. Уэйлес. — М.: Мир, 1989. — 304 с.
4. Peng, D. Y. A new two-constant equation of state / D. Y. Peng, D. B. Robinson // Industrial and Engineering Chemistry. — 1976. V. 15, № 1. — P. 59–64.

5. Нефти СССР: справочник: в 4-х томах. Том 4. Нефти Средней Азии, Казахстана, Сибири и о. Сахалин / З. В. Дриацкая, М. А. Мхчян, Н. М. Жмыхова и др. — М.: Химия, 1974. — 792 с.
6. Технологический регламент ОАО «АНХК» установки ЭЛОУ-АВТ-6
7. ТР 02–56–2011 от 2011 г. — 262 с.
8. ГОСТ 31838–2012. Аппараты колонные. Технические требования. — Введ. 01.01.2014. — М.: Стандартинформ, 2013. — 16 с.

Анализ причин предаварийного состояния несущих стен многоквартирного жилого дома в г. Астане и рекомендации по восстановлению

Жолмагамбетов Сырлыбек Рысбекович, кандидат технических наук,
начальник отдела новых технологий и предпроектных работ;

Кожасов Сарсенбек Кенжебекович, инженер

Научно-исследовательский, экспертный и проектно-изыскательский Казахстанский многопрофильный институт реконструкции и развития
(г. Караганда, Казахстан)

Хабидолда Омирхан, докторант

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Кожас Айгуль Кенжебеккызы, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Калачева Светлана Андреевна, старший преподаватель

Карагандинский государственный технический университет (Казахстан)

Сотрудниками Казахстанского Многопрофильного института Реконструкции и Развития при РГП на ПХВ КарГТУ (КазМИРР) в 2015 году было проведено экспертное обследование и оценка технического состояния строительных конструкций объекта «Многоквартирный жилой комплекс в районе индивидуальной жилой застройки «ЮГО-ВОСТОК» в г. Астане» [1].

Первоначальным проектом предусмотрено строительство восьми 5-этажных сблокированных блок-секций изломанной формы. Явившиеся предметом обследования четыре блок-секции (подъезды 1...5) объединены между собой и составляют пятиподъездный жилой дом, изломанной конфигурации в плане с общими размерами 54,90x18,75 м в пределах разбивочных осей «1–8, А–Г». Высота цокольного этажа проектируется 2,8 м; высота последующих этажей — 3,0 м, высота технического этажа (чердака) 1,8 м.

При этом относительно исходного проекта генподрядной организацией в период строительства (2007–2008 г.г.) были внесены значительные корректировки конструктивного решения Объекта:

1. Технические этажи с проектной отметки +15,000 аннулированы и запроектированы как жилые с высотой этажа $h=3,0$ м.

2. Плоская крыша с рулонной мягкой кровлей заменена чердачной крышей с покрытием металлочерепицей.

3. Цокольный этаж выполнен в чистоте 3,0 м против заложенных первоначальным проектом 2,8 м в чистоте в целях расположения в нем объектов общественного назначения.

На момент проведения обследования выполнялись отделочные работы.

В конструктивном решении принята схема с продольными несущими стенами.

Стены цокольного этажа из сборных бетонных блоков ФБС толщиной 400, 500 и 600 мм по ГОСТ 13579–80* на растворе М100. Гидроизоляция принята оклеечной с наружной стороны, облицовка стен подвала с фасада выполняется сплиттерными плитками.

Наружные стены выполняются облегченной кладкой типа А64 по серии 2.130–8 на цементно-песчаном растворе М100–75 с армированием сеткой 5Вр1–50 через 4 ряда кладки. Проектом предусматривается применение кирпича силикатного М100/15 по ГОСТ 379–95 с толщиной стен 380 мм и облицовкой керамическим кирпичом М100/35 по ГОСТ 530–95. Толщина внутренних стен принята равной 380 мм из силикатного кирпича М100 по ГОСТ 379–95 на цементно-песчаном растворе М100–75 с армированием сеткой из проволоки 5Вр1–50 через 3 ряда кладки.

В 2010 г. были проведены работы по обследованию всех блок-секций с выдачей заключения по «Техническому обследованию незавершенных строительством 4х шестиэтажных Блок-секций, жилого комплекса «Юго-Восток» (левая сторона) в г. Астане, на предмет их соответствия нормативным требованиям с учетом надстроенных шестых этажей.

Согласно техническому заключению требовалось выполнить усиление ряда конструкций: межкомнатных простенков из кирпича; перемычек над дверными проемами; опорной зоны под лобовыми балками лестничных площадок.

Проектирование усиления конструкций по результатам обследования Объекта, проведенного в 2010 г.

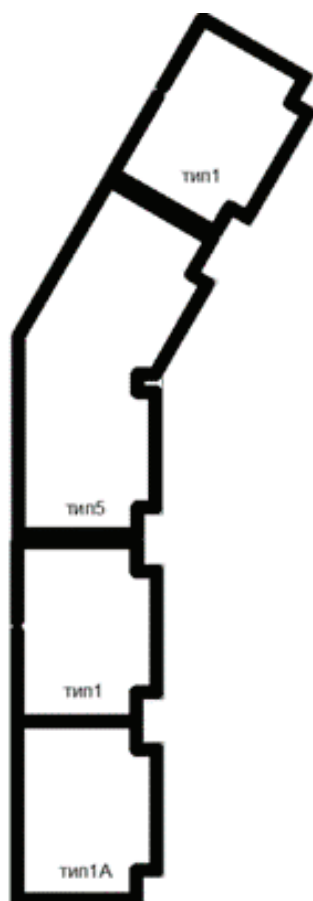


Рис. 1. Схема блокировки многоквартирного жилого комплекса в г. Астане

В процессе строительства Объекта применялось большое количество строительных материалов от разных производителей (кирпич полнотелый и пустотелый, сплиттерная плитка, утеплитель для ограждающих конструкций, проволока и арматура для железобетонных конструкций, древесина и т.п.), что подтверждается при анализе предоставленной документации на строительные материалы и изделия (паспорта, сертификаты качества, документы о качестве и т.д.).

Предварительным и общим детальным инструментальным обследованием выявлены значительные конструктивные изменения в несущих и ограждающих конструкциях здания, не предусмотренные первоначальным и скорректированным проектами, а также нарушающие требования ряда норм и принятых типовых решений:

- изменена этажность здания с 5 до 6 этажей;
- фактически кирпичная кладка соответствует типу В серии 2.130–8;
- низкой марки кладочного раствора М15...М25 (проектная марка раствора М100);
- марка кирпича основной кладки М100 (М150 по проекту);
- по результатам обмерных работ установлено, что ширина простенков цокольного этажа уменьшена, что не соответствует проекту;
- в кладке участков стен цокольного этажа имеются вставки из силикатного кирпича;

- антикоррозионная обработка армирующей сетки не выполнена; порядовка сетки по наружным и внутренним стенам не соблюдена — примененная сетка 4Вр1–50/4Вр1–100, 5Вр1–50/5Вр1–70 уложена через 4...7 рядов кладки; отсутствует конструктивное армирование верха и низа простенков;

- не соблюдены толщины вертикальных и горизонтальных швов в кирпичной кладке стен;

- в конструкциях наружных стен применен утеплитель различного типа (пенополистирол, минераловатные плиты, керамзитобетон с фактической плотностью 1059 кг/м³ против проектных 500 кг/м³).

По результатам технического обследования ряд несущих конструкций зданий Объекта (фундаменты, наружные и внутренние стены, перекрытия) был рекомендован к поверочному расчету, в связи с тем, что выявлено снижение несущей способности указанных конструкций, и их техническое состояние на основании критерияльных признаков было оценено как ограниченно работоспособное и предаварийное, в связи с чем произведен поверочный расчет зданий с учетом выявленных дефектов и повреждений, а также фактических механических свойств материалов.

По результатам поверочного расчета проведена окончательная оценка несущей способности кирпичных стен и простенков, стен цокольного этажа из блоков ФБС; на основании оценки установлено, что несущая способность



Рис. 2. Трещины шириной раскрытия $a_{\text{кр}}=0,01...0,2$ мм, пересекающие 11 рядов кирпичной кладки в простенке (подъезд 1)

большинства кирпичных стен и простенков 1-го и 2-го этажа с учетом фактической марки кирпича М100 и марки раствора М25 не обеспечена, также требуют усиления отдельные участки стен цокольного этажа из ФБС.

Техническое состояние простенков и фрагментов стен, несущая способность которых согласно результатам детального инструментального обследования и поверочного расчета не обеспечена, оценивается по категории IV (предварийная каменная конструкция).

Такая оценка дана в связи с тем, что в большинстве стеновых конструкций нижних этажей зданий Объекта были выявлены характерные повреждения в виде вертикальных силовых трещин (местами сквозных), расслоения кирпичной кладки простенков, а также дефекты возведения кладки (слабая прочность раствора, ненормативная толщина растворных швов, отсутствие перевязки швов местами).

Для обеспечения в дальнейшем безопасной эксплуатации Объекта требуется усиление простенков и участков стен, несущая способность которых не обеспечена согласно результатам поверочных расчетов с учетом выявленных дефектов и повреждений [2].

Рекомендованные схемы усиления стен и простенков представлены ниже. Перед проведением усиления простенков, в целях восстановления монолитности поврежденной кирпичной кладки, необходимо выполнить инъецирование всех трещин по простенкам и стенам.

Усиление стен цокольного этажа.

Ввиду применения керамического пустотного кирпича, уложенного на ложковый ряд в опорной зоне плиты перекрытия, необходимо выполнить капитальный ремонт данных участков.

Для обеспечения несущей способности и эксплуатационной пригодности кирпичной кладки, требуется ведение систематического контроля опорного участка плиты перекрытия. В случае выявления отклонения плиты перекрытия от горизонтальной плоскости ввиду разрушения, потери устойчивости кирпичной кладки, необходимо выполнить усиление способом подведения металлического уголка, закрепляемым через шпильку стяжными болтами (рис. 3, 4).

Усиление кирпичных простенков методом торкретирования

Торкретбетон как способ бетонирования представляет собой бетонную смесь, которую подают к месту производства работ по материалопроводу и наносят путем разбрызгивания под высоким давлением, что обеспечивает уплотнение смеси.

Исходными материалами для торкрет-бетона являются цемент, вода и заполнитель, а также в определенных случаях добавки в бетон, арматура, стальная

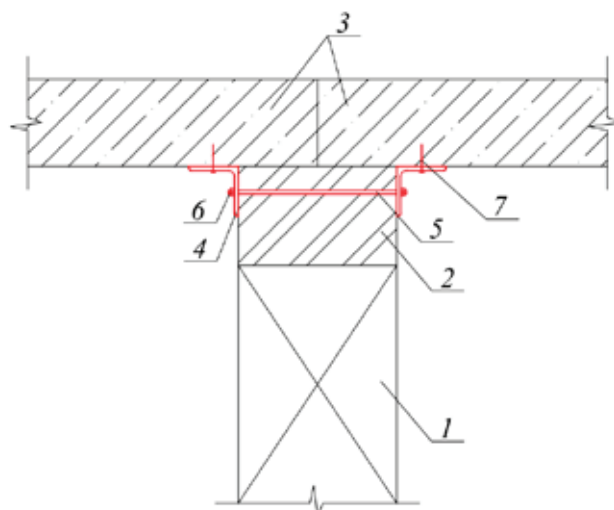


Рис. 3. Усиление внутренней стены: 1 — внутренняя стена ФБС; 2 — усиливаемая кирпичная кладка; 3 — плиты перекрытия; 4 — металлический уголок; 5 — шпилька; 6 — стяжной болт; 7 — дюбель

фибра и различных видов синтетические волокна. В качестве добавок чаще всего используют ускоритель схватывания; весьма редко — пластификатор, уплотняющие добавки или замедлители. Заполнители для торкретирования и устройства набрызг-бетона должны отвечать требованиям ГОСТ 26633. Крупность заполнителей не должна превышать половины толщины каждого торкретируемого слоя и половины размера ячейки арматурных сеток.

Поверхность для торкретирования должна быть очищена, продута сжатым воздухом и промыта струей воды под давлением. Не допускается образование наплывов по высоте более $1/2$ толщины торкретируемого слоя. Устанавливаемая арматура должна быть зачищена и закреплена от смещения и колебаний.

Торкретирование производится в один или несколько слоев толщиной 3–5 мм по неармированной или армированной поверхности согласно проекту.

Схема усиления кирпичных простенков методом торкретирования представлена на рис. 5.

В процессе дальнейшей эксплуатации необходимо вести визуальные и инструментальные (геодезические) наблюдения для контроля над техническим состоянием всех простенков и участков стен, для которых было рекомендовано проведение усиления. Кроме того, в процессе дальнейшей эксплуатации необходимо проводить наблюдения за техническим состоянием облицовочного слоя наружных стен всех зданий Объекта.

Основными причинами, обусловившие появление дефектов и повреждений строительных конструкций Объ-

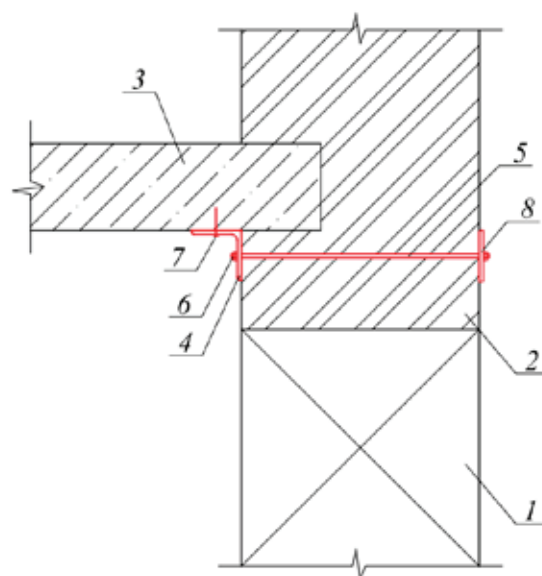


Рис. 4. Усиление наружной стены: 1 — наружная стена ФБС; 2 — усиливаемая кирпичная кладка; 3 — плита перекрытия; 4 — металлический уголок; 5 — шпилька; 6 — стяжной болт; 7 — дюбель; 8 — металлическая планка

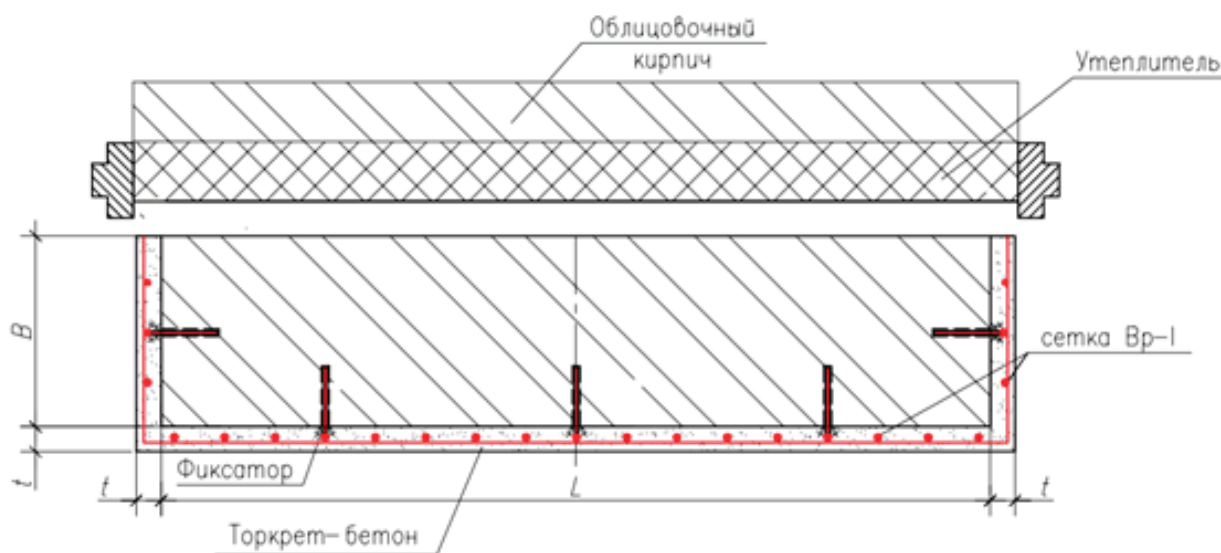


Рис. 5. Усиление кирпичных простенков методом торкретирования: L — ширина простенка; B — толщина простенка; t — толщина наращиваемого сечения

екта являются следующие нарушения технического регламента при их возведении:

- несоблюдение сроков возведения зданий жилого комплекса, из-за которых строительные конструкции длительное время находились без консервации под воздействием атмосферных факторов;

- многочисленные отклонения от требований действующих норм и проекта, допущенные в процессе возведения зданий, в том числе применение раствора низкой прочности (по проекту марка раствора должна соответствовать марке раствора М100), ненормированные горизонтальные и вертикальные швы кирпичной кладки толщиной до 25 мм (согласно п. 10.1.8 СНиП РК 5.03–37–2005

«Несущие и ограждающие конструкции» горизонтальные и вертикальные швы кирпичной кладки стен должны быть соответственно 12 мм и 10 мм) [3], а также непроектное армирование кирпичной кладки (армирование кирпичной кладки фактически выполнено через 6 рядов для наружных стен и через 4–6 рядов для внутренних стен, в то время как по проекту армирование кирпичной кладки наружных и внутренних стен должно быть выполнено через четыре и три ряда кладки соответственно);

- несоблюдение Застройщиком правил строительного производства, в связи с чем, были допущены нарушения в технологии производства работ по возведению каменной кладки стен зданий.

Литература:

1. Техническое заключение по результатам экспертного обследования и оценки технического состояния строительных конструкций объекта «многоквартирный жилой комплекс в районе индивидуальной жилой застройки «Юго-восток» (левая сторона) пятно 6 (подъезды 1–5)». Шифр № 14. ИР.60. г. Караганда. 2015.
2. Нугужинов, Ж. С., Жолмагамбетов С. Р., Курохтин Ю. А. Комплексный подход к оценке технического состояния объектов на примере института КАЗМИРР. VII Международная научно-практическая конференция «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения» (13–14 октября 2016 г. Санкт-Петербург, Россия).
3. СНиП РК 5.03–37–2005 «Несущие и ограждающие конструкции».

Развитие фрактальных моделей агрегации коллоидных частиц

Зырянов Роман Сергеевич магистрант

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

В данной статье рассматриваются основные модели агрегации коллоидных частиц и становление представлений о фрактальной структуре агрегатов. Проведен обзор с момента введения термина фрактал Б. Мандельбротом до современных моделей агрегации.

Ключевые слова: фрактал, фрактальный агрегат, ограниченная диффузией агрегация, коллоид, фрактальная размерность, кластер-кластерная агрегация

Описать простыми геометрическими формами сложные фигуры, которые наблюдаются экспериментально на поверхности слоев, как правило, представляется бесперспективным. В то же время игнорировать появление иных форм симметрии, а именно фрактальных, на формирование окончательных электрооптических и термодинамических свойств неоправданно.

Применение фрактального анализа к описанию самоподобного состояния с так называемыми фрактальными, сложными формами симметрии в системах представляет собой одно из перспективных направлений в исследовании свойств пространства в наномире. Исходя из этого, для понимания того, как фрактальная геометрия вписывается в физические свойства материалов, надо проследить как зародился термин фрактал и рассмотреть основные модели, описывающие физические фрактальные структуры в хронологическом порядке.

1. Появление термина фрактал

На протяжении долгого времени считалось, что мелкие частицы, диспергированные в жидкостях и газах, могут образовывать агрегаты с низкой плотностью. В различных исследованиях в 1960-х и 1970-х годах, на основе компьютерных моделей было предположено, что «аномальные» масштабные отношения связаны со структурой этих агрегатов. Отсутствие подходящей теоретической базы и небольшая вычислительная мощность компьютерной техники тормозили развитие понимания структуры этих агрегатов и кинетики их образования. В 1980-е годы, популяризация фрактальной геометрии и быстрый прогресс в области компьютерных технологий устраняет эти препятствия. Термин «фрактал» введен Бенуа Мандельбротом в 1975 году и получил широкую известность с выходом в 1977 году его книги

«Фрактальные объекты: форма, случайность и размерность» [1, с. 21].

2. Модель Виттена-Сэндера и диффузионной агрегации

После получения экспериментальных доказательств фрактальной структуры аэрозольных агрегатов, изображенных на рисунке 1, Форрестом и Виттеном в 1979 году, было сделано много попыток построения реалистичных теоретических моделей, позволяющих воспроизводить эти структуры [2, с. 110]. Пионерская модель была создана Томасом Виттеном и Леонардо Сэндером в 1981 году.

Аналитические исследования, подтвержденные компьютерным моделированием, показывают, что «виттен-сэндеровские» агрегаты, изображенные на рисунке 2 [3, с. 5092], являются специальным видом самоаффинных фракталов с фрактальной размерностью, большей в радиальном направлении, чем в тангенциальном направлении, и что фрактальные размерности зависят от решетки [4, с. 1408].

П. Мекиным были проведены очень важные исследования по влиянию изменения фрактальной размерности траекторий частиц на фрактальную размерность кластера в рамках модели агрегации, лимитированной диффузией. Напомним, что фрактальная размерность траектории частицы D_s , совершающей броуновское движение, равна 2. При уменьшении D_s от 2 до 1 (баллистическая модель, прямолинейное движение) фрактальная размерность агрегата D возрастает и становится равной размерности пространства, иными словами объект перестает быть фракталом. Другая модель, в которой не рассматриваются какие-либо траектории вообще, — модель Айдена (1961 г), $D_s = 0$. На рисунке 3 продемонстрированы агрегаты при различных траекториях движения частиц. Для

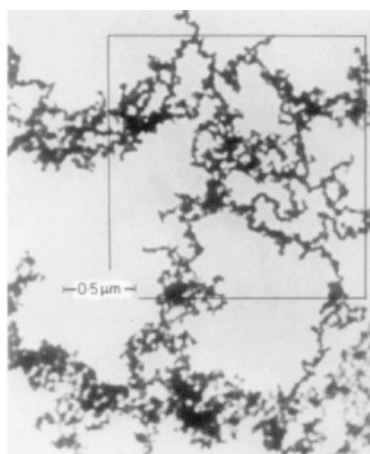


Рис. 1. Проекция фрактального кластера железа, полученная с помощью электронного микроскопа

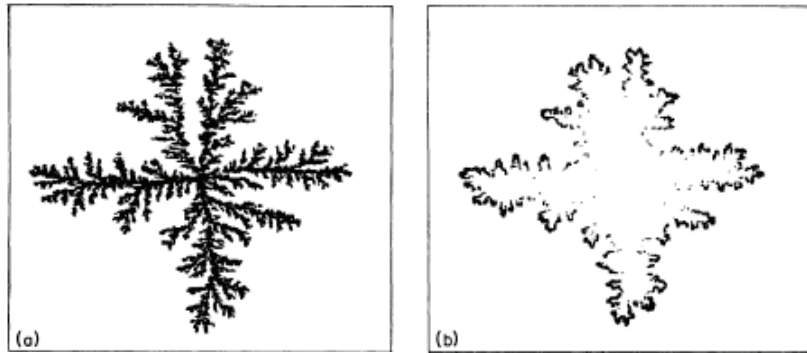


Рис. 2. а) кластер, состоящий из $4 \cdot 10^6$ частиц. б) места, где происходит рост кластера

визуализации трехмерной модели агрегата можно использовать технологию трехмерной печати [5, с. 101].

**3. Расширение модели Виттена-Сэндера.
Кластер-кластерная агрегация**

С тех пор как была реализована виттен-сэндеровская модель, стало понятно, что она не является наиболее приемлемой моделью агрегационных экспериментов на коллоидах и аэрозолях. Теоретические значения фрактальных размерностей ($D \sim 2,53d$) были слишком большими в сравнении с экспериментальными ($D \sim 1,73d$). Чтобы лучше описать эти эксперименты, была предло-

жена альтернативная кластер-кластерная агрегационная модель, изображенная на рисунке 4, независимо и в одно и то же время в США [6, с. 1119] и во Франции [7, с. 1125]. Эта модель может рассматриваться как расширение виттен-сэндеровской модели, в которой сами кластеры могут двигаться вместе с частицами.

Идеализированная версия кластер-кластерной модели, иерархическая модель, которая была введена в 1971 [8, с. 2078], была снова высказана позднее [9, с. 75]. В этой модели следующие один за другим наборы кластеров из равного числа части: 2, 4, 8, ..., 2^k строятся последовательно. На каждом шагу кластеры группируются парами и один из кластеров может диффундировать

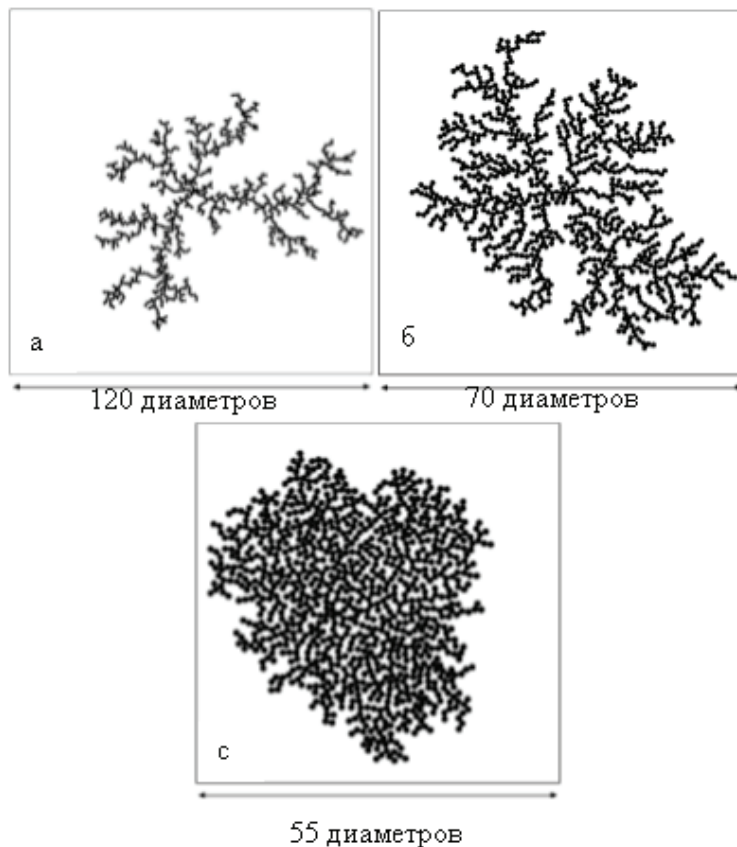


Рис. 3. а) траектория частицы — броуновское движение б) траектория частицы — баллистическая с) модель Айдена, частицы не двигаются

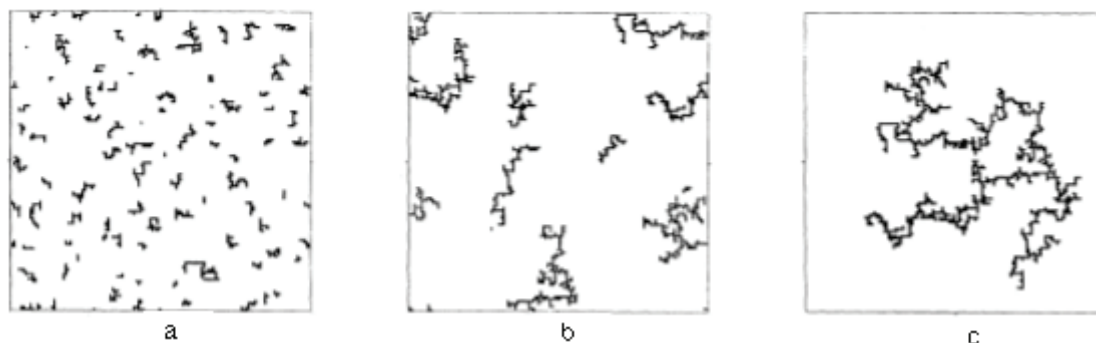


Рис. 3. Стадии роста при кластер-кластерной агрегации, а) 86 кластеров, б) 8 кластеров, в) 1 кластер

в пространстве до соударения с другим. Модель основана на коагуляции Смолуховского.

Смолуховский, в 1916 г., предложил рассматривать процесс коагуляции как попарное слипание частиц, принимая вероятность одновременного столкновения трех частиц столь малой, что такие столкновения можно не учитывать.

При построении модели химически ограниченной кластер-кластерной агрегации (RLCA-модели) вводится понятие вероятности соединения, и затем эта вероятность устремляется к нулю. В этом пределе кластеры некоторое время «изучают» все возможные соединения и, в конце концов, выбирают одно случайное. Интерес к такой модели вызван тем, что она реализуется в коллоидах, когда электростатическое отталкивание не полностью экранировано. Фрактальная размерность в этом случае равна $D \sim 2$ при размерности пространства $d = 3$. Это больше, чем величина $D \sim 1.78$, полученная в чисто диффузионном случае (с вероятностью соединения равной единице). Такое изменение фрактальных свойств агрегатов близко к наблюдаемым в экспериментах.

4. Дальнейшее усовершенствование моделей агрегации

Реструктуризация. Идея заключается в том, что при объединении двух кластеров обобщенная система еще не

становится жесткой. Кластеры могут вращаться друг относительно друга вокруг точки соприкосновения. Необходимо образование второй, а для полной жесткости — и третьей связи [10, с. 1546].

Поляризация. Если два кластера находятся близко, то наводят заряды противоположного знака на ближайших друг к другу концах. В результате возникает взаимное электростатическое притяжение, оказывающее влияние на диффузионное движение и плотность (фрактальную размерность) конечного агрегата [11, с. 2133].

Изменение pH. Во многих практических случаях, часто встречающихся в промышленных процессах, агрегация заряженных коллоидов вызывается дополнительным введением противоположно заряженных ионов в коллоидный раствор. Представляется весьма важным моделирование таких механизмов. В первом приближении можно расширить кластер-кластерную модель на случай двух диффундирующих веществ, А (частицы) и В (полимеры), в которой связи А–В разрешены, а А–А и В–В — подавлены [12, с. 2139].

Открытие того, что агрегаты коллоидных частиц имеют фрактальную природу, было важным шагом для становления представлений о золь-гель процессах, теории перколяции и сенсорики [13, с. 22]. Появились новые методы оценки поверхности вещества, взаимосвязь между поверхностной структурой и различными термодинамическими свойствами вещества.

Литература:

1. Mandelbrot, B. Fractals: form, chance and dimension. — San Francisco: WH Freeman & Co., 1979. — 365 с.
2. Forrest, S. R., Witten Jr T. A. Long-range correlations in smoke-particle aggregates //Journal of Physics A: Mathematical and General. — 1979. — Т. 12. — № . 5. — с. L109.
3. Meakin, P., Ramanlal, P., Sander, L. M., & Ball, R. C. Ballistic deposition on surfaces //Physical Review A. — 1986. — Т. 34. — № . 6. — С. 5091.
4. Ball, R. C., Brady, R. M., Rossi, G., & Thompson, B. R. Anisotropy and cluster growth by diffusion-limited aggregation //Physical review letters. — 1985. — Т. 55. — № . 13. — С. 1406.
5. Зырянов, Р. С. Получение слоев функциональных материалов из жидкой фазы методами трехмерной печати // Молодой ученый. — 2016. — № 6. — С. 101–105.
6. Meakin, P. Formation of fractal clusters and networks by irreversible diffusion-limited aggregation //Physical Review Letters. — 1983. — Т. 51. — № . 13. — С. 1119.
7. M. Kolb, R. Botet, and R. Jullien Scaling of Kinetically Growing Clusters //Physical Review Letters. — 1983. — Т. 51. — № . 13. — С. 1123.

8. Sutherland, D.N., Goodarz-Nia I. Flocculation simulation: the effect of collision sequence //Chemical Engineering Science. — 1971. — Т. 26. — № . 12. — С. 2071–2085.
9. Botet, R., Jullien R., Kolb M. Hierarchical model for irreversible kinetic cluster formation //Journal of Physics A: Mathematical and General. — 1984. — Т. 17. — № . 2. — с. L75.
10. Meakin, P., Jullien R. Structural readjustment effects in cluster-cluster aggregation //Journal de Physique. — 1985. — Т. 46. — № . 9. — С. 1543–1552.
11. Jullien, R. A new model of cluster aggregation //Journal of Physics A: Mathematical and General. — 1986. — Т. 19. — № . 11. — С. 2129.
12. Meakin, P., Djordjevic Z.B. Cluster-cluster aggregation in two-monomer systems //Journal of Physics A: Mathematical and General. — 1986. — Т. 19. — № . 11. — С. 2137.
13. Александрова, О. А., Алешин А. Н., Белорус А. О. и др. Новые наноматериалы. Синтез. Диагностика. Моделирование: лаб. практикум. / Под ред. Мошников В.А., Александрова О.А. — СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2015. — 248 с.

Перспективы и проблемы утилизации воздушного флота России

Кириченко Андрей Сергеевич, научный сотрудник;

Серегин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии имени И. П. Бардина (г. Москва)

Рассмотрены проблемы утилизации воздушного флота, опыт отечественных предприятий и особенности рециклинга извлекаемых вторичных металлов, перспективы развития данных производств.

Ключевые слова: утилизация воздушного флота, вторичные металлы, рециклинг, перспектива

В мире производится в год около 25 млн т первичного алюминия, применяемого практически во всех областях производства. При достижении предельного износа изделия выводятся из эксплуатации и переходят в разряд лома [1]. Благодаря рециклингу значительная доля алюминия возвращается в процесс производства и человечество постоянно и неуклонно увеличивает запасы этого металла в обращении, аналогично таким драгметаллам, как золото и серебро. Соответственно рециклинг алюминия является необходимым элементом устойчивого развития промышленности [2].

При производстве отечественного первичного алюминия как необходимый элемент технологического процесса в доленом отношении используется импортное алюминиевое сырье. При относительном увеличении производства вторичного алюминия потребность в импортных поставках сокращается, что является элементом общей политики импортозамещения, реализуемой в самых различных областях народного хозяйства.

Получение вторичных сплавов из лома энергетически экономичнее производства первичных металлов [3]. Использование вторичного алюминиевого сырья экономически эффективно при серьезном улучшении сырьевого баланса страны. Капитальные затраты примерно в 3–4 раз ниже, чем при производстве первичного алюминия, потребление энергии — в 8–10 раз меньше, а экологически вредные выбросы меньше в 15–20 раз [1, 4].

Объем заготовки лома алюминиевых сплавов в РФ составляет порядка 1 млн.т год [4]. Часть данного вто-

ричного сырья экспортируется [5, 6]. Постановлением правительства РФ № 786 от 4 августа 2015 года установлена пошлина при экспорте алюминиевого лома в размере 20% или 152 евро за тонну. Ранее, до вступления России в ВТО она составляла 50%. В 2015 г экспорт алюминиевого лома почти в 2 раза превысил уровень 2012 года [7]. Доходы от экспорта являются основным источником обновления специализированной техники ломозаготовительных предприятий, закупаемой по импорту. [8].

Преимущественными областями использования алюминиевой продукции являются транспортное машиностроение (авиация, автомобильный, водный и железнодорожный транспорт), производство строительных и упаковочных материалов. В промышленно развитых странах в этих отраслях расходуется до 80% производимого металла [9].

В России объемы заготовки и переработки лома алюминия и его сплавов отстают от развитых стран. Актуальным резервом дальнейшего роста объемов переработки вторичного алюминиевого сырья является — утилизация воздушного флота России.

В период с 1955 г. до середины 70-х гг. гражданская авиация СССР имела лучший в мире воздушный флот по техническому уровню, модельному ряду и численному составу, преимущественно отечественного производства. Наша авиационная промышленность за все годы произвела около 28 тыс. воздушных судов, включая воздушные суда двойного назначения.

В этот период были спроектированы и введены в массовую эксплуатацию самолеты Ту-104, Ил-18, Ан-10, Ан-12, Ту-114, Ту-124, Ан-24, Як-40, Ил-62, Ил-76; вертолетов Ми-6, Ми-8, Ми-2, Ка-26. Это были воздушные суда, отвечающие потребностям своего времени. Часть из них эксплуатируется и сейчас, вытесняется с авиалиний только по экономическим и экологическим причинам.

Начиная с середины 70-х гг., страна начала утрачивать позиции по уровню авиационной техники в сравнении с лучшими зарубежными образцами. Численный же состав воздушного флота продолжил свой рост. Развившийся в 1972–1975 годы нефтяной экономический кризис серьезно отразился на экономике США и Западной Европы и дал импульс к разработке и массовому производству новых высокоэкономичных гражданских самолетов. Ввиду плановой экономики и роста добычи дешевой нефти нашу страну этот кризис не коснулся, и гражданская авиация продолжила чисто интенсивное развитие.

В советское время авиапредприятия, расположенные на территории РСФСР, перевозили 90 млн пассажиров в год. Из-за падения платежеспособности населения к 1999 году объем перевозок пассажиров в России снизился до 21,5 млн. В наследство Россия получила, а затем приватизировала, воздушный флот, насчитывающий порядка 13 тыс. самолетов и вертолетов. В то же время, все магистральные пассажирские самолеты, а их было около 2 тыс. единиц, устарели и были неконкурентоспособными на международных линиях. В связи с переходом на рыночные отношения, помимо резкого снижения объемов авиаперевозок, изменилась и их структура — международные перевозки стали превалировать над внутренними, а местные перевозки почти прекратились. Чартерные международные рейсы стали давать авиакомпаниям основную прибыль.

С 1998 года начался рост авиаперевозок на международных линиях обусловленный развитием международного туризма, ростом доходов населения, деловой активности, ввиду большей интеграции страны в мировую систему хозяйствования и экспортной сырьевой ориентации экономики России. В то же время ужесточились требования к воздушным судам международных линий. От современных самолетов требуется невысокий шумовой уровень. По этому критерию в Западную Европу не пускают наши самолеты Ту-134, Ту-154, Ил-76, Ил-86 и др. Также необходимо соответствие лайнера жестким экологическим нормам, наличие современных систем навигации. С ро-

стом международных авиаперевозок — ужесточились требования к полетам на эшелонах: раньше минимальная разница по высоте между самолетами, движущимися на встречных курсах, составляла 600 метров, сейчас — 300. Точность прохода трассы, а значит, безопасность полетов, обеспечивается спутниковой навигацией.

Переделка старого авиапарка под современное оборудование технически возможна, но это в большинстве случаев нерентабельно. Проблемы с авиационными двигателями, изготовленными еще по советским проектам, шумовые характеристики которых не соответствуют международным требованиям, нерешаемы: такие самолеты морально устарели. В Европу их не пускают, они могли бы летать по России, но по экономическим показателям это невыгодно — слишком большой расход топлива. Так, «Аэрофлот» начал выводить из эксплуатации в конце 2006 г.: Ил-86 — первый отечественный широкофюзеляжный самолет: двигатели надежные, но расход топлива таков, что окупаются только полностью заполненные чартерные рейсы.

Ввиду этого авиакомпании России стали пополнять свои парки преимущественно авиатехникой западного образца, по своим характеристикам и оснащению отвечающей требованиям к международным перевозкам. В то же время первоначально из-за трудностей получения валютных кредитов отечественный парк стал пополняться преимущественно более дешевыми поддержанными самолетами массовых моделей основных зарубежных фирм-производителей, выставленными авиакомпаниями на продажу на мировой рынок, после проведения необходимых ремонтных работ.

Закупка ведущими авиакомпаниями подобного парка авиалайнеров с одной стороны решила проблему роста авиаперевозок в международных сообщениях, с другой стороны привела к общему старению парка гражданских самолетов России.

В настоящее время флот гражданской авиации РФ насчитывает 9279 воздушных судов, из них воздушные суда коммерческого флота — 5251 ед. В годном для полетов состоянии — 2417 ед. (Табл. 1).

Воздушные суда иностранного производства составляют уже почти половину авиапарка страны. Положительной тенденцией последних лет стало возрастание (до одной пятой) доли приобретаемых новых «иномарок» самолетов. С 2008 г. новые импортные самолеты смогли позволить себе закупать ведущие компании, такие как «Аэрофлот», «Эйр Бридж Карго», «Сибирь», а затем

Таблица 1. Структура воздушного флота (приписанного к реестру РФ, ед.)

	Всего:	Вертолеты	Самолеты			
			Всего:	Пассажирские	Специальные, грузовые	Легкие и деловые
Коммерческий парк	5251	1921	3330	1591	324	1415
В т.ч. действующий парк	2417	1027	2417	986	152	252

к ним присоединились и другие. Кроме того, с 44% до 31% снизилось число импортируемых лайнеров старше 15 лет. В то же время удельный вес поступающих в Россию подержанных самолетов остается большим — он достигает 81%, только основной «акцент» сместился в сторону лайнеров выпуска конца 90-х гг. Учитывая списание устаревших типов воздушных судов в связи с отработкой ресурсов и потерей ими конкурентоспособности, потребность в поставках пассажирских самолетов российским авиакомпаниям оценивается в 1000–1300 ед. в период до 2020 года.

Вторую позицию в воздушном флоте России занимают вертолеты. По состоянию на 01.05.2015 в парке присутствуют 1846 вертолетов отечественного производства (в Реестре ВС), в том числе 880 — в эксплуатации. Среди отечественных вертолетов преобладают различные модификации вертолета Ми-8 (1177 машин), а также Ми-2 (464), Ми-26 (68), Ка-26 (56), Ка-32 (47) и др. Возрастные характеристики: средний возраст парка — 22 года, 52% парка — 15–25 лет, 23% — более 25 лет. По экспертным оценкам к 2020 г. российские авиакомпании практически прекратят эксплуатацию вертолетов Ми-2, парк вертолетов Ми-8 сократится на 20–30%, Ка-32 на 25–30%, Ми-26 на 10–20%.

Сложившаяся ситуация определяет актуальность проблем утилизации воздушного флота. В соответствии с Концепцией устойчивого развития, каждое изделие, оборудование, устройство или сооружение имеет свой жизненный цикл по завершении которого оно должно быть утилизировано с максимальным извлечением вторичных ресурсов и минимальным ущербом для окружающей среды [10]. Жизненный цикл воздушного судна рассчитывается при проектировании — это первоначально назначенный ресурс, выражающийся в летных часах, а также календарный срок (порядка 30 лет), прописанный в руководстве по эксплуатации. После того как воздушное судно выработало свой первоначальный ресурс, он может быть продлен путем замены двигателей, агрегатов на новые, но, как правило, такая авиатехника считается бесперспективной: требования к навигационной технике, оборудованию ужесточаются, а на модернизацию требуются значительные затраты.

Авиационные компании постоянно отслеживают состояние своего парка и экономическую эффективность эксплуатации воздушных лайнеров. Воздушные суда с низкими показателями экономической эффективности, ресурс налета которых еще не вышел, как правило, продаются. А воздушные суда в плохом состоянии с выработанным ресурсом готовят к списанию и утилизации. Значительная часть парка самолетов гражданской авиации, построенных еще по советским проектам, с отработавшими нормативный срок двигателями отстаивается на аэродромах страны. Проводить дорогостоящий ремонт с заменой двигателя — экономически не выгодно, так как и после него лайнер нельзя будет использовать на международных линиях.

По статистике, аварийность самолетов с возрастом и продлением срока эксплуатации выше. Большое значение имеет качество техобслуживания. Крупные авиакомпании на ведущих аэродромах страны обеспечивают высокое качество предполетной диагностики и обслуживания систем воздушного корабля. После катастрофы самолета Як-42 под Ярославлем, в которой в полном составе разбилась хоккейная команда «Локомотив», в разы сократилось количество авиакомпаний РФ, за счет малолетельных. Это привело к дальнейшему падению количества находящихся в эксплуатации аэропортов, а также падению перевозок на региональных авиа линиях. Так, за последние два десятилетия количество аэродромов в России сократилось вчетверо — с 1450 до 332. Выработавшие свой плановый ресурс воздушные суда этих компаний представляют собой основной сегмент транспортного воздушного лома.

Из-за конструктивной сложности воздушных судов, применения специальных сплавов, композитных материалов, пластмасс утилизация воздушных судов представляет собой вполне определенную специализированную сферу деятельности.

При утилизации воздушное судно снимается с учета, погашается сертификат летной годности. Списывается, как правило, сам лайнер; если на нем стоят относительно новые номерные агрегаты — двигатели, преобразователи или стойки шасси, их используют при ремонте своего авиапарка или продают.

Современное воздушное судно содержит до 90% материалы, которые могут быть подвергнуты рециклингу. К примеру, в Ту-22–10 тонн черных металлов, 31 тонна цветных металлов, 700 гр. золота, 15 килограммов серебра и 160 гр. платины.

В корпусе авиалайнера много алюминиевых сплавов, нержавеющей стали, титана. В электропроводке, разъемах, приборах — много меди, а в покрытиях — серебро, золото, платина. Алюминиевые сплавы в целом составляют большую половину в заготавливаемом в стране авиационном ломе. Оборудование, в составе которых нет драгметаллов, поступают на утилизацию обычным порядком, а содержащие драгметаллы уходят отдельно на аффинажные предприятия. Извлеченные на них драгметаллы сдаются государству. Сливаются все жидкости, стравливаются газы, которые есть в воздушном судне. Самолет приводится в пожаробезопасное состояние.

Утилизация воздушных судов производится специализированными предприятиями на договорной основе. При заключении договора формируется список агрегатов, приборов и прочего оборудования, которое подлежит предварительного демонтажу для последующего использования как ремонтных деталей или продажи, а также список изделий, содержащих драгметаллы (Рис. 1).

Как правило, разделку проводят на территории аэропорта. Доставка спецоборудования в другой аэропорт — дорогостоящее мероприятие. Поэтому ждут, пока на одном аэродроме накопится несколько списанных воздушных судов, чтобы утилизировать их одновременно.



Рис. 1. Демонтаж оборудования вертолетов

Подготовка к утилизации занимает 3–4 дня. Разделку обычно проводят за неделю, максимум за 10 дней. Преимущественно авиатехнику разделяют летом на открытых площадках аэродрома. Зимой снег мешает работе оборудования и сортировке отделяемых узлов и деталей. Самолеты и вертолеты малой авиации в отдельных случаях утилизируют и зимой в крытых эллингах. Разделку выполняют в отдалении от стоянки действующей авиатехники, т.к. разлетающиеся кусочки металла вполне могут пробить корпус стоящего рядом лайнера или попасть в работающие двигатели. На крупных аэродромах — Шереметьево, Внуково, Домодедово имеются специально выделенные площадки для утилизации авиатехники.

Последовательность резки воздушного судна зависит от его типа. Если шасси уже сняты авиакомпанией до передачи в утилизацию — самолет ставится на специальные домкраты. Резать самолет начинают либо с хвоста, либо с носовой части: важно сохранить центровку, чтобы самолет не упал. В большинстве случаев сначала отрезают

хвост, потом носовую часть до уровня крыльев, а потом и крылья.

Применяется специальная техника: гидрону́жницы на базе экскаватора «Caterpillar», или аналогичной модели, предназначенные для резки металлического лома. Ножницы ломают металл, что, в отличие от газорезки, обеспечивает пожарную безопасность (Рис. 2). Кроме того, в состав оборудования обычно входит установка для дробления самолетного лома, с целью увеличения плотности тонкостенного лома обшивки, а также автотранспорт.

Значительная часть парка транспортных средств как магистральных видов транспорта страны (авиации, автотехники, подвижного железнодорожного состава), так и специализированной техники — строительной, грузоподъемной, прочей внедорожной, зарегистрирована в московском регионе [11,12,13]. И неслучайно здесь сосредоточилась и индустрия по переработке средств транспорта [11].



Рис. 2. Разделка самолета

Ведущие позиции занимает предприятие «Авиавторресурс», базирующемся на аэропорту Верхнее Мячиково близ г. Жуковский. С 2000 г. «Авиавторресурс» разделяет планеры самолетов и авиационные двигатели. Предприятие полного цикла: готовит авиатехнику к разделке, режет, полученный цветной лом сортирует, переплавляет и выпускает марочные вторичные алюминиевые сплавы в виде чушки — 7 тыс. т в год. Черный лом сдает ломозаготовительным компаниям, располагающимся недалеко от аэродрома, драгоценные металлы, содержащиеся в ломе, проходят через аффинажные заводы, а полученные слитки сдаются в Госфонд. Компания работает в европейской части России, в радиусе 1500 км от Москвы. Везти разделочную технику на дальние расстояния экономически не выгодно. Логистика оказывает значимое влияние на экономические показатели ломозаготовки [14].

Самолетный лом имеет свою специфику: кроме лома алюминиевых сплавов, в нем много элементов черного лома, нержавеющей стали, медных сплавов [15]. Из-за неметаллических включений, краски, цена самолетного лома меньше, чем на обычный лом (обрезь) новых алюминиевых сплавов. Заготавливаемый лом алюминиевых сплавов отделяют от лома черных металлов, других цветных металлов, а затем сортируют обычно на 5–6 групп.

Ввиду различий в химическом составе, отделяют лом литейных алюминиевых сплавов, содержащийся преимущественно в корпусах редукторов и силовых узлах конструкции от деформируемых алюминиевых материалов обшивки. При дальнейшей переработке это позволяет получить более качественные вторичные алюминиевые сплавы [16,17]. Кроме того, сортируют лом алюминиево-магниевых сплавов на ряд групп с различным содержанием магния, что обусловлено особенностями последующего металлургического переплава при производстве слитков вторичного алюминия [18,19].

Для переработки электронного лома, лома сплавов других цветных металлов требуются специализированное оборудование [20, 21]. Преимущественно, на этапе разделки авиатехники, лишь отделяют и сортируют такие элементы, а затем отправляют на специализированную переработку.

В процессе утилизации воздушных судов предприятие «Авиавторресурс» использует следующую специализированную технику:

- 3 тяжелых экскаватора Caterpillar M318C, M318D, M320 с гидравлическими ножницами усилием до 380 тонн для работы с крупногабаритными объектами;
- 1 легкий экскаватор Caterpillar 307C с гидравлическими ножницами усилием до 175 тонн для работы со среднеразмерными объектами;
- автотранспортную технику для перевозки и погрузочно-разгрузочных операций.

Для транспортировки заготовленного лома предприятие применяет контейнеры ИСО и низкорамные полуприцепы Witzco Challenger грузоподъемностью 40 тонн. Контейнерные перевозки обеспечивают лучшую сохранность груза [22, 23]. Поэтому они находят все более широкое применение при транспортировке цветных металлов, нержавеющей стали, дорогостоящих сплавов и их лома [24,25,26].

В Московском регионе, помимо ООО «Авиавторресурс», утилизацией военной и гражданской авиатехники занимаются еще несколько предприятий: ПЗЦМ «Авиа», ПК «Авиамет», АПК «Росавиатехника» и др., в регионах России ведут свою деятельность Южноуральский центр утилизации, ООО «ПХУ «Авиатор» в Приморье и др.

В связи с массовым выводом из эксплуатации воздушной авиатехники, построенной еще по советским проектам, и ее заменой на малозумные и более экономичные модели в ближайшие годы авиапарк России будет активно обновляться, а значит будущее сферы утилизации воздушного флота весьма перспективно.

Литература:

1. Голодова, А. И., Дружинин Г. М., Советкин В. Л. Рециклинг алюминия. // Вторичные металлы. 2011. № 3. С. 39–41.
2. Yusfin Yu.S., Chernousov P. I. Resource and ecological problems in modern world and metallurgy // Металлург. 1998. № 2. С. 25–34.
3. Семин, А. Е., Чижиков А. Г., Котельников Г. И., Черепнев А. С. Вторичные металлы и электроплавка стали // Электрометаллургия. 2007. № 6. С. 2–6.
4. Макаров, Г. С. Российский рынок вторичного алюминия. // Рынок вторичных металлов. 2004. № 5. С. 41–42.
5. Кириченко, С. А., Кириченко А. С. Упущенные возможности при морском экспорте лома // Вторичные металлы. 2009. № 6. С. 21.
6. Кириченко, И. С. Экспорт лома черных металлов в 2012 году // Вторичные металлы. 2013. № 2. С. 37.
7. Кириченко, И. С., Бабаян П. Д. Тенденции экспорта лома черных металлов из РФ // Вторичные металлы. 2015. № 5–6. С. 50.
8. Кириченко, А. С., Сипаро К. А., Букин А. В. Экспорт черного лома и проблемы обеспечения морских перевозок // Вторичные металлы. 2014. № 5. С. 20.
9. Гришаев, С. И. Образование вторичного сырья на примере алюминия // Вторичные металлы. 2008. № 1. С. 64–68.

10. Гагарский, Э. А., Кириченко И. С. Концепция устойчивого развития и новые подходы в сфере рециклинга металлов и техногенного сырья // Вторичные металлы. 2013. № 3. С. 34.
11. Серегин, А. Н., Кириченко А. С. Авторециклинг в московском регионе // Вторичные металлы. 2013. № 5. С. 41.
12. Кириченко, С. А., Кириченко И. С. Утилизация локомотивов. Проблемы и зарубежный опыт // Вторичные металлы. 2012. № 6. С. 44.
13. Кириченко, А. С., Букин А. В., Алексахин А. В. Прогрессивные технологии и организационные схемы авторециклинга — утилизации строительной техники // Техника и технология: новые перспективы развития. 2014. № XV. С. 135–141.
14. Кириченко С. А., Полянцев Ю. Д., Цыганкова В. И. Роль логистики в эффективности экспорта лома металлов // Интегрированная логистика. 2015. № 1. С. 13–18.
15. Kirichenko, S. A. Stainless steel scrap market // Рынок вторичных металлов/ Scrapmarket/ 2005. № 3. С. 20–22. URL: <http://russcrap.ru/images/ctati/kg/st-kir-gvm-2005-3.pdf> (дата обращения 20.04.2009).
16. Батышев, К. А. Литье с кристаллизацией под давлением алюминиевых сплавов // Литейное производство. 2011. № 7. С. 23–26.
17. Белов, Н. А. Фазовый состав алюминиевых сплавов // М.: Издательский Дом МИСиС, 2010. — 511 с.
18. Батышев, А. И., Смолькин А. А., Батышев К. А., Безпалько В. И., Гольцова С. В., Хорохорин Ф. П. Материаловедение и технология материалов // М.: Инфра-М, 2012. — 288 с.
19. Белов, Н. А. Экономлегированные жаропрочные алюминиевые сплавы: принципы оптимизации фазового состава // Авиационные материалы и технологии. 2011. № 2 (19). С. 6–11.
20. Стрижко, Л. С., Лолейт С. И., Фокин О. А., Переседи С. С. Исследование и разработка технологии обжига электронного лома // Цветные металлы. 2009. № 1. С. 44–47.
21. Серегин, А. Н., Ермолов В. М., Степанян А. С., Арсентьев В. А. Технологии и оборудование для утилизации металлосодержащих отходов // Вторичные металлы. 2009. № 5. С. 48–51.
22. Гагарский, Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Развитие контейнерных перевозок лома // Бюллетень транспортной информации. 2009. № 2. С. 18–21.
23. Гагарский, Э. А., Кириченко С. А., Полянцев Ю. Д., Дугин Г. С. Укрупненные грузовые единицы в транспортно-технологических системах — главный фактор энергоэффективного развития транспорта // Транспорт: наука, техника, управление. 2015. № 1. С. 68–70.
24. Гагарский, Э. А., Кириченко С. А. Зарубежный и отечественный опыт перевозок наливных, насыпных и навалочных грузов в универсальных контейнерах на принципах логистики // Транспорт: наука, техника, управление. 2009. № 12. С. 26–29.
25. Кириченко, И. С., Алексахин А. В., Серегин А. Н. Особенности и тенденции рынка лома нержавеющей стали // Молодой ученый. 2015. № 7. С. 148–153.
26. Гагарский, Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Контейнеризация в ферро сплавной промышленности // Бюллетень транспортной информации. 2011. № 5. С. 3–6.

Анализ газодинамических параметров камер сгорания авиационных ГТД

Кишалов Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент;

Маркина Ксения Васильевна, ассистент

Уфимский государственный авиационный технический университет

Введение

На сегодняшний день авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) различных типов достигли очень высокой степени газодинамического, конструктивного и технологического совершенства. У двигателей для военных самолетов наиболее сложными и ответственными узлами в проектировании является камера сгорания (КС) и форсажная камера (ФК), которые работают в условиях чрезвычайно высоких температур. В этих узлах происходят такие сложные

процессы, как распыл, испарение, смешение топлива с воздухом и горение. Процесс горения в значительной степени зависит от параметров на входе в камеру сгорания. При изменении режима работы двигателя, при полёте с различными скоростями и на различных высотах изменяются параметры и характеристики КС и ФК.

В статье рассматривается анализ параметров потока КС и ФК в авиационных воздушно-реактивных двигателях (ВРД) прямой тяги с малой степенью двухконтурности в зависимости от года изготовления.

Моделирование и анализ характеристик КС и ФК

Для анализа были исследованы параметры на входе в КС (на выходе из компрессора), которые определяют параметры процесса горения и характерные размеры КС (давление, температура), параметры на выходе из КС

(температура, коэффициент избытка воздуха) [1]. Для ФК исследовались давление, температура, коэффициент избытка воздуха на входе; на выходе — температура, давление. Перечисленные параметры были получены в результате расчёта в системе имитационного моделирования (СИМ) DVIgW (рис. 1.) [2].

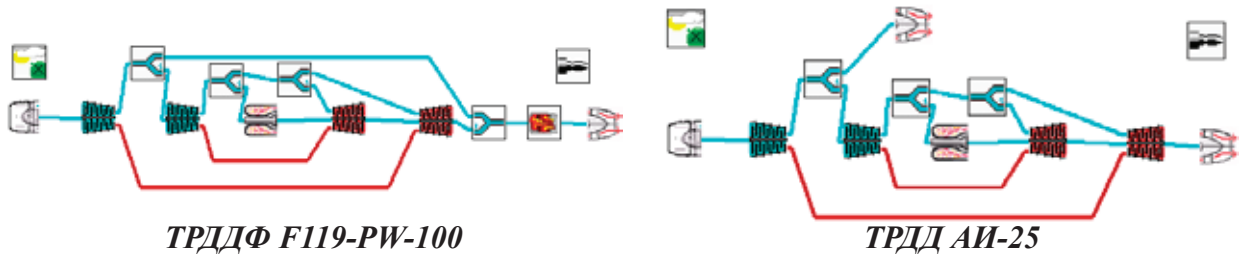


Рис. 1. Топологические модели двигателей в СИМ DVIgW

Анализируя изменения параметров потока в зависимости от года разработки и поколения АД можно предсказать соответствующие параметры для будущих поколений [3, 4]. Список анализируемых ВРД по поколениям и схемам приведен в табл. 1.

Результаты моделирования АД представлены на рис. 2–7, в зависимости от года разработки и поколения двигателя [5, 6].

Из анализа проведенных результатов, представленных на рис. 2, видно, что полная температура на выходе из компрессора (T_k^*) растет с увеличением года разработки и с ростом поколения. Температура выходе из компрессора увеличивается из-за увеличения степени повышения давления (π_k), что можно увидеть по увеличению давления на выходе из компрессора (p_k^* , рис. 3). Максимальная температура и давление за компрессором — у двигателя F136.

Таблица 1. Поколения авиационных ГТД

Поколение (год разработки)	Схема двигателя	Двигатели
I (1948–1959 гг.)	ТРД	АМ-ТКРД-01, АМ-ТРД-02, АМ-3, ВД-7, АМ-5, АЛ-5
	ТРДФ	ВК-1Ф, GE1/J1A1, 356–34В
	ТРДДФ	ВК-3
II (1953–1970 гг.)	ТРДФ	P11–300, P11Ф-300, P11Ф2–300, P11Ф2С-300, P15–300, АЛ-7Ф-1, GE4, GE4/J5, GE4/J5P, J85–13А, E-300А, АЛ-7Ф2, АЛ-7Ф4, J85–15, Atar 9K-50, J85–21, J58-P-4, J79–11А, J79–10, P13–300, P15Б-300, J79–19, J79–17
	ТРД	ВД-7Б, КРД-26, КР7–300
	ТРДД	НК-8–4, АИ-25, НК-8–2, АИ-25ТЛ, НК-8–2У
	ТРДДФ	Adour RT.172, M.53–02, M.53–5
III (1957–1979 гг.)	ТРДДФ	НК-6, НК-144, F100-PW-100, RB.199, НК-22/НК-23, F101-GE-100, Adour Mk.102, F101-GE-102, НК-144А, Adour 58, НК-144В, НК-32–1, F100-PW-220, F401-PW-400, M.53-P2, Adour Mk.804, J79-GE-119
	ТРДФ	P27–300, P27Ф2–300, АЛ-21Ф, АЛ-21Ф-3, АЛ-21Ф-3А, P29–300, P25–300, P29Б-300, Olympus 593 МК 602, Olympus 593, J97
	ТРДД	ДВ-2, ДВ-2Б, НК-86, НК-8–4К
IV (1971–2008 гг.)	ТРДДФ	НК-25, F404-GE-400, НК-32, F110-GE-100, F110-GE-400, F404-GE-100, F125, Д-30Ф6, PW1120, M.85, F110-GE-129, F100-PW-229, АЛ-31Ф, F404.RM.12, EJ200, АЛ-41Ф, J101/SF, АЛ-55Ф
	ТРДД	АИ-222–25, АИ-222–28, АЛ-55
IV+ (1988–2000 гг.)	ТРДДФ	АЛ-31ФП, IPE-92, IPE-94, JSF119, F136, F110-GE-129EFE, F110-GE-132, F100-PW-229А
IV++ (2005 г.)	ТРДДФ	АЛ-41Ф-1
V (1991–2016 гг.)	ТРДДФ	F119-PW-100, F135, F414-GE-400, АЛ-41Ф2

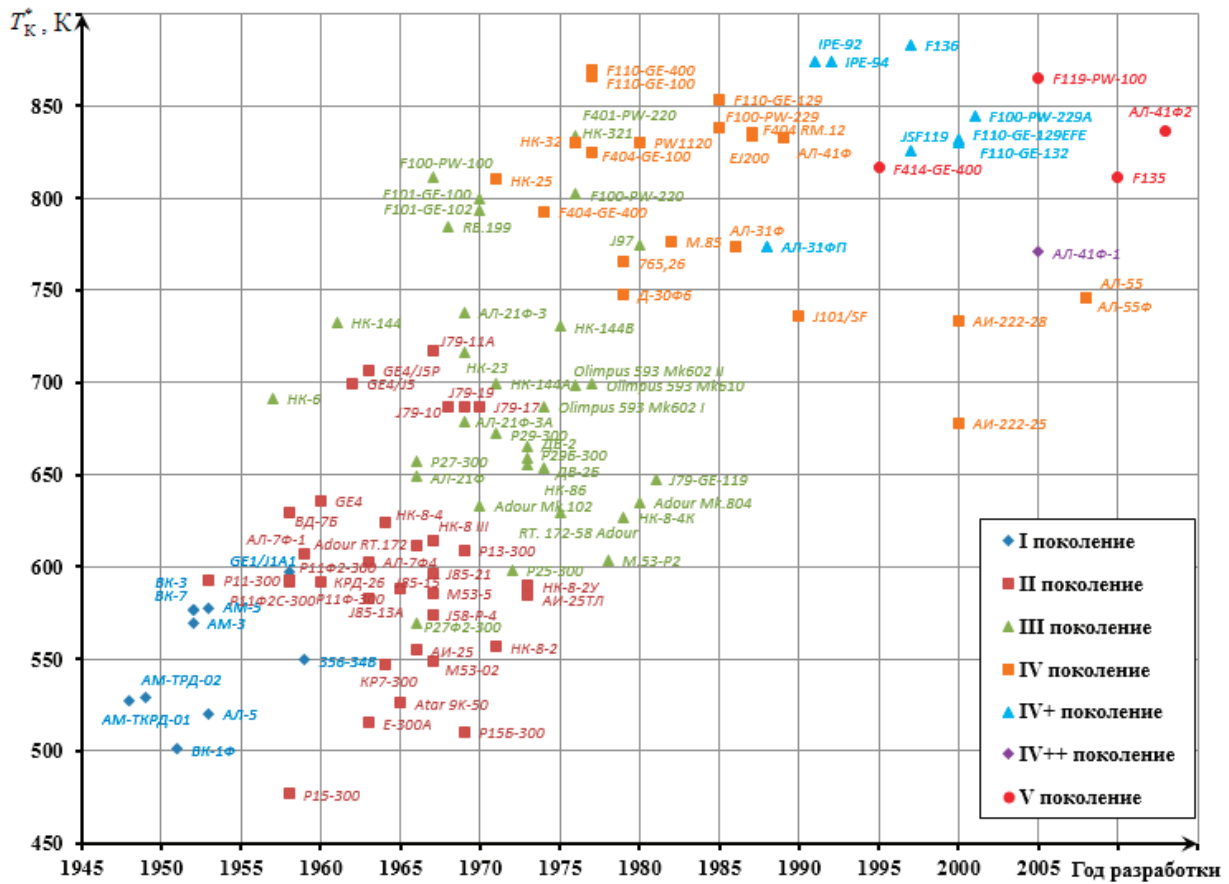


Рис. 2. Температура на выходе из компрессора

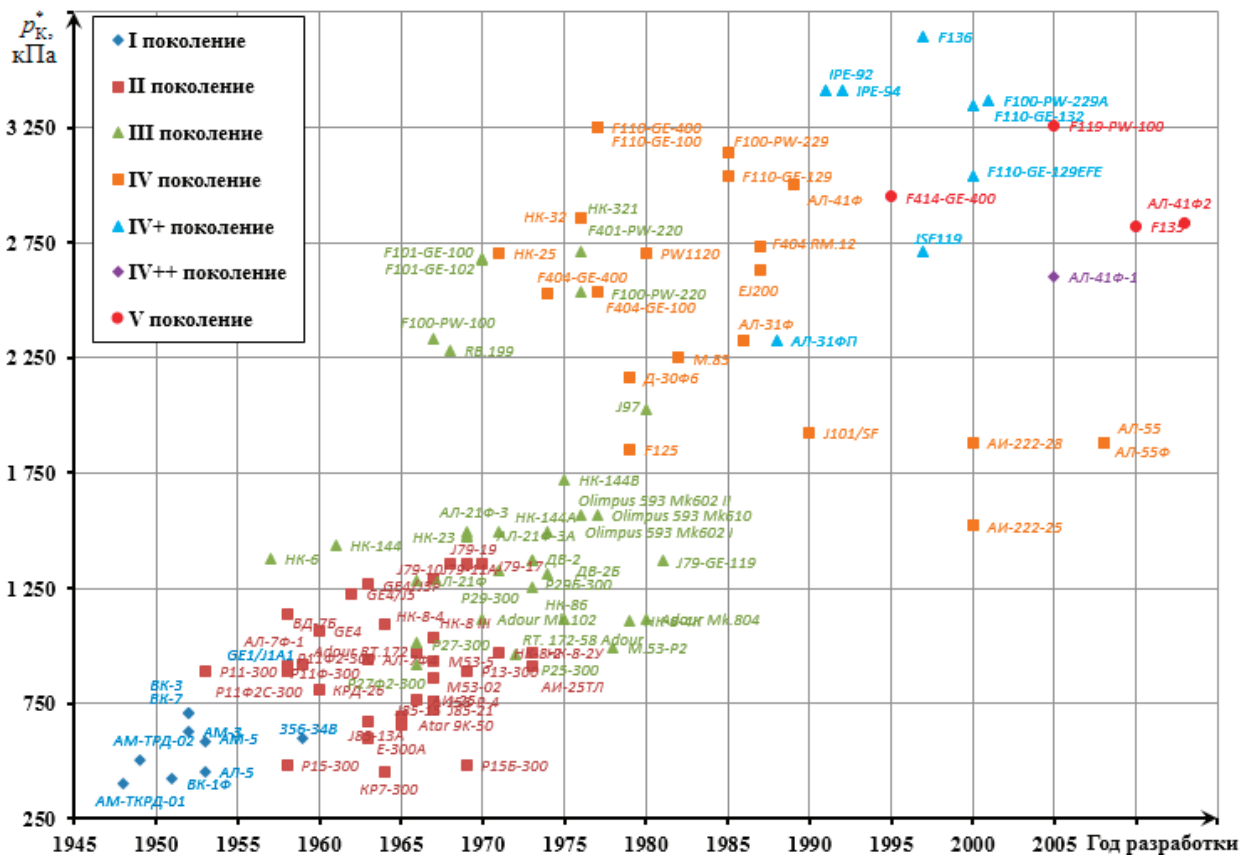


Рис. 3. Давление на выходе из компрессора

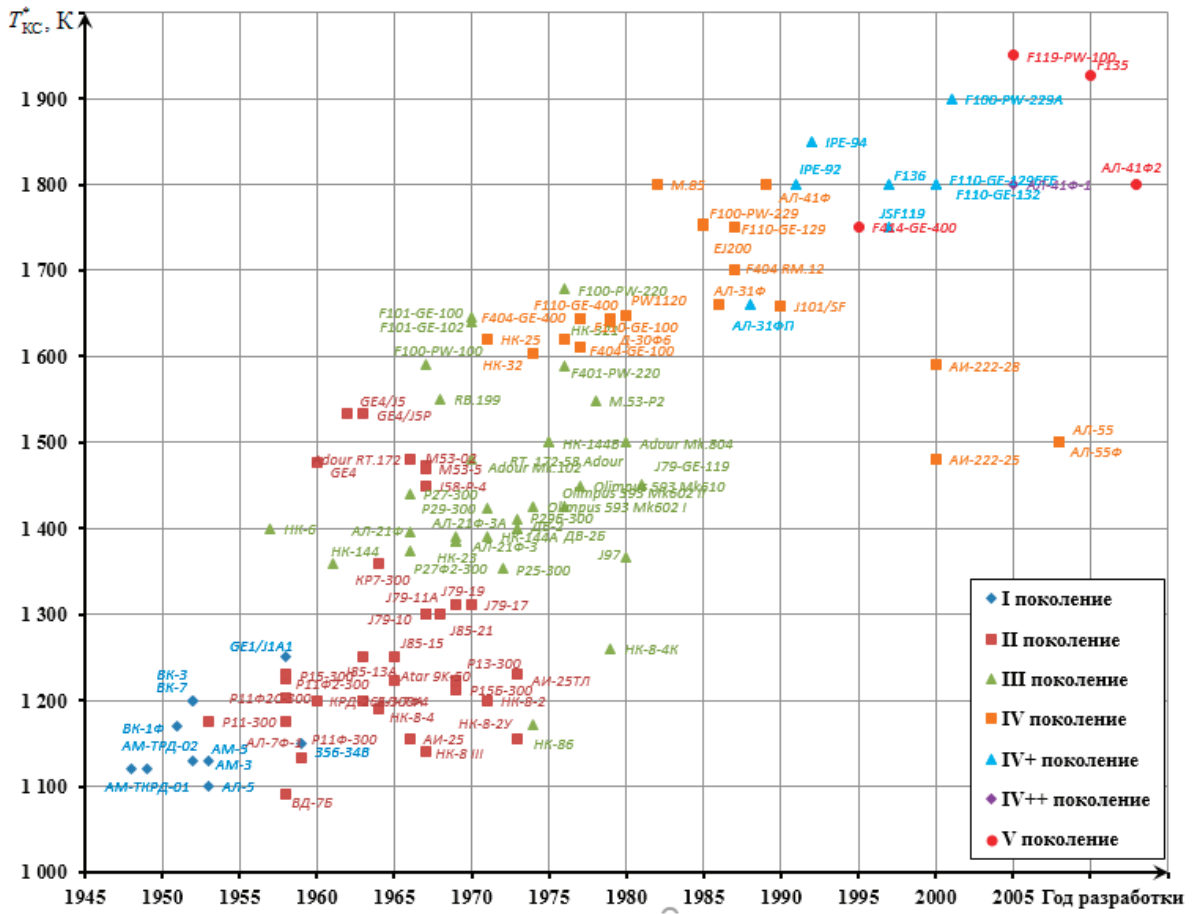


Рис. 4. Температура на выходе из КС

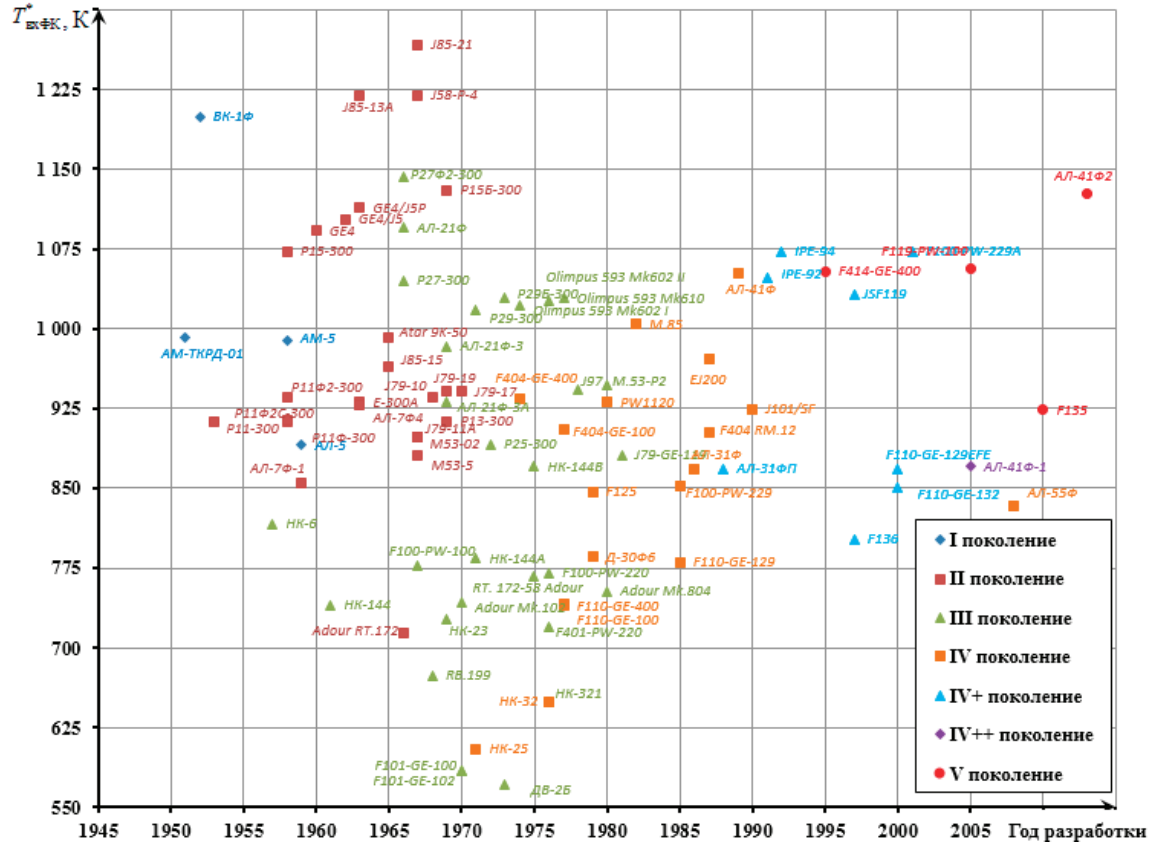


Рис. 5. Температура на входе в ФК

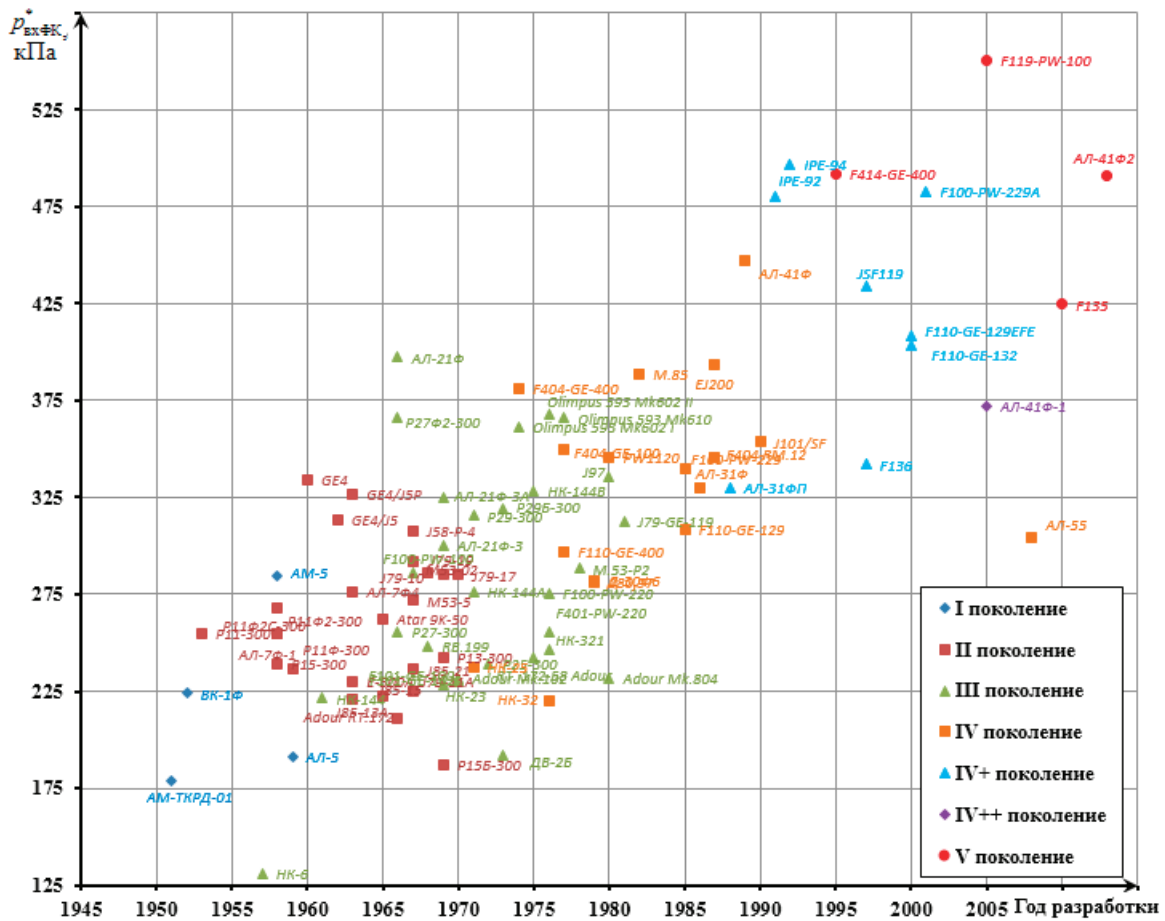


Рис. 6. Давление на входе в ФК

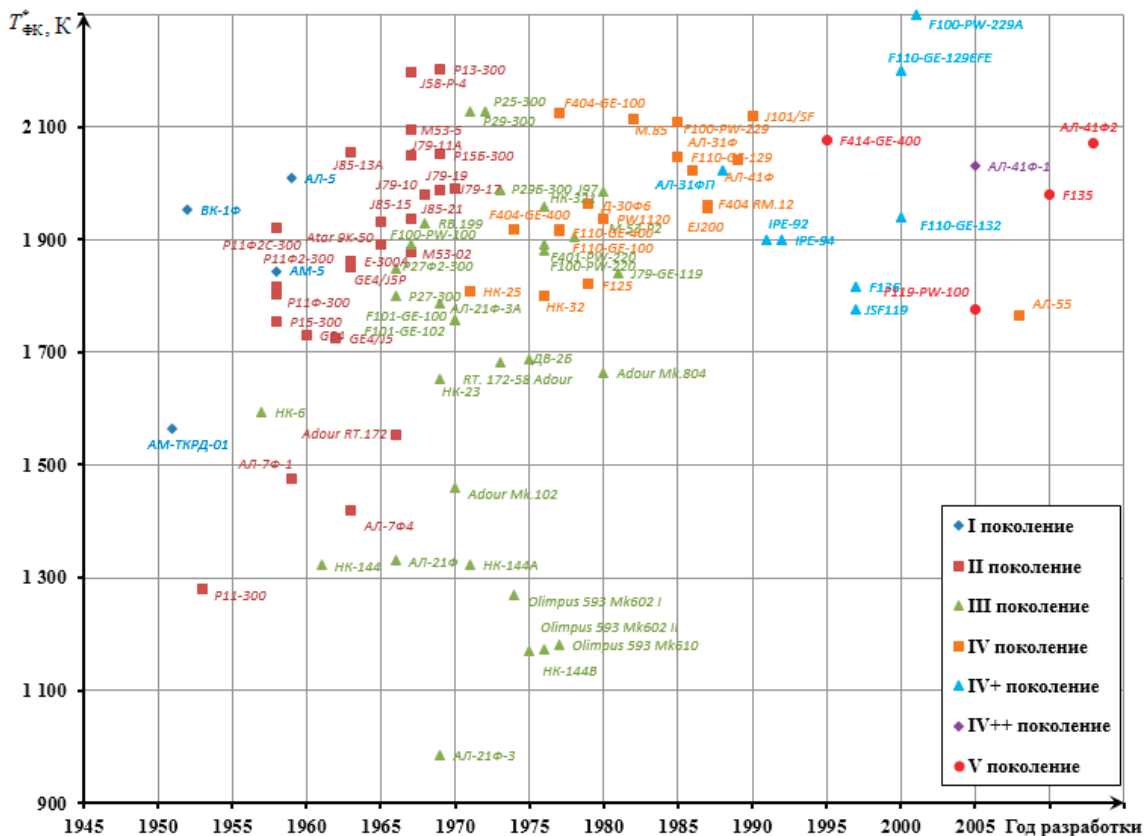


Рис. 7. Температура на выходе из ФК

На рис. 4 приведена температура ($T_{КС}^*$) на выходе из КС. По мере увеличения от года разработки и поколения двигателя температура за КС растет. Максимальная температура в КС у двигателей V поколения — *F119-PW-100* и *F135*.

На рис. 5 и 6 приведены температуры и давления на входе в ФК. Оба параметра растут с увеличением года и поколения. Чем выше температура и давление, тем проще организовать процесс горения (параметры приближаются к точке самовоспламенения топлива). Чем ниже температура на входе в ФК, тем больше энергии можно подвести к потоку и, соответственно, тем выше степень форсирования двигателя (что характерно для двигателей ранних поколений). Минимальная температура на входе в ФК у двигателей *ДВ-2Б*, *НК-25*, *F101-GE-100* и *F101-GE-102*. Максимальные температуры на входе в ФК — у ТРДФ II поколения — *J85-21*. Максимальное давление у двигателя V поколения — *F119-PW-100*.

На рис. 7 приведены температуры на выходе из ФК, уровень которых значительно выше температур за КС. Это связано с тем, что за ФК нет таких теплонапряжённых высоконагруженных узлов как турбина. С увеличением года разработки и поколения двигателя наблюдается рост температур на выходе из ФК. Чем выше температура, тем выше эффективность цикла, большая тяга и большие ско-

рости истечения из сопла (что позволяет достичь больших скоростей полета). Максимальная температура у двигателя — *F100-PW-229A*.

В данном исследовании было проанализировано изменение параметров на взлетном максимальном и форсированном режимах. При проектировании КС и ФК необходимо обеспечить устойчивое горение во всем диапазоне режимов, высот и скоростей. При полётах на больших высотах и с различными скоростями параметры на входе в данные узлы могут меняться значительно. Для дальнейшего более точного анализа изменения параметров КС и ФК необходимо провести расчеты высотно-скоростных характеристик данных двигателей.

Выводы

В результате исследования проведено моделирование 112 авиационных ВРД прямой тяги с малой степенью двухконтурности (ТРД, ТРДД, ТРДФ и ТРДДФ) I–V поколений отечественного и зарубежного производства. Проанализировано изменение параметры потока в КС и ФК, в зависимости от поколения и года разработки двигателя.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16–38–00077 мол_а.

Литература:

1. Ахмедзянов, Д. А. Обзор и анализ параметров потока в основных узлах авиационных двигателей / Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Шабельник Ю. А., Маркина К. В., Полежаев Н. И. // Молодежный Вестник УГАТУ — Уфа: УГАТУ, 2012. № 4 (5) — С. 25–36.
2. Кривошеев, И. А. Имитационное моделирование работы авиационных ГТД с элементами систем управления / Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е. // Вестник УГАТУ. — Уфа: УГАТУ, 2008. № 2 (29) серия «Машиностроение» — С. 3–11.
3. Кишалов, А. Е., Ключев Н. А. Моделирование и анализ характеристик ТРДДФсм для самолётов V поколения в системе DVIGw // Мавлютовские чтения: материалы X Всероссийской молодёжной научной конференции «Мавлютовские чтения». — Уфа: УГАТУ, 2016. — С. 199–203.
4. Krivosheev, I. A., Kishalov A. E., Kozhinov D. G. The Thermo-Gas-Dynamic Modeling of Afterburning Turbofan Engine for High Maneuverable Aircraft Combined with Its Automatics // 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) Procedia Engineering. Volume 150, 2016, P. 126–131 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816312826>)
5. Жернаков, В. С. Прогноз основных характеристик ТРДДФсм для перспективных авиационных комплексов / Жернаков В. С., Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е., Маркина К. В., Липатов В. Д. // Вестник УГАТУ. — Уфа: УГАТУ, 2015. № 2 (68). — С. 56–62.
6. Ахмедзянов, Д. А., Кишалов А. Е. Моделирование переходных процессов, протекающих при отладке автоматики при испытаниях ТРДДФ / Вестник ВГТУ. — Воронеж, 2011. Т. 7(8). — С. 152–158.

Замена фруктозосодержащих подсластителей стевиозидом как решение проблемы «добавленного сахара»: разработки пищевой отрасли

Колмыков Максим Андреевич, магистрант;
Емельянов Дмитрий Владимирович, магистрант;
Ануфриев Илья Павлович, магистрант
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

В статье проанализировано современное состояние общего здоровья нации. Рассмотрены основные алиментарно-зависимые заболевания и причины их появления. Объяснен биохимический механизм формирования метаболического синдрома от фруктозосодержащих подсластителей. Дано обоснование использования стевии в создании продуктов функционального назначения, рассмотрены отечественные разработки, связанные с данным направлением.

Ключевые слова: сахар, стевия, стевиозид

Не вызывает сомнения тот факт, что от обеспеченности населения здоровым питанием зависит не только благополучие отдельных людей, но и общества в целом. Но сегодня на мировом уровне над благополучием здоровья стоит проблема болезней цивилизации, значительный вклад в которую вносят нерациональное питание, дефицит продуктов питания, их фальсификации, загрязнение контаминантами. К группе болезней цивилизации относят патологии сердечно-сосудистой, нервной, иммунной, пищеварительной, эндокринной систем. Из них сердечно-сосудистые, онкологические болезни и сахарный диабет прочно заняли ведущие места среди причин смертности, инвалидности и временной нетрудоспособности [1, 4]. Поэтому в России приверженность к здоровому образу жизни у работающего населения следует рассматривать как существенный резерв для сохранения и укрепления трудового потенциала страны [3].

В последнее время в широких научных кругах ведется дискуссия, что одной из причин алиментарно-зависимых заболеваний является излишнее поступление в организм рафинированных продуктов. Более узко, с этим связывают высокое потребление так называемого «добавленного сахара», определяемого как любой фруктозосодержащий подсластитель, поскольку одной из причин прогрессирования распространенности ожирения, сахарного диабета 2-го типа и сердечно-сосудистой заболеваемости, считается повышенное содержание легкоусвояемых углеводов в продуктах питания. Триада «ожирение + диабет + гипертония» являются проявлениями общего «метаболического синдрома». Данный синдром связывают с депонированием фруктозы [13]. Объясняется это следующей патобиохимической взаимосвязью: повышенное употребление фруктозы приводит к усилению синтеза неэтерифицированных жирных кислот, которые в свою очередь, нарушают передачу сигнала инсулина в клетку и способствуют развитию инсулинорезистентности. Прогрессирование метаболического синдрома отражается на разных органах и системах, например, «печеночный эффект» приводит к интоксикации и развитию неалкогольной жировой болезни печени.

Поэтому сегодня крайне актуально создание продуктов функционального назначения. Одним из направлений таких исследований являются разработки сахаросодержащих продуктов с субституцией сахара-песка на низкоэнергетические компоненты при условии сохранения эквивалентной сладости. Такими компонентами являются сахарозаменители натурального или синтетического происхождения [8].

Считается, что синтетические заменители сахара (аспартам, ацесульфам калия, сахарин, цикламаты и др.) при длительном употреблении оказывают пагубное воздействие на организм человека: провоцируют опухоли, снижают репродуктивную функцию. Однако исследования, проведенные в 2000-х годах, показали абсолютную безвредность и нетоксичность «синтетиков» при их нормальном употреблении [11–12, 14]. Тем не менее, скепсис остается, поэтому на их фоне всегда предпочтительнее использовать в производстве продуктов питания природные заменители сахара.

Большие перспективы среди сахарозаменителей имеет стевия и продукты на ее основе. Парагвайское растение *Stevia rebaudiana Bertoni* семейства Сложноцветных обладает природной сладостью, обусловленной наличием в ее листьях дитерпеновых гликозидов неуглеводной природы, именуемых «стевиолгликозидами», которые в 250–300 раз слаще сахарозы [4, 7]. Из стевиолгликозидов стевиозид $C_{38}H_{60}O_{18}$ и ребаудиозид А $C_{44}H_{70}O_{23}$ имеют наиболее близкие вкусовые профили к сахару, что определяет их использование [7]. Структуры данных стевиолгликозидов изображены на рис. 1.

Все стевиолгликозиды имеют общий агликон и структурно отличаются тремя радикалами. Стевиозид содержит два β -D-глюкопиранозила и один водородный радикал $H\cdot$, ребаудиозид А — все три β -D-глюкопиранозила.

Медико-биологические исследования стевиозиды показывают, что при его регулярном употреблении нормализуется уровень глюкозы в крови (гипогликемическое воздействие), понижается содержание радионуклидов и холестерина в организме, улучшаются регенерация клеток и коагуляция крови, тормозится рост новообразо-

ваний, укрепляются кровеносные сосуды и оказывается кардиотоническое действие на сердечно-сосудистую систему (за счет агликона стевииола). Токсичными эффектами стевииозид не обладает, поскольку он и его побочные продукты ни в каких органах не депонируются (оконча-

тельно признано ВОЗ в 2006 году). То есть использование продуктов с применением стевии оказывает положительный эффект на организм человека [5, 7]. Поэтому постоянно проектируются новые технологии пищевых продуктов с включением ее в рецептуру.

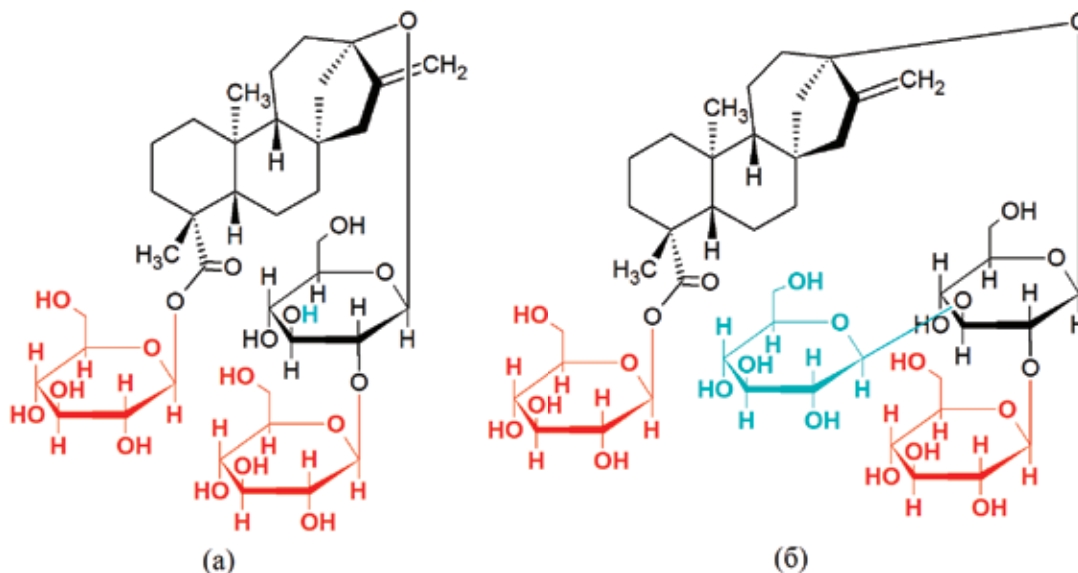


Рис. 1. Структурные формулы стевииозид (а) и ребаудиозид А (б)

Известны разработки специализированных мучных кондитерских изделий, напитков со стевией для больных сахарным диабетом. В Ставропольском государственном аграрном университете разработали хлебобулочные изделия с добавкой «Стевия-ВИТ». В опытные образцы добавляли измельченную стевию в количестве 0,5–2% по отношению к массе муки в тесте. Помимо приобретения конечным продуктом лечебно-профилактических свойств, улучшились функционально-технологические свойства теста — подъемная сила и бродительная активность дрожжей возросли в 1,7 раз [5].

В Южно-Уральском государственном университете проводятся исследования по разработке песочного печенья со стевииозидом. В рецептуре полностью заменяется сахар, при этом, поскольку сахар-песок выполняет функцию пластификатора, связывая и удерживая влагу в тесте, дополнительно вводится овсяная мука в количестве 30% от массы пшеничной муки (β -глюкан овсяной муки является реологическим фактором теста). В результате использование стевииозид приводит к существенному снижению общего сахара в исследуемом печенье с 28,5 до 8–9%, а овсяная мука дополнительно обогащает изделие полезными микронутриентами (витаминами — В₁, В₂, РР, минеральными веществами — К, Mg, Р) [9].

В Краснодарском НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции РАСХН проводят исследования по разработке маринадов плодовых и овощных, консервов «Горошек зеленый», «Кукуруза сахарная консервированная» со стевией. Клинические испытания по-

казали, что продукция имеет гипокликемический эффект. Там же разрабатывают технологию производства «тихих» полусладких, крепленых и десертных, а также газированных вин с использованием стевии [4].

Кисломолочное направление также актуально. В Мишуринском государственном аграрном университете проектируют рецептуры обогащенных сывороточных напитков, в том числе с экстрактом стевии (10% от массы творожной сыворотки). В результате продукт обладает функциональной направленностью [10].

В Южно-Уральском государственном университете разрабатываются сладкие творожные продукты «Кызыл эремсек» (красный творог) для диабетиков. Стевиозид (в виде добавки Е960) вносится во время томления и выпаривания творожно-молочной смеси. Органолептический максимум продуктов наблюдается при дозе стевииозид в количестве 0,05% от массы продукта. В продукте сохраняются органолептические показатели на 23 сутки, замедляется рост титруемой кислотности и патогенной микрофлоры в сравнении со сладким творогом, в рецептуре которого содержится 10% сахара. Снижение интенсивности органолептических, физико-химических и микробиологических изменений доказывает наличие у стевииозид природных консервирующих свойств [2].

В Ставропольском государственном аграрном университете расширяют ассортимент молочного пищевого сегмента путем создания продуктов с листьями стевии. Например, разработана технология слоеного творож-

но-сыворочного десерта «Творожель». В технологии используется вытяжка сухой листостебельной массы стевии, экстрагированная сывороткой, оставшейся от коагулированного ранее творога. Продукт ориентирован на категорию потребителей, страдающих диабетом, ожирением, а также позиционируется как десерт геродиетического питания из-за минимального содержания сахарозы [6].

Резюмируя, можно сделать заключение, что замена подсластителей, содержащих фруктозу, на экстракты

стевии является очень перспективной областью пищевого проектирования и фактором укрепления здоровья нации. Помимо эксплицитного медико-биологического и вкусового проявления стевииолигосахаридов, листья сушеной стевии и пищевые добавки в виде стевииозидов могут также обладать иными латентными функционально-технологическими и консервирующими свойствами, что, несомненно, может определять ее использование в технологии производства продуктов питания.

Литература:

1. Агаджанян, Н. А. Болезни цивилизации / Н. А. Агаджанян, А. Я. Чижов, Т. А. Ким // Экология человека. — 2003. — № 4. — С. 8–11.
2. Альхамова, Г. К. Влияние стевииозидов на потребительские свойства творожного продукта функционального назначения: автореферат дис. канд. техн. наук / Г. К. Альхамова. — Кемерово, 2013. — 20 с.
3. Буланов, В. Е. Значимость здорового образа жизни для работников производственной сферы в современных условиях / В. Е. Буланов // Социальные аспекты здоровья населения. — 2015. — Т. 41, № 1. — С. 14–22.
4. Диетические продукты для больных диабетом и сердечно-сосудистыми заболеваниями / Г. Н. Павлова и др. // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. — 2005. — № 1. — С. 35–36.
5. Жижжун, В. С. Оценка технологической эффективности добавки биологического происхождения / В. С. Жижжун // Приоритетные направления развития пищевой индустрии: сборник научных статей. — Ставрополь, 2016. — С. 241–243.
6. Комбинированный молочно-растительный десерт с экстрактом стевии / В. И. Трухачев, О. В. Сычева, Г. П. Стародубцева и др. // Вестник АПК Ставрополя. — 2012. — № 2 (6). — С. 36–39.
7. Петров, С. М. Натуральный функциональный продукт на основе сахара и стевииолигосахаридов / С. М. Петров, Н. М. Подгорнова // Пищевая промышленность. — 2015. — № 1. — С. 14–18.
8. Петров, С. М. Сахар или сахарозаменители? / С. М. Петров, Н. М. Подгорнова // Сахар. — 2013. — № 11. — С. 33–36.
9. Рушиц, А. А. Исследование потребительских свойств песочного печенья с сахарозаменителем / А. А. Рушиц // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. — 2015. — Т. 3. № 1. — С. 45–50.
10. Сухарева, Т. Н. Ресурсосберегающая технология обогащенного растительными компонентами напитка / Т. Н. Сухарева, И. В. Сергиенко // Приоритетные направления развития пищевой индустрии: сборник научных статей. — Ставрополь, 2016. — С. 552–554.
11. Aspartame: a safety evaluation based on current use levels, regulations, and toxicological and epidemiological studies / В. А. Magnuson, G. A. Burdock, J. Doull et al. // Critical Reviews in Toxicology. — 2007. — V. 37 (8). — P. 629–727.
12. Cyclamate intake and cyclohexylamine excretion are not related to male fertility in humans / L. Serra-Majem, L. Bassas, R. García-Glosas et al. // Food Additives & Contaminants. — 2003. — V. 20 (12). — P. 1097–1104.
13. Endogenous fructose production and metabolism in the liver contributes to the development of metabolic syndrome / M. A. Lanasa, T. Ishimoto, N. Li et al. // Nature Communications 4:2434 doi: 10.1038/ncomms3434. — 2013.
14. Removal of Saccharin and Its Salts from the Lists of Hazardous Constituents / Summary of Resource Conservation and Recovery Act State Authorization Rule Checklist 225. — EPA (United States Environmental Protection Agency), 2010.

Расчет сопряжения стенки цилиндрического резервуара с дном методом перемещений

Кулигина Евгения Сергеевна, старший преподаватель

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова в г. Нерюнгри

В вертикальном цилиндрическом резервуаре от действия гидростатической нагрузки хранимой жидкости наибольшие значения изгибающего момента M и поперечной силы Q возникают в зоне краевого эффекта сопряжения стенки и дна. Для составления расчетной схемы узла сопряжения из стенки и дна стального резервуара высотой H и ра-

диусом R вырезаются полосы единичной ширины (рис. 1). Стенка резервуара толщиной h_{cm} рассматривается как полубесконечная балка на упругом основании с условным коэффициентом постели $k_{cm} = \frac{E h_{cm}}{R^2}$, а днище и выступ окрайки — как балки на упругом основании с коэффициентом постели $k_{дн}$, зависящим от вида грунта.

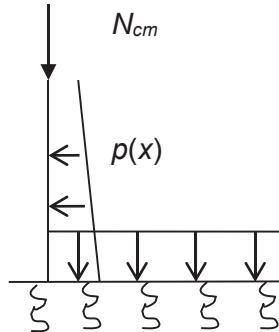


Рис. 1. Расчетная схема уторного соединения

Эта расчетная схема два раза кинематически неопределима. Основная система метода перемещений получается введением в жесткий узел сопряжения плавающей заделки и установкой элементарной кинематической связи по направлению возможного вертикального перемещения (рис. 2).

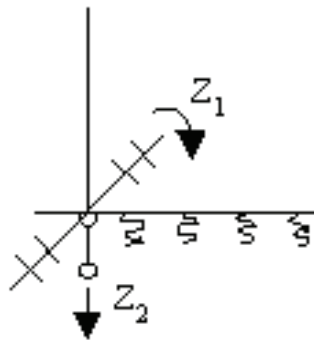


Рис. 2. Основная система метода перемещений

На основной системе указываются положительные направления угла поворота Z_1 и вертикального линейного смещения Z_2 . Для определения неизвестных Z_1 и Z_2 решается система канонических уравнений:

$$\begin{cases} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + R_{1p} = 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + R_{2p} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Коэффициенты r_{ij} уравнений определяются статическим способом по единичным эпюрам изгибающих моментов, а свободные члены R_{ip} — по грузовой эпюре. При построении эпюр днище рассчитывается как полубесконечная балка, а выступ окрайки — как короткая балка длиной c . Значения моментов на эпюрах, а также величины поперечных сил получают решением дифференциального уравнения изгиба балок на упругом основании методом начальных параметров с использованием специальных гиперголо-тригонометрических функций [1, 2].

Получены формулы, позволяющие вычислять все компоненты канонических уравнений метода перемещений без построения эпюр и применения специальных функций. Для единичных реакций они имеют вид:

$$r_{11} = 2 D_{cm} \alpha_{cm} + D_{дн} \alpha_{дн} \left(2 + \frac{\text{sh}(2\alpha_{дн}c) - \sin(2\alpha_{дн}c)}{\text{ch}^2(\alpha_{дн}c) + \cos^2(\alpha_{дн}c)} \right),$$

$$r_{12} = r_{21} = 2 D_{дн} \alpha_{дн}^2 \left(1 - \frac{\text{ch}^2(\alpha_{дн}c) - \cos^2(\alpha_{дн}c)}{\text{ch}^2(\alpha_{дн}c) + \cos^2(\alpha_{дн}c)} \right),$$

$$r_{22} = 2 D_{дн} \alpha_{дн}^3 \left(2 + \frac{\text{sh}(2\alpha_{дн}c) + \sin(2\alpha_{дн}c)}{\text{ch}^2(\alpha_{дн}c) + \cos^2(\alpha_{дн}c)} \right),$$

где $D_{cm} = \frac{E h_{cm}^3}{12(1-\mu^2)}$ и $D_{\partial n} = \frac{E h_{\partial n}^3}{12(1-\mu^2)}$ — цилиндрические жесткости стенки и днища; $\alpha_{cm} = \sqrt[4]{\frac{k_{cm}}{4 D_{cm}}}$ и $\alpha_{\partial n} = \sqrt[4]{\frac{k_{\partial n}}{4 D_{\partial n}}}$ — коэффициенты деформации стенки и днища.

Грузовые реакции в добавленных связях возникают от действия гидростатического давления жидкости с удельным весом γ , избыточного давления p_u и веса N_{cm} , передаваемого стенкой на днище:

$$R_{1p} = \frac{1}{2\alpha_{\partial n}^2} \left((\gamma H + p_u) - \frac{\gamma}{\alpha_{cm}} \right) - \frac{1}{2\alpha_{\partial n}^2} (\gamma H + p_u),$$

$$R_{2p} = -N_{cm} - \frac{\gamma H + p_u}{\alpha_{\partial n}}.$$

После вычисления единичных и грузовых реакций из канонических уравнений (1) находят угол поворота Z_1 и линейное перемещение Z_2 , которые позволяют построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил. Наибольшие изгибающие моменты в стенке и днище резервуара возникают в уторном соединении и их можно найти по формулам:

$$M_{cm} = 2 D_{cm} \alpha_{cm} Z_1 + M_p^{cm},$$

$$M_{\partial n} = -2 D_{\partial n} \alpha_{\partial n} Z_1 - 2 D_{\partial n} \alpha_{\partial n}^2 Z_2 + M_p^{\partial n}. \tag{2}$$

Поперечная сила в опорном сечении стенки вычисляется по формуле:

$$Q = 2 D_{cm} \alpha_{\partial n}^2 Z_1 - \frac{1}{2\alpha_{cm}} \left[\frac{\gamma}{\alpha_{cm}} - 2(\gamma H + p_u) \right]. \tag{3}$$

В формулах (2) и (3) знаки приняты с учетом того, что положительный момент в стенке вызывает растяжение внутренних волокон, а в днище — верхних.

При использовании метода перемещений для расчета краевого эффекта в сопряжении стенки цилиндрического резервуара с днищем, кроме внутренних усилий, определяются перемещения уторного соединения стенки и днища. Полученные формулы могут быть использованы для оптимизации конструктивного решения узла сопряжения стенки и днища резервуара.

Литература:

1. Снитко, Н. К. Строительная механика: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 1980. — 431 с.
2. Галеев, В. Б. Эксплуатация стальных вертикальных резервуаров в сложных условиях. — М.: Недра, 1981. — 148 с.

Модернизированная схема испытаний асинхронных тяговых двигателей

Литвинов Артем Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;
 Бернс Павел Александрович, студент;
 Абишов Ербол Гайдарович, студент;
 Родина Дарья Евгеньевна, студент;
 Логинова Екатерина Станиславовна, студент;
 Колесников Петр Александрович, аспирант
 Омский государственный университет путей сообщения

Тяговый электродвигатель (ТЭД) служит для преобразования электрической энергии, получаемой из контактной сети или от дизель-генераторной установки, в механическую, расходуемую на передвижение поезда по рельсовому пути. Другого такого мощного и экономичного средства для этой цели пока нет. Однако тяговый двигатель, являющийся электромеханическим преобразователем энергии, остается на обозримую перспективу основой электрической тяги.

Эффективность преобразования тяговым двигателем электрической энергии в механическую зависит от того, насколько он приспособлен к такому процессу. Эта способность определяется электрическими и магнитными параметрами, характеристиками и конструкцией двигателя. Чем мощнее тяговый двигатель, тем более напряженными являются происходящие в нем процессы, более сложными оказываются электромагнитные связи его параметров, обуславливающие эти процессы.

Рассмотрим статистику отказов электровозов серии 2ЭС6. При выполнении анализа отказов рассматривался приписной парк — 188 единиц. Пробег парка локомотивов 2ЭС6 составил 34,92 млн км. За 12 мес. 2014 г. допущено 1137 случаев непланового ремонта электровозов 2ЭС6 приписного парка с простоем 29421,16 ч. (32,56 случая на 1 млн км. пробега) (таблица 1).

Распределение отказов по основным узлам тяговых двигателей электровоза 2ЭС6 показано на рисунке 1.

Как видно из приведенных в таблице 1 и рисунке 1 статистических данных, на тяговые электродвигатели приходится третья часть отказов от общего количества отказов оборудования электровоза 2ЭС6, наиболее уязвимыми узлами ТЭД являются якорь и полюсы (главные и дополнительные). Таким образом, уязвимость этих узлов напрямую зависит от качества изоляции обмоток якоря и полюсов, сопротивления этих обмоток, условий эксплуатации ТЭД, а также качества ремонта и изготовления указанных узлов.

Как известно, качественный ремонт и в особенности послеремонтные испытания электрических машин являются гарантом в обеспечении желаемых характеристик в экс-

плуатации. От того насколько приближенными к условиям эксплуатации окажутся условия испытаний будет зависеть надежность ТЭД. На сегодняшний день существует множество схем, способов и методик для проведения испытаний ТЭД как постоянного, так и переменного тока. Выбор той или иной схемы испытаний зависит от конкретного типа двигателя, его условий эксплуатации, характеристик, возможностей ремонтного предприятия, либо завода-изготовителя. Существующая политика страны в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности направлена на выбор оптимального количества оборудования, его характеристик и схемы их соединения, которая позволила бы выполнять испытания без противоречий с государственными стандартами по испытаниям электрических машин [например, 1].

Одним из способов экономии электроэнергии при испытании электрических машин является метод взаимной нагрузки, под которым понимается работа двух электрических машин, соединенных механически и электрически так, что одна из них, работая в режиме генератора, отдает всю вырабатываемую ею электрическую энергию второй

Таблица 1. Распределение неплановых ремонтов по видам оборудования

Вид оборудования	Неплановые ремонты			Неплановые ремонты на 1 млн км. пробега		
	12 месяцев					
	2014 г.	2013 г.	±, %	2014 г.	2013 г.	±, %
Тяговые электродвигатели	294	186	108	8,42	8,18	0,24
Вспомогательные машины	16	9	7	0,46	0,40	0,06
Электрооборудование	294	286	8	8,42	12,57	-4,15
Приборы безопасности	126	90	36	3,61	3,96	-0,35
Колесные пары	33	52	-19	0,95	2,29	-1,34
Механическое оборудование	43	52	-9	1,23	2,29	-1,06
Автотормозное оборудование	180	161	19	5,15	7,08	-1,93
Прочее оборудование	151	91	60	4,32	4,00	0,32
Всего:	1137	927	210	32,56	40,75	-8,19

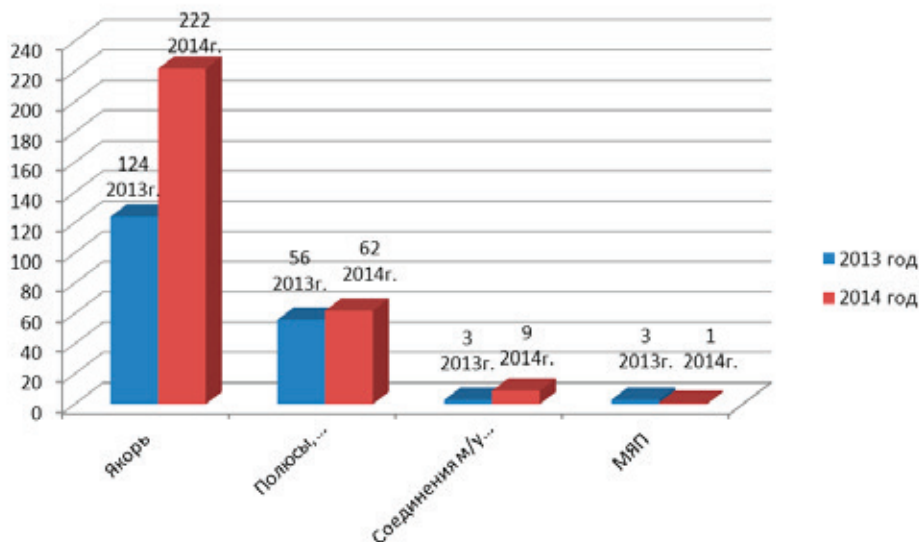


Рис. 1. Распределение отказов по основным узлам ТЭД электровоза 2ЭС6 в 2013–2014 гг.

машине, работающей в режиме двигателя, а эта последняя расходует всю развиваемую ею механическую энергию на вращение первой машины. Приток энергии извне требуется только для покрытия суммы потерь в обеих машинах и может осуществляться либо электрическим путем, либо механическим, либо обоими путями одновременно [2].

В статье предлагается модернизированная схема для испытаний асинхронных тяговых двигателей методом их взаимной нагрузки (первоначальный вариант схемы предложен коллективом авторов [3]). Преимущества применения взаимной нагрузки при испытании электрических машин приведены выше, стоит отметить функциональную базу предлагаемой схемы испытаний: автономные инверторы напряжений АИН, трехфазные мостовые выпрямители VD1 и VD2 (рисунок 2). Применение автономных инверторов напряжения позволяет добиться плавности регулирования скорости асинхронных двигателей, изменения режима нагрузки, а также позволяют реализовать наиболее экономичный способ управления асинхронными двигателями.

Схема содержит испытываемые асинхронные двигатели AM1 и AM2, валы которых соединены муфтой З. Двигатели установлены на стационарной раме, для питания каждого из которых предусмотрен автономный инвертор АИН1 или АИН2. Целесообразно использовать инверторы локомотива, которые предназначены для этих двигателей и которые вместе с двигателями поступают в ремонт (по регламенту подъемочного или заводского ремонта) [3]. Таким образом, данный стенд позволяет при необходимости проводить комплексную проверку агрегата «Инвертор-двигатель». Каждый инвертор АИН1, АИН2, клеммами переменного тока подключен к обмотке своего двигателя AM1, AM2. Клеммы постоянного тока инверторов АИН1 и АИН2 соединены между собой проводами, к которым подключены выходы регулируемого источника постоянного напряжения VD1. В расщелку од-

ного из проводов включены выходы регулируемого источника постоянного тока VD2.

Трехфазный мостовой выпрямитель VD1 подключен к сети трехфазного переменного тока (фазы А, В, С) через повышающий трансформатор TV1. Система VD1 и TV1 рассчитана на максимальное испытательное напряжение двигателей AM1 и AM2. Система VD2 и TV2 рассчитана на максимальный ток инверторов АИН1 и АИН2 и подключена через трехфазный контактор КМ.

Помимо основного оборудования схема может быть дополнена контроль-измерительной аппаратурой, а также дополнительным оборудованием для проведения любых видов испытаний в зависимости от назначения тяговых двигателей, области эксплуатации и т.д.

Предложения по доработке (модернизации) схемы испытаний асинхронных тяговых двигателей, приведенной в [3]:

- изменить функциональный состав трехфазного мостового выпрямителя VD1: вместо тиристоров использовать диоды. Таким образом, снижаются капитальные затраты на изготовление схемы, нет необходимости в сложной системе управления трехфазным тиристорным мостом; вместо этого следует подбирать параметры повышающего трансформатора TV1;
- изменить функциональный состав устройства для включения или отключения в работу системы VD2, TV2: вместо двух параллельно включенных и встречно-направленных тиристоров установить по одному тиристор на каждую фазу, направление которых от источника питания (трехфазной сети) к системе VD2, TV2 либо установить трехфазный контактор КМ. Таким образом, снижаются капитальные затраты на изготовление устройства для включения или отключения в работу системы VD2, TV2, а также исключается возможность передачи помех, искаженных сигналов токов и напряжений обратно в трехфазную сеть и далее к подключенным к ней потребителям.

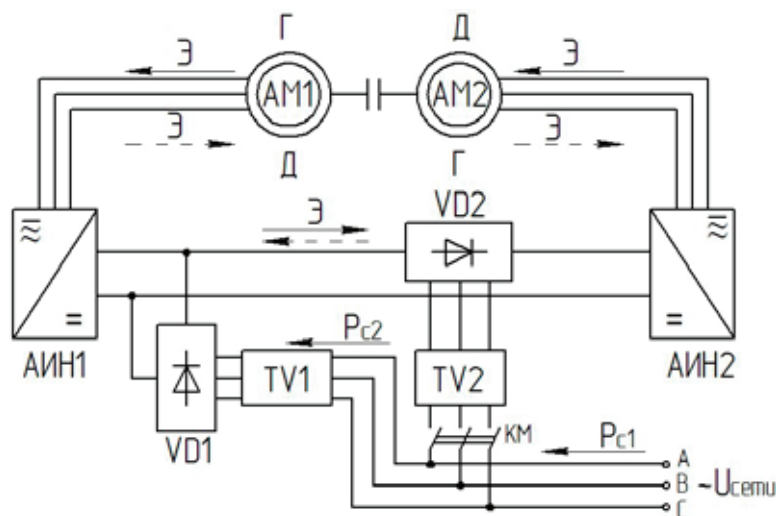


Рис. 2. Модернизированная схема испытаний асинхронных тяговых двигателей:
 AM1, AM2 — асинхронные машины; АИН1, АИН2 — автономные инверторы напряжений;
 VD1, VD2 — трехфазные мостовые выпрямители; TV1 — трехфазный повышающий трансформатор;
 TV2 — трехфазный понижающий трансформатор; КМ — трехфазный контактор

Литература:

1. ГОСТ 11828–86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний [Текст] — М., 1986. 28 с.
2. Мельк, В. О. Опыт проектирования испытательных станций на статических преобразователях для различных типов тяговых двигателей / В. О. Мельк, С. А. Пимшин, И. Г. Шахов // Повышение тягово-энергетической эффективности и надежности электроподвижного состава: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск, 1999. 90 с. С 65–69.
3. Феоктистов, В. П. Устройство для стендовых испытаний асинхронных тяговых двигателей: патент РФ № 2015122299, 2014 [Текст] / В. П. Феоктистов, В. В. Литовченко, Д. В. Назаров, Ю. Ю. Чуверин, В. А. Шаров.

Модернизация схемы испытания тяговых двигателей постоянного тока методом взаимного нагружения

Литвинов Артем Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;
Бернс Павел Александрович, студент;
Абишов Ербол Гайдарович, студент;
Родина Дарья Евгеньевна, студент;
Логинова Екатерина Станиславовна, студент;
Колесников Петр Александрович, аспирант
Омский государственный университет путей сообщения

Тяговые электрические машины (ТЭМ) и в первую очередь тяговые электродвигатели (ТЭД) представляют один из наиболее ответственных видов тягового оборудования в конструкции любого электровоза или электропоезда. От их работоспособности в условиях эксплуатации и технических характеристик в определяющей степени зависит общий уровень надежности и использования тяговых возможностей локомотива в целом [1].

При любых видах испытаний ТЭМ первоочередной задачей является проверка работоспособности машины под нагрузкой. Для машин, работающих в двигательном режиме, это предполагает создание на их валу механического момента сопротивления, имитирующего уровень эксплуатационных нагружений.

Различают следующие методы нагружения испытуемых тяговых двигателей постоянного тока:

1. Механическая нагрузка (схема непосредственной нагрузки испытуемой машины), т.е. механический тормоз, который служит для испытания ЭМ.

Однако для испытания ТЭД большой мощности ее использовать технически невозможно — трудность в стабилизации нагрузки [2].

2. Электрическая нагрузка — ТЭД спаривается с генератором. Изменения нагрузки генератора — изменяет тормозной момент на валу ТЭД. Гашение энергии возможно на реостатах — тем самым достигается плавность регулирования [3].

Однако схемы с непосредственной нагрузкой не могут быть использованы: вследствие сложности механического тормоза; трудности обеспечения устойчивой работы и экономической неэффективностью, поэтому для испытания ТЭД используют схему электрической нагрузки,

когда нагрузкой является генератор, создающий тормозной момент и вырабатывающий электроэнергию [4].

3. Использование генератора для испытания ТЭД, а для повышения экономичности — принцип возвратной работы, а именно метод взаимной нагрузки — при котором происходит полезное использование энергии ЭМ при электрической нагрузке [2].

Особенности метода взаимной нагрузки. Включает в себя следующее: на одном валу находятся две одинаковые ЭМ, одна из которых работает в режиме двигателя, а вторая — является нагрузочным генератором, при этом энергия вырабатываемая генератором, направляется на питание испытуемого двигателя.

Работа ЭМ возможна при компенсации потерь: механических, электрических, магнитных и добавочных.

Наиболее распространенной схемой для испытаний тяговых двигателей постоянного тока последовательного возбуждения является схема, представленная на рисунке (рисунок 1).

Еще одним вариантом реализации взаимной нагрузки является схема с шунтировкой обмотки возбуждения двигателя, с помощью которой можно отказаться от ВДМ (рисунок 2). Основным недостатком подобной схемы является то, что машина работает в режиме ослабления возбуждения.

Схема взаимной нагрузки тяговых двигателей, основная цель которой — исключение высоковольтной машины ЛГ, а функцию компенсации механических и магнитных потерь принимает на себя вспомогательный двигатель ВД (рисунок 3).

Еще одной схемой несколько упрощающей, представленной на (рисунок 4), является схема взаимной нагрузки

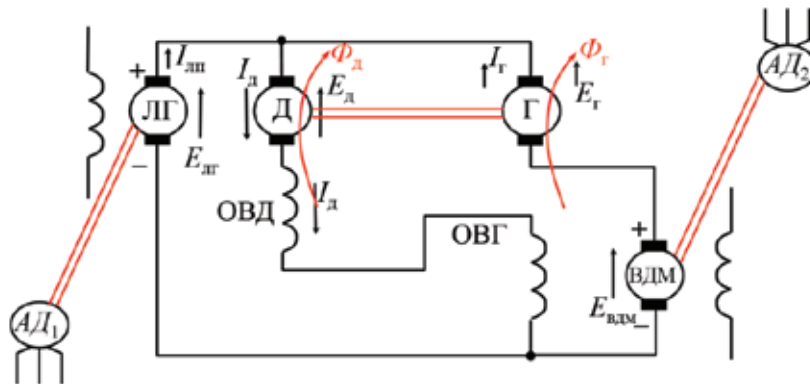


Рис. 1. Схема с линейным генератором (ЛГ) и вольтдобавочной машиной (ВДМ): Д, Г — двигатель и генератор; ОВД, ОВГ — обмотки возбуждения двигателя и генератора; АД₁, АД₂ — асинхронные двигатели

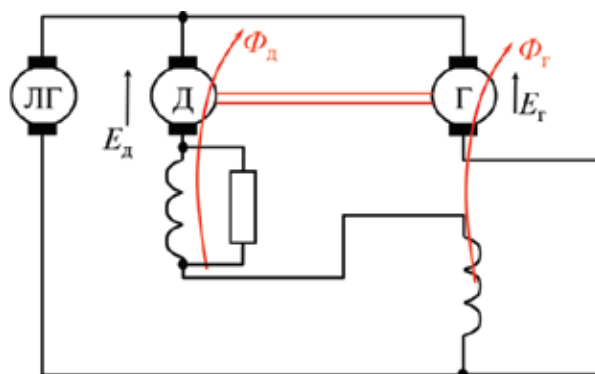


Рис. 2. Схема с шунтировкой обмотки возбуждения двигателя

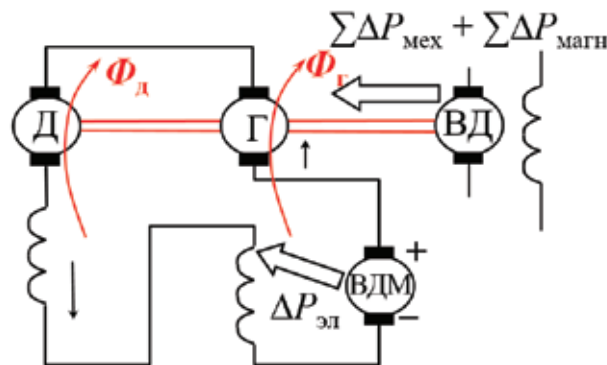


Рис. 3. Схема со вспомогательным двигателем

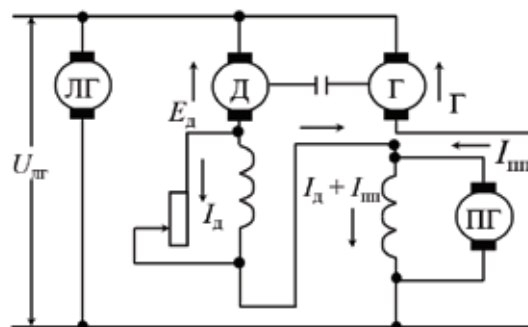


Рис. 4. Схема взаимной нагрузки с подпитывающим генератором

без использования ВДМ, а применения подпитывающего генератора ПГ.

На основе описанных схем, с учетом выявленных преимуществ и недостатков, были выдвинуты предложения по совершенствованию схем тяговых двигателей постоянного тока методом взаимной нагрузки.

Первая предлагаемая схема испытаний, предназначенная для проведения испытаний тяговых двигателей постоянного тока методом взаимной нагрузки (рисунок 5).

Отличие от предлагаемой в настоящее время схемы испытаний с ВДП и ЛП, выполненных на тиристорных элементах, состоит в их замене одним преобразователем частоты, работающим совместно с выпрямителем.

Подводимое из сети питание преобразуется повышающим трансформатором до напряжения требуемой величины. Далее напряжение подается на преобразователь частоты ПЧ. Подведенное к ПЧ напряжение преобразуется в постоянное с помощью выпрямителя В.

Выпрямленное напряжение через фильтр, функции которого выполняет звено постоянного тока ЗПТ, подается для питания испытуемого двигателя (схемы в целом). Таким образом, часть схемы «источник питания — «TV — В — ЗПТ» выполняет функцию линейного преобразователя ЛП. Другая часть энергии, необходимая для регулирования режима работы ТЭД2 (генератора), передается через звено постоянного тока ЗПТ к инвертору Инв, где оно регулируется с помощью Инв до требуемого значения. Преобразованное напряжение от Инв поступает на внешний выпрямитель В, который в итоге наряду с «ЗПТ — Инв — В» выполняет роль вольтодобавочного преобразователя.

Общий принцип работы по второй предлагаемой схеме испытаний тяговых двигателей постоянного тока методом взаимной нагрузки (рисунок 6) остается прежним. Отличие от схемы (см. рисунок 5) состоит в обеспечении процесса испытаний тяговых двигателей постоянного тока с независимым возбуждением. Питание обмоток независимого возбуждения предлагается выполнить от звена постоянного тока ЗПТ и тормозного реостата R_r , поставляемого в комплекте с преобразователями частоты.

Последняя из предлагаемых схем испытаний реализована с учетом рационального подбора оборудования испытательной станции: вольтодобавочный преобразователь, выполненный на базе тиристорных элементов, предлагается выполнить на базе IGBT транзисторов (рисунок 7).

Тиристорный преобразователь частоты в настоящее время занимает доминирующее положение в высоковольтном приводе в диапазоне мощностей от сотен киловатт и до десятков мегаватт с выходным напряжением 3–10 кВ и выше. Однако его цена на один кВт выходной мощности самая большая в классе высоковольтных преобразователей. Так недавнего прошлого преобразователи частоты на GTO составляли основную долю и в низковольтном частотно регулируемом приводе. Но с появлением IGBT транзисторов произошел «естественный отбор» и сегодня преобразователи на их базе общепризнанные лидеры в области низковольтного частотно регулируемого привода.

Биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT отличают от тиристорных полная управляемость, простая неэнергоёмкая система управления, самая высокая рабочая частота. Вследствие этого преобразователи частоты на IGBT позволяют расширить диапазон управления скорости вращения двигателя, повысить быстродействие привода в целом.

Применение IGBT с более высокой частотой переключения в совокупности с микропроцессорной системой управления в преобразователях частоты снижает уровень высших гармоник, характерных для тиристорных преобразователей. Как следствие меньшие добавочные потери в обмотках и магнитопроводе электродвигателя, уменьшение нагрева электрической машины, снижение пульсаций момента и исключение так называемого «шагания» ротора в области малых частот. Снижаются потери в трансформаторах, конденсаторных батареях, увеличивается их срок службы и изоляции проводов, уменьшаются количество ложных срабатываний устройств защиты и погрешности индукционных измерительных приборов.

Преобразователи частоты IGBT по сравнению с тиристорными преобразователями при одинаковой выходной

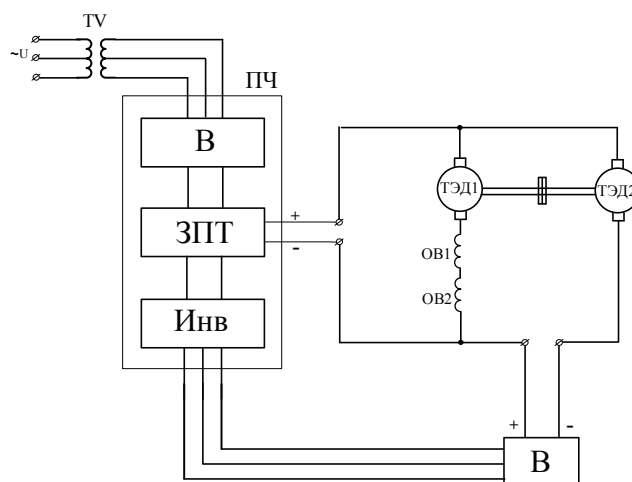


Рис. 5. Схема взаимной нагрузки тяговых двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением

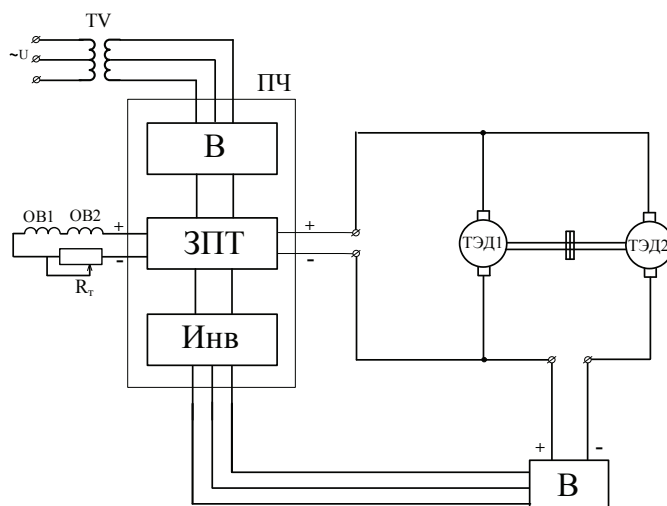


Рис. 6. Схема взаимной нагрузки тяговых двигателей постоянного тока с независимым возбуждением

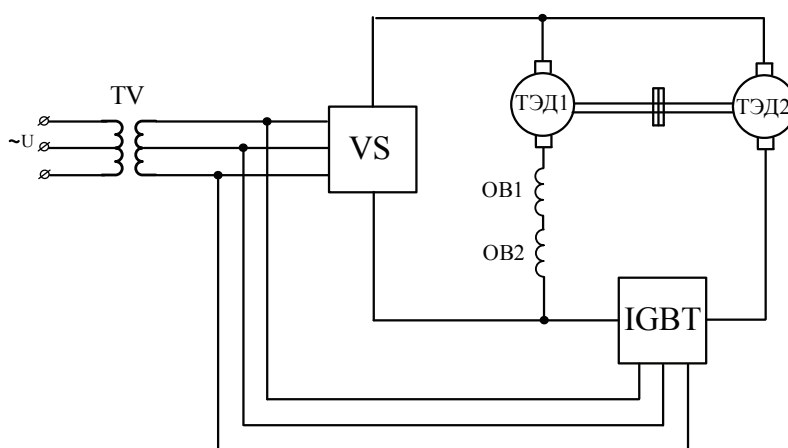


Рис. 7. Схема взаимной нагрузки тяговых двигателей постоянного тока с вольтодобавочным преобразователем на IGBT транзистора

мощности отличаются меньшими габаритами, массой, повышенной надежностью в силу модульного исполнения электронных ключей, лучшего теплоотвода с поверхности модуля и меньшего количества конструктивных элементов.

Таким образом, применение преобразователя частоты, как представлено на рисунках 5, 6, позволяет использовать их функциональные возможности наиболее эффективно: отказаться от использования дополнительных устройств, как линейный преобразователь (полупрово-

дниковый регулятор напряжения) и вольтодобавочный преобразователь (полупроводниковый регулятор тока). В качестве рационального предложения стоит отметить возможность применения штатных преобразователей частоты локомотивов для реализации, приведенных выше схем. Использование в работе схемы, представленной на рисунке 7, IGBT транзисторов позволит оптимизировать элементную базу вольтодобавочных преобразователей, получив преимущества, описанные выше.

Литература:

1. Дурандин, М.Г. Тяговые электрические машины и преобразователи: метод, указания / М.Г. Дурандин. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. — 45 с.
2. Жерве, Г.К. Промышленные испытания электрических машин / Г.К. Жерве 4 изд., сокр. и перераб. — Л.: Энергоатомиздат, 1984—408 с., ил.
3. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам. В 2-х томах / И.П. Копылов, Б.К. Клокова. Под ред И.П. Копылова. Т. 1 — М.: Энергоатомиздат, 1988—456 с.
4. Хасин, Л.Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / Л.Ф. Хасин, В.Н. Матвеев. По ред. Л.Ф. Хасина. — М.: «Желдориздат», 2002. — 452 с.

Математическое моделирование процесса испытаний двигателей постоянного тока методом взаимной нагрузки

Литвинов Артем Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;
 Бернс Павел Александрович, студент;
 Абишов Ербол Гайдарович, студент;
 Родина Дарья Евгеньевна, студент;
 Логинова Екатерина Станиславовна, студент;
 Колесников Петр Александрович, аспирант
 Омский государственный университет путей сообщения

Послеремонтные испытания тяговых электродвигателей (ТЭД) в соответствии с ГОСТ проводятся не только в режиме холостого хода и короткого замыкания, но и в часовом режиме при полной нагрузке. Учитывая, что мощность ТЭД современных тепловозов и электровозов близка или превышает 400 и 1000 кВт, соответственно, актуальным является поиск схем и методов, позволяющих сокращать расход электроэнергии при испытаниях. Особенно остро эта проблема проявляется при послеремонтных испытаниях тяговых электродвигателей современных локомотивов постоянного тока в условиях ремонтных цехов локомотивных депо.

Одним из способов экономии электроэнергии при испытании электрических машин является метод взаимной нагрузки, под которым понимается работа двух электрических машин, соединенных механически и электрически так, что одна из них, работая в режиме генератора, отдает всю вырабатываемую ею электрическую энергию второй машине, работающей в режиме двигателя, а эта последняя расходует всю развиваемую ею механическую энергию на вращение первой машины. Приток энергии извне требуется только для покрытия суммы потерь в обеих машинах и может осуществляться либо электрическим путем, либо механическим, либо обоими путями одновременно [1].

Наиболее распространенной схемой для испытаний тяговых двигателей постоянного тока последовательного возбуждения является схема, представленная на рисунке (рисунок 1).

Схема работает следующим образом. Подводимое из сети питание преобразуется повышающим трансформатором до напряжения требуемой величины. Далее напряжение подается на преобразователь частоты ПЧ. Подведенное к ПЧ напряжение преобразуется в постоянное с помощью выпрямителя В. Выпрямленное напряжение через фильтр, функции которого выполняет звено постоянного тока ЗПТ, подается для питания испытуемого двигателя (схемы в целом).

Для дальнейших исследований выполнено математическое моделирование процесса испытаний двигателей постоянного тока, при условии реализации классической схемы испытаний двигателей постоянного тока по методу взаимной нагрузки.

Так машины постоянного тока являются многообмоточными машинами. Большинство схем двигателей и генераторов постоянного тока можно привести к упрощенной схеме с двумя обмотками на статоре по осям d и q и одной обмоткой на роторе по осям d и q (рисунок 2). По оси d на статоре располагаются две обмотки возбуждения: w_b — число витков обмотки независимого возбуждения; w_c — число витков обмотки последовательного возбуждения. Моделирование машин постоянного тока усложняется наличием нелинейных связей, обусловленных насыщением, поперечной, продольной и коммутационной реакцией якоря, а также влиянием вихревых токов. Точно учесть вышеперечисленные факторы невозможно. Поэтому при исследовании машин постоянного тока характеристика холостого хода обычно линеаризуется, параметры считаются неизменными и не учитываются вихревые токи [2].

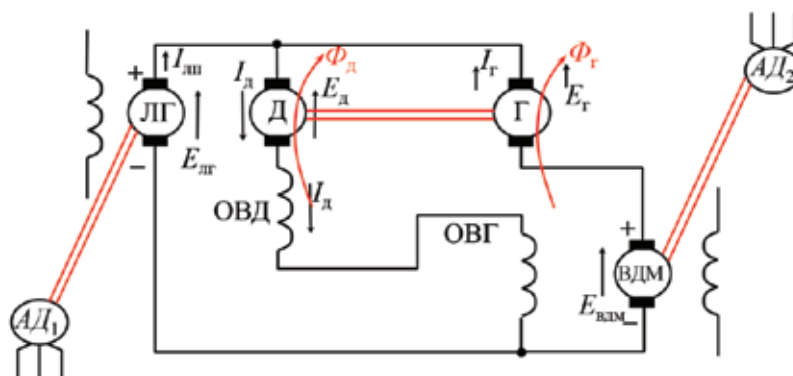


Рис. 1. Схема с линейным генератором (ЛГ) и вольтдобавочной машиной (ВДМ): Д, Г — двигатель и генератор; ОВД, ОВГ — обмотки возбуждения двигателя и генератора; АД₁, АД₂ — асинхронные двигатели

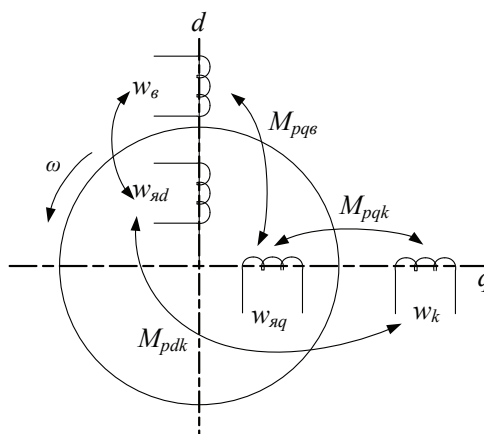


Рис. 2. Пространственная модель машины постоянного тока, учитывающая действие реакции якоря

Используя известную математическую модель, описывающую работу двигателя постоянного тока, выполним формирование математической модели процесса испытаний двигателей постоянного тока методом взаимной нагрузки.

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= -\frac{C_e \cdot n}{L_{\text{я}}} \cdot \Phi_{\text{рез}}^+ - \frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} \cdot i_d + \frac{1}{L_{\text{я}}} \cdot u_d; \\ \frac{di_{\text{вдп}}}{dt} &= -\frac{C_e \cdot n}{L_{\text{я}}} \cdot \Phi_{\text{рез}}^{++} - \frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} \cdot i_{\text{вдп}} + \frac{1}{L_{\text{я}}} \cdot u_{\text{вдп}}; \\ \frac{d\Phi_{\text{рез}}}{dt} &= -\frac{R_{\text{Б}}}{2p\sigma\omega_{\text{Б}}} \cdot i_d + \frac{1}{2p\sigma\omega_{\text{Б}}} \cdot i_d; \\ \Phi_{\text{рез}}^+ &= \Phi_{\text{м}} - \Phi_{\text{ря}}^+; \\ \Phi_{\text{рез}}^{++} &= \Phi_{\text{м}} - \Phi_{\text{ря}}^{++}; \\ \frac{dn}{dt} &= \frac{375}{2J_d} \end{aligned} \right\} (1)$$

где i_d — мгновенное значение тока двигателя;
 $i_{\text{вдп}}$ — мгновенное значение тока вольтдобавочного преобразователя (ВДП) или генератора;
 C_e — электромашинная постоянная;
 n — частота вращения двигателя и генератора;

$\Phi_{\text{рез}}^*$ — результирующий магнитный поток двигателя;
 $\Phi_{\text{рез}}^{**}$ — результирующий магнитный поток генератора;
 $R_{\text{я}}$ — активное сопротивление якорной обмотки;
 $R_{\text{в}}$ — активное сопротивление обмотки возбуждения;
 $L_{\text{я}}$ — индуктивное сопротивление якорной обмотки;
 u_d — напряжение на зажимах двигателя;
 $u_{\text{вдп}}$ — напряжение на зажимах ВДП;
 σ — коэффициент рассеяния главных полюсов;
 $\Phi_{\text{м}}$ — магнитный поток при холостом ходе машины;
 $\Phi_{\text{ря}}$ — магнитный поток реакции якоря;
 $\omega_{\text{в}}$ — число витков обмотки возбуждения;
 J_d — момент инерции двигателя.

Для проверки адекватности сформированной математической модели выполнены экспериментальные исследования: фиксировались параметры токов линейного преобразователя, вольтдобавочной машины и тока двигателя. Результаты сопоставления математической модели и экспериментальных исследований приведены в таблице 1. Экспериментальные исследования выполнены только для нагрузочных режимов, остальные виды испытаний не рассматривались, подробно описаны в следующих источниках [3–5].

Таблица 1. Результаты сопоставления математической модели и экспериментальных исследований

Режим нагрузки	$I_{\text{лп}}, \text{A}$	$I_{\text{лп}}^*, \text{A}$	$\delta_{I_{\text{лп}}}, \%$	$I_{\text{вдп}}, \text{A}$	$I_{\text{вдп}}^*, \text{A}$	$\delta_{I_{\text{вдп}}}, \%$	$I_{\text{д}}, \text{A}$	$I_{\text{д}}^*, \text{A}$	$\delta_{I_{\text{д}}}, \%$
1	1,72	1,84	7,0	12,96	13,1	1,1	15	15,5	3,3
2	1,8	1,9	5,8	9,6	10,4	6,2	12	12,8	6,7
3	2,04	2,12	4,7	8	8,25	1,9	10	10,6	6,0
4	2,28	2,35	4,1	5,28	5,39	0,8	7,72	7,84	1,6

Как видно из таблицы 1, максимальное относительное отклонение результатов моделирования и эксперимента составляет 7%, что не превышает максимальную погрешность, принятую в инженерных расчетах.

Пример реализации сформированной математической модели выполнен для испытания по методу взаимной нагрузки тяговых двигателей постоянного тока типа ТЛ-2К1.

Исходные данные для моделирования приведены в таблице 2.

Результаты математического моделирования процесса испытаний тяговых двигателей постоянного тока типа ТЛ-2К1 на нагрев, при реализации метода взаимной нагрузки, приведены на рисунке 3. При этом моделирование проводилось, как регламентирует ГОСТ 2582–81 [4],

Таблица 2. Исходные данные для моделирования

Тип ТЭД	Rя, Ом	Rгп, Ом	Rдп, Ом	Rко, Ом	ΣR , Ом
ТЛ-2К1	0,0317	0,0268	0,01022	0,0263	0,09522

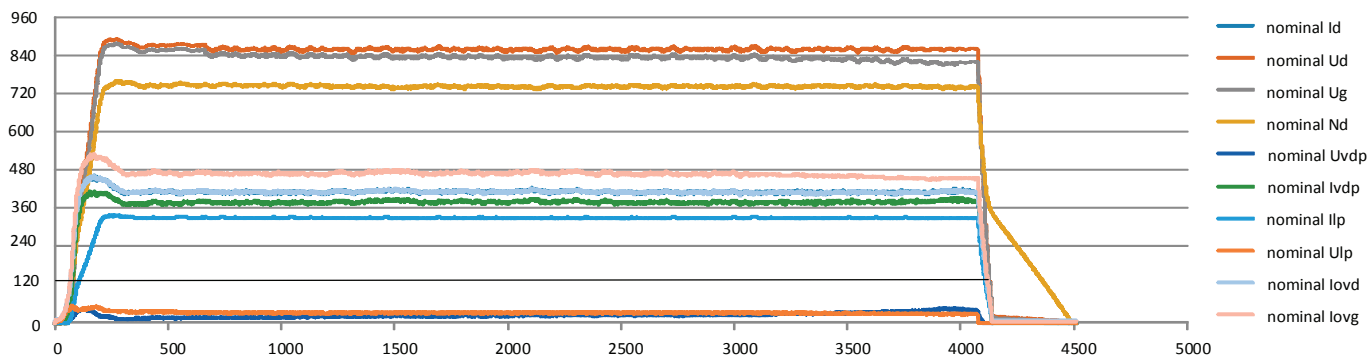


Рис. 3. Результаты математического моделирования процесса испытаний на нагрев тягового двигателя типа ТЛ-2К1

в процессе которого фиксировались токи, напряжения, частота вращения тяговых двигателей и время испытания (часовой режим).

В заключении стоит отметить, что математическая модель требует более глубокой проработки, а для модели-

рования процесса испытаний тяговых двигателей постоянного тока требуется проведение экспериментальных исследований, которые будут направлены на корректировку существующей модели с целью повышения ее адекватности.

Литература:

1. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве 4 изд., сокр. и перераб. — Л.: Энергоатомиздат, 1984—408 с., ил.
2. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. / И. П. Копылов. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с.: ил.
3. ГОСТ 11828—86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний.
4. ГОСТ 2582—81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия — М., 1981. 37 с.
5. ГОСТ 8865—93. Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация.

Окислительная газификация частиц смолисто-сажевого аэрозоля в камере-дожигателе установки плазменной переработки твердых радиоактивных отходов

Маркелов Алексей Юрьевич, аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (г. Москва)

Бобраков Антон Николаевич, аспирант

Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва)

Анпилов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук;

Кудринский Алексей Александрович, кандидат химических наук, старший научный сотрудник

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Ширяевский Валерий Леонардович, кандидат физико-математических наук, ведущий специалист

Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (г. Москва)

Газообразные продукты плазменного пиролиза твердых радиоактивных отходов (ТРО) требуют дополнительной очистки. Для этого в плазменных установках переработки ТРО предусмотрено направление пирогаза в камеру-дожигатель. В статье представлены результаты численного моделирования эффективности окислительной очистки пирогаза от частиц смолисто-сажевого аэрозоля.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, плазменная переработка, смолисто-сажевый аэрозоль, высокотемпературное окисление

Утилизация твердых радиоактивных отходов (ТРО), образуемых в процессе функционирования и вывода из эксплуатации атомных электростанций (АЭС), является неотъемлемой частью процесса получения электроэнергии на АЭС. Захоронение больших количеств ТРО в защищенных хранилищах неэффективно и с экономической, и с экологической точек зрения [1], поэтому сокращение объема ТРО становится весьма актуальной задачей, успешное решение которой необходимо для сохранения и усиления темпов развития атомной энергетики.

К перспективным технологиям компактирования ТРО относится технология пиролиза твердых слабо и средне-радиоактивных отходов с использованием плазменных источников нагрева — электродуговых плазмотронов. Применение плазменного пиролиза позволяет уменьшить объем отходов, подлежащих захоронению, в 80 раз и более, позволяет получать на выходе пригодный для транспортировки и долгосрочного захоронения остеклованный шлак, обладающий высокой механической прочностью и химической стойкостью.

В России плазменный пиролиз ТРО реализован в опытно-промышленных шахтных печах «Пиролиз» и «Плутон» [2, 3], а также в шахтной печи в «Опытно-демонстрационном инженерном центре по выводу из эксплуатации» (ОДИЦ) Нововоронежской АЭС.

Несмотря на высокую эффективность плазменной конверсии ТРО в шлак и низкомолекулярные газообразные соединения, в пирогазе, отводимом из шахтной печи, содержится заметное количество твердых аэрозольных частиц ($2-8 \text{ г/м}^3$), в том числе сажи, пиролизных смол ($2-25 \text{ г/м}^3$), углеводородов ($5-56 \text{ г/м}^3$) [1-3]. Таким образом, газообразные продукты плазменного пиролиза ТРО требуют дополнительной очистки. Для этого в процессе эксплуатации российских плазменных установок переработки ТРО предусмотрено направление пирогаза в камеру-дожигатель, где его подвергают воздействию пламени горелки или высокотемпературной плазменной струи, что должно обеспечивать как можно более полное окисление сажи, смол, углеводородов и их производных.

В работе [4] проведено моделирование сгорания частиц смолисто-сажевого аэрозоля внутри камеры-дожигателя в результате взаимодействия углеродсодержащих частиц с кислородом, поступающим с плазмообразующим газом. Построенная модель позволяет проводить расчет поля температур внутри камеры-дожигателя, концентрации компонентов газовой фазы и частиц сажевого аэрозоля. Эта модель на качественном уровне верно предсказывает основные закономерности очистки пирогаза в камере-дожигателе, тем не менее, она имеет ряд существенных недостатков, затрудняющих ее использование для количественных расчетов, а именно, предложенная в работе [4] модель не

учитывает взаимодействие частиц смолисто-сажевого аэрозоля с водяным паром и углекислым газом, которые являются компонентами пирогаза, а также не учитывает влияние изменения площади поверхности частиц аэрозоля в процессе газификации. Все эти упрощения не позволяют использовать модель [4] для количественного моделирования работы камеры-дожигателя, хотя проведение таких расчетов необходимо для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации установки плазменной переработки ТРО.

В настоящей работе предложены уточнения ранее разработанной модели [4], позволяющие в процессе численного моделирования функционирования камеры-дожигателя учитывать взаимодействие углеродсодержащих частиц с различными компонентами пирогаза и плазмообразующего газа, а также учитывать влияние размера частиц сажи на интенсивность процесса газификации.

Модель функционирования камеры-дожигателя

В работе [5] было показано, что использование термодинамического моделирования позволяет с достаточной точностью описывать изменения состава пирогаза, отводимого из установки «Плутон», при различных режимах переработки радиоактивных отходов. Тем не менее предположение о псевдоравновесном составе пирогаза не позволяет достоверно рассчитать содержание таких минорных компонентов, промежуточных продуктов плазменной конверсии ТРО, как твердые частицы сажи и пиролизные смолы. В связи с этим, для адекватного моделирования сгорания таких примесей необходимо использовать кинетическое моделирование процессов, сопряженное с анализом динамики газовых потоков и процессов тепло- и массообмена в камере-дожигателе.

Основным компонентом пирогаза, отводимого из шахтной печи в процессе переработки ТРО является оксид углерода (II) CO (таблица 1) — до 20 об.%, что было учтено при выборе модельного состава пирогаза, подаваемого в камеру-дожигатель.

Геометрия камеры-дожигателя представлена детальной трехмерной компьютерной моделью (рис. 1). Камера-дожигатель представляет из себя цилиндрическую камеру сгорания с двумя входами: через первый («Вход 1») подается нагретый в плазмотроне воздух, через второй («Вход 2») — пирогаз с дисперсной фазой — частицами сажи с характерным размером частиц 10 мкм. Продукты горения выходят через отверстие в верхней части камеры-дожигателя («Выход»). Граничные условия на входе в расчетную область представлены в таблице 2. В качестве граничного условия на выходе выбрано давление, равное атмосферному.

Трехмерную модель камеры-дожигателя разбивали на расчетную конечно-объемную сетку в пакете программ

Таблица 1. Состав осушенного пирогаза, отводимого из шахты установки «Пиролиз» при переработке модельных РАО и из шахты установки «Плутон» при переработке низкорadioактивных отходов [1–3], влажность пирогаза до осушки составляет 15–20 об.%

Компонент	Содержание		
	Переработка ТРО с высоким содержанием полиэтилена на установке «Пиролиз»	Переработка ТРО с высоким содержанием ионообменных смол на установке «Пиролиз»	Переработка РАО на установке «Плутон»
CO	12,2 об.%	3–12 об.%	8–20 об.%
CO ₂	4,3 об.%	4–6 об.%	2–5 об.%
O ₂	5,3* об.%	**	3–7 об.%
H ₂	9,4 об.%	2–7 об.%	8–15 об.%
N ₂	68,8 об.%	74,7–81,0 об.%	**
HCl	26 мг/м ³	100 мг/м ³	**
SO _x	50 мг/м ³	10000 мг/м ³	**
NO _x	110 мг/м ³	60 мг/м ³	**
H ₂ S	**	300 мг/м ³	**
HCN	**	250 мг/м ³	**

* следствие проскока воздуха при загрузке отходов в шахтную печь;
 ** в публикациях [1–3] данные не приведены.

Таблица 2. Параметры газовых сред на входе в камеру-дожигатель

Номер входа	Расход, м ³ /ч	Объемная доля, %						Содержание сажи, мг/м ³	Температура, °C
		O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O		
1	70	78	21	0	0	0	0	2790	
2	200	0	58	12	3	10	17	300	

Star-CCM+ (Finite Volume Method). При выборе среднего расстояния между узлами сетки учитывались ожидаемые особенности течения вблизи твердых границ. Для улучшения сходимости и повышения точности расчета сетку сгущали в областях, значительно влияющих на характер течения. Количество ячеек, использованных для создания сетки в данной работе, составило более 140 тыс. Характерный вид построенной сетки, использованной при проведении расчётов, представлен на рис. 1.

Расчет проводили путем численного решения стационарных уравнений газовой динамики с рейнольдсовым усреднением турбулентных пульсаций (RANS) совместно с уравнениями переноса тепла с помощью пакета Star-CCM+, химические реакции окисления частиц сажи и монооксида углерода описывали дополнительно введенными уравнениями (Field Functions), описывающими объемные источники массы и тепла. Использовали k-ε модель турбулентности. Уравнения решали численно ме-

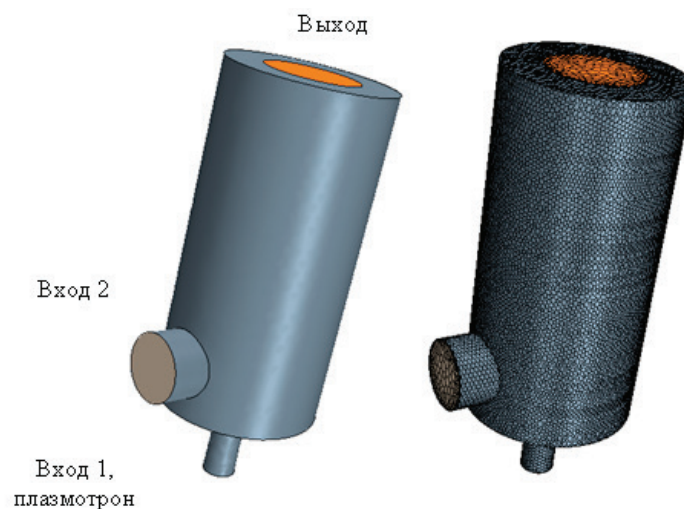


Рис. 1. Трехмерная модель камеры дожигателя (слева) и конечно-объемная расчетная сетка (справа)

тодом конечных объемов. Среду моделировали как смесь вязких, теплопроводных, сжимаемых газов. Все стенки считали технически гладкими и непроницаемыми.

Физические модели сред выбирали из предлагаемого STAR CCM+ набора моделей для описания физико-химических процессов в газовых средах. В качестве компонентов газовой композиции рассматривались O_2 , N_2 , CO , H_2O , H_2 , CO_2 , модель сжимаемости газов — идеальный газ.

При моделировании частиц смолисто-сажевого аэрозоля применяли подход Лагранжа.

Скорость газофазных реакций рассчитывали с использованием метода стационарных концентраций. Скорость реакции окисления монооксида углерода задавали следующими объемными массовыми источниками:

$$\dot{M}(CO) = -2 \cdot \mu_{CO} \cdot k \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}} \cdot \beta_{CO} \cdot \beta_{O_2} \cdot \rho^2,$$

$$\dot{M}(O_2) = -\mu_{O_2} \cdot k \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}} \cdot \beta_{CO} \cdot \beta_{O_2} \cdot \rho^2,$$

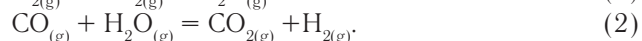
$$\dot{M}(CO_2) = 2\mu_{CO_2} \cdot k \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}} \cdot \beta_{CO} \cdot \beta_{O_2} \cdot \rho^2,$$

где μ_{CO} , μ_{O_2} , μ_{CO_2} — молярные массы компонент смеси, β_{CO} и β_{O_2} — массовые доли газов CO и CO_2 соответственно, ρ — плотность смеси газов; и объемным источником тепла:

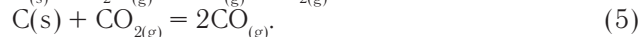
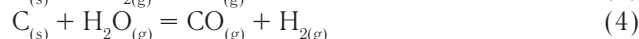
$$\dot{Q} = \Delta_r H \cdot k \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}} \cdot \beta_{CO} \cdot \beta_{O_2} \cdot \rho^2,$$

где $\Delta_r H$ — изменение энтальпии при протекании реакции окисления CO .

Аналогичным образом задавали скорость реакции окисления водорода и реакции паровой конверсии CO :



Кинетическое моделирование газификации частиц смолисто-сажевого аэрозоля $C_{(s)}$ в камере-дожигателе включало расчет скорости протекания следующих процессов:



Скорость каждого из процессов описывали уравнением Аррениуса, модифицированным для описания взаимодействия конденсированной фазы с газовой:

$$\dot{M}(C) = -k_i \cdot p(G)^{c_i} \cdot S(C) \cdot e^{-\frac{E_{A,i}}{RT}},$$

где $\dot{M}(C)$ — скорость изменения массы частицы $M(C)$, k_i — предэкспоненциальный множитель, характеризующий скорость соответствующей химической реакции (3)-(5),

$E_{A,i}$ — энергия активации соответствующей химической реакции, $p(G)^{c_i}$ — парциальное давление газообразного реагента G в газовой смеси в степени c_i , соответствующей стехиометрическому коэффициенту, $S(C)$ — площадь поверхности частицы, $S(C) = \sqrt[3]{36\pi \cdot M(C)^2}$, R — универсальная газовая постоянная, T — температура.

Для расчета скорости реакций использовали кинетические данные, приведенные в [6–8].

Результаты моделирования

Результаты численного моделирования кинетики химических процессов в дожигателе свидетельствуют о том, что скорость реакции окисления компонентов пирогаза кислородом, поступающим в дожигатель с плазмообразующим газом лимитируется скоростью смешения газовых потоков. Это приводит к образованию четко выраженного факела, в пределах которого кислород полностью расходуется в реакциях горения (рис. 2а), при этом результаты моделирования процесса переноса смолисто-сажевого аэрозоля свидетельствуют о том, что существенная часть частиц проходит камеру-дожигатель, минуя факел плазмотрона (рис. 2б).

Это приводит к тому, что газификация твердых частиц сажи в процессе дожига пирогаза происходит, в основном,

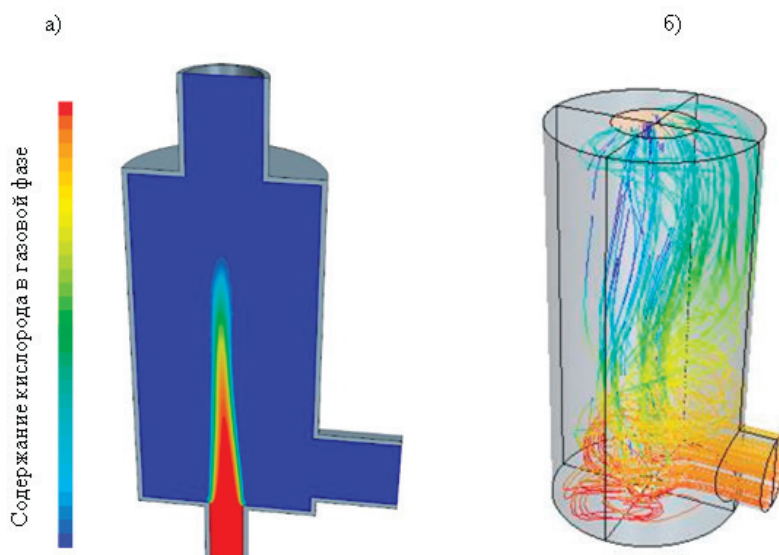


Рис. 2. Распределение кислорода в камере-дожигателе (а) и треки дисперсных частиц сажи (б) при мощности плазмотрона 50 кВт

не за счет быстрого сгорания в кислородсодержащей атмосфере, а за счет более медленного взаимодействия с водяным паром и углекислым газом — реакций (4) и (5) соответственно.

Основным способом управления эффективностью работы камеры-дожигателя установки плазменной переработки ТРО является регулирование мощности плаз-

мотрона, нагревающего воздух, подаваемый в камеру, в пределах 50–200 кВт. Параметры работы плазмотрона в различных режимах, а также результаты расчета остаточного содержания частиц смолисто-сажевого аэрозоля в отводимом из дожигателя газе в каждом из этих вариантов функционирования установки приведены в таблице 3.

Таблица 3. Режимы проведения дожига пирогаза и результаты расчета состава газовой смеси на выходе из камеры-дожигателя, расход пирогаза через «Вход 2» 200 м³/ч, содержание сажи в подаваемом пирогазе 10 мг/м³

Электрическая мощность плазмотрона, кВт	Расход плазмообразующего газа — воздуха, нм ³ /ч	Содержание сажи в отводимом газе, мг/м ³	Температура газа на выходе из камеры-дожигателя, °С
50	35	6,8	1230
100	70	4,1	1480
150	105	0,2	1850
200	140	0,0	2200

Из таблицы 3 видно, что проведение дожига при мощности плазмотрона 50 и 100 кВт не позволяет обеспечить полную газификацию частиц сажи, в то же время при мощности 150 кВт более 97% сажи элиминируется из пирогаза. Такой режим работы камеры-дожигателя можно считать оптимальным, поскольку он, с одной стороны, позволяет достичь приемлемой степени очистки пирогаза от твердых горючих частиц и, с другой стороны, предотвратить чрезмерный перегрев стенок камеры-дожигателя и избежать неоправданно большого расхода электроэнергии в плазмотроне, что в свою очередь позволит увеличить срок службы как камеры-дожигателя, так и плазмотрона.

Заключение

Была дополнена и уточнена модель функционирования камеры-дожигателя установки плазменной переработки ТРО. Для заданной конфигурации устройства дожига пирогаза установки плазменной переработки ТРО проведено моделирование тепло- и массообмена внутри камеры-дожигателя с учетом протекания химических реакций в газовой фазе, а также процессов взаимодействия частиц смолисто-сажевого аэрозоля с кислородом, водяным паром и углекислым газом. Определены характеристики процесса окисления дисперсной составляющей потока пирогаза — частиц сажи. Построенная модель позволяет проводить расчет поля температур внутри камеры-дожигателя, концентрации компонентов газовой

Сравнивая результаты проведенного моделирования со сведениями из работы [4] можно заключить, что учет дополнительных факторов, отсутствующих в модели [4], позволил сделать вывод о том, что газификация частиц смолисто-сажевого аэрозоля происходит, в целом, более медленно, чем следует из результатов упрощенного моделирования. Таким образом, использование уточненной модели функционирования камеры-дожигателя более предпочтительно для поиска режимов, обеспечивающих гарантированное достижение заданной степени очистки пирогаза от частиц аэрозоля.

фазы и частиц сажевого аэрозоля. Показано, что оптимальная мощность плазмотрона, при которой достигается гарантированное элиминирование твердых горючих компонентов пирогаза, составляет 150 кВт. Показано, что использование уточненной модели функционирования камеры-дожигателя более предпочтительно для поиска режимов, обеспечивающих гарантированное достижение заданной степени очистки пирогаза от частиц аэрозоля.

Коллектив авторов выражает свою признательность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку выполняемой работы (грант РФФИ № 15–08–09348)

Литература:

1. M. A. Polkanov, K. N. Semenov and others. Comparative Analysis of Treatment of Solid Radioactive Waste of Nuclear Power Plant // WM2011 Conference. — Phoenix, AZ, 2011. — P. 11470.
2. S. A. Dmitriev, F. A. Lifanov, A. Eu. Savkin, V. N. Popkov, M. A. Polkanov, V. A. Gorbunov, N. A. Spirin, Yu. A. Oskolkov, M. Yu. Burov, S. Yu. Shvetsov. Plasma plant for radioactive waste treatment // WM'01 conference. — Tucson, 2001.
3. М. А. Полканов. Плазменно-пиролитическая переработка твердых РАО // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2012. — № 1. — С. 89–93.

4. С. В. Анпилов, А. Н. Бобраков, А. А. Кудринский, А. Ю. Маркелов, В. Л. Ширияевский. Моделирование процесса окислительной очистки пирогаза в камере-дожигателе установки плазменной переработки твердых радиоактивных отходов // *Тепловые процессы в технике*. — 2016. — № 4. — С. 187–200.
5. А. Н. Бобраков, А. А. Кудринский, А. В. Переславцев, В. Л. Ширияевский, Ю. А. Крутяков. Возможности и перспективы термодинамического моделирования процессов плазменной переработки твердых органических отходов в шахтной печи // *Экология и промышленность России*. — 2013. — № 9. — С. 46–51.
6. NIST Chemical Kinetics Database. Standard Reference Database 17. Version 7.0 (Web Version). Release 1.6.8. Data Version 2015.09.
7. S. — H. Chi, G. — C. Kim. Comparison of the oxidation rate and degree of graphitization of selected IG and NBG nuclear graphite grades // *J. Nucl. Mat.* — 2008. — V. 381. — P. 9–14.
8. В. Е. Рiede, D. Hanesian. Kinetic Study of carbon-steam reaction // *Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop.* — 1975. — V. 14. — № 1. — P. 70–74.

Применение беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера

Попова Лена Николаевна, магистрант

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (г. Якутск)

Использование современного оборудования, в частности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), для создания топографического плана местности позволяет за минимальное время выполнить съемку и последующую камеральную обработку материалов, что в свою очередь существенно повышает производительность работ. Одним из сдерживающих факторов внедрения таких аппаратов в Республике Саха (Якутия) является отсутствие у многих организаций практического опыта их использования, а также отсутствие теоретически обоснованных рекомендаций по выбору съемочной аппаратуры для БПЛА и параметров выполняемой с их помощью аэрофотосъемки. Целью работы является анализ возможности использования беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера.

Беспилотный летательный аппарат — в общем случае это летательный аппарат без экипажа на борту. Понятие летательный аппарат включает в себя большое число типов, у каждого из которых есть свой беспилотный аналог. В данной работе под определение БПЛА попадает более узкое понятие. А именно: летательный аппарат без экипажа на борту, использующий аэродинамический принцип создания подъемной силы с помощью фиксированного или вращающегося крыла (БПЛА самолетного и вертолетного типа), оснащенный двигателем и имеющий полезную нагрузку и продолжительность полета, достаточные для выполнения специальных задач [1, с. 1].

Рассмотрено два случая получения топографического плана масштаба 1:1000 административной территории с. Усть-Миль Усть-Майского улуса площадью 90 га:

- а. наземная съемка (топографическая съемка), производимая методами тахеометрии, горизонтальной и вертикальной съемкой с помощью электронного тахеометра;
- б. аэрофотосъемка, производимая с помощью БПЛА «Птеро-Е4» с дальнейшей его фотограмметрической обработкой на комплексе PHOTOMOD GeoMosaic.

Место работы

Климат района — субарктический, с длительной и холодной зимой (октябрь — апрель) и коротким летом. Село Усть-Миль находится от административного центра Усть-Майского улуса — Усть-Мая в 131 км. По характеру рельефа территория относится к горному типу речных долин. Ежегодно в районе работ наблюдается в среднем 60 дней с туманами, 10 дней с грозами, 12 дней с метелями. Основная транспортная артерия — р. Алдан, вскрытие которой происходит в мае, ледостав в начале октября. Дорожная сеть представлена зимником с. Усть-Миль — п. Усть-Мая, в межсезонье самолётом АН-2, летом водным путём. Время действия зимника ноябрь-апрель [5].

На основании данных фактов, в связи с коротким сезоном съемочных работ (примерно 100 дней), также со сложной транспортной обстановкой, можно прийти к выводу, что для районов Крайнего Севера следует использовать новейшие технологии. Так, «традиционные» методы инструментальной съемки с использованием электронных тахеометров зачастую занимают продолжительное время и связаны со значительными издержками. Особенно недостатки инструментальной съемки очевидны при проведении полевых работ на значительных по площади труднопроходимых объектах, когда стоит задача в короткие сроки получить топографические планы масштаба 1:500, 1:1000, 1:2000 [6].

«Традиционная» наземная съемка

На район работ имеются топографические карты масштаба 1:25000 и мельче. Государственная геодезическая сеть представлена пунктами триангуляции 2-го класса и пунктами полигонометрии 2 разряда. Топографическая съемка была проведена методами тахеометрии, горизонтальной и вертикальной съемками в масштабе 1: 1000

с высотой сечения рельефа 0,5 м. Камеральная обработка геодезических измерений была выполнена в программном комплексе «CREDO». Топографо-геодезические работы были выполнены в Местной 3-х градусной системе координат 1988 г. и Балтийской системе высот 1977 г.

В процессе инженерно-геодезических изысканий были выполнены следующие виды и объемы работ:

- горизонтальная съемка застроенной территории М 1:1000–90 га;
- вертикальная съемка застроенной территории М 1:1000–90 га;
- тахеометрическая съемка М: 1:1000–90 га;
- камеральная обработка и составление технического заключения.

Съемочное геодезическое обоснование было создано системой теодолитных ходов от птр. (пункт триангуляции) Куранах, пп. 0057. Расстояния и углы в ходах измерялись тахеометром NIKON NPL-352, характеристики которого приведены в таблице 1. Расхождение значений углов из полуприемов не превышают 22 секунд. Высотное обоснование создано тригонометрическим нивелированием тахеометром NIKON NPL-352 системой ходов между исходными пунктами. Тахеометрическая съемка местности выполнялась также тахеометром NIKON NPL-352. Съемка рельефа и ситуации выполнялась с точек съемочного обоснования полярным методом. Полевые работы по топографической съемке сочетались с камеральной обработкой съемки.

Таблица 1. Основные характеристики тахеометра NIKON NPL-352

Точность угловых измерений	5»
Увеличение зрительной трубы	26х
Компенсатор	Двухосевой диапазон работы 3'
Точность линейных измерений	3мм + 2мм/км (с отражателем) 5мм + 2мм/км (без отражателя)
Дальность линейных измерений	5000м (одна призма)
Дальность линейных измерений	300м (без отражателя)
Время работы батареи	15ч (при +20°С)
Размер	16,8см x 17,3см x 34,7см
Масса	5,3 кг

Составленный план проверен на местности визуальным сличением и контрольными промерами и измерениями. Расхождения не превышают 0,3 мм в масштабе плана.

Аэрофотосъемка

Аэрофотосъемочные работы были выполнены с использованием комплекса «Птеро» разработки компании «АФМ–Серверс». Основные характеристики аппарата представлены в таблице 2.

Выполнение топографической съемки состояло из следующих этапов:

- подготовительные работы;
- выполнение полетов;
- обработка полученных результатов.

К подготовительным работам относятся создание и координирование опознавательных знаков на земной поверхности в контуре выполнения съемки. Опознавательный знак имеет простую, крестообразную конструкцию, размеры её зависят от высоты полета БПЛА. Цвет и размеры опознавательного знака рассчитываются заведомо, чтобы на темной поверхности он был ярких тонов. Опознавательные знаки были расставлены так, чтобы их покрытие было равномерным по всему периметру границы съемки. Измерение координат опознавательных знаков производилось при помощи ГНСС приемников относительным методом спутникового позиционирования. Базовая станция устанавливалась в непо-

средственной близости к участку проведения работ (около двух километров).

В соответствии с требованиями отраслевых инструкций [3], для получения топографического плана масштаба 1:1000 необходима фотооснова, имеющая разрешение 15 см/пикс и имеющая погрешность определения координат в каждой точке не выше 60 см. На летательном аппарате «Птеро» была установлена камера Canon EOS5D Mark II, матрица 36x24 мм, приблизительно 21,1 млн пикселей, объектив с фокусным расстоянием 50 мм и настройкой фокусировки на бесконечность.

Съемка выполнялась по заранее заданным маршрутам с проектными перекрытиями 60 и 40%, размер пикселя на местности планировался примерно 0,07 м, высота залета над местностью составила 200 метров. Повышенные значения продольных и поперечных перекрытий определяется тем, чтобы по возможности исключить разрывы в фототриангуляционном блоке, связанные с неустойчивостью носителя. Цифровая фотокамера была подвергнута процедуре фотограмметрической калибровки, в результате которой были определены элементы внутреннего ориентирования фотокамеры и параметры фотограмметрической дисторсии объектива. Снимки были получены в форматах RAW и JPEG размером 4592 × 3056 пикселей. По полученным результатам построения сети фототриангуляции можно сделать вывод о стабильности выдерживания параметров полета.

Оценка точности построения сети фототриангуляции выполнялась по расхождениям координат и высот связующих

точек, расположенных в зонах тройного перекрытия снимков и межмаршрутного перекрытия и по расхождениям координат и высот на опорных точках. Средние квадратические погрешности определения координат X, Y и высот Z связующих точек

получились 0,11 м, 0,11 м и 0,20 м соответственно. Средние квадратические погрешности определения координат X, Y и высот Z, вычисленные по расхождениям на опорных точках составили соответственно 0,21 м, 0,25 м и 0,8 м.

Таблица 2. Основные характеристики беспилотного летательного аппарата «Птеро-Е4»

Производитель	«АФМ–Серверс», Россия, Москва.
Масса пустого, кг	9,5
Макс. взлетная масса, кг	20
Размах крыла, м	3,03
Тип двигателя	Вентильный электродвигатель
Макс. дальность полета, км	130
Рабочая высота полета, м	Минимальная безопасная высота 80, до 1км (зависит от задач)
Практический потолок (высота), м	2000
Время полета, ч	Электрический вариант (Птеро-Е4) — 1,5 Бензиновый вариант (Птеро_Г0) — 6
Скорость, км/ч	85–115 (крейсерская), 180 (максимальная)
Бортовое оборудование и полезная нагрузка	В зависимости от выполняемых задач можно установить: фотокамеру CANON5D (12 мегапикселей) с различными объективами; тепловизор VarіoCAM hr head 480; высокоточный GPS приемник TOPCON ерго 160; лазерный дальномер собственной разработки до 600м с разрешением 1м; фотовспышку собственной разработки для ночной съемки с высот 100–150м; либо другую полезную нагрузку весом до 3кг с габаритами, позволяющими разместить в отсеке полезной нагрузки.

Результаты

Общее количество дней при выполнении работ путем наземной съемки местности составляет 33 дня, а при выполнении работ путем аэрофотосъемки с помощью БПЛА

«Птеро-Е4» — 17 дней. Таким образом, работы с помощью БПЛА по сравнению с наземной съемкой были выполнены вдвое быстрее. Сравнение сроков выполнения работ представлено в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение сроков выполнения работ

№	Наименование этапов работ	Срок выполнения		Отчетные документы
		Наземная съемка	Аэрофотосъемка	
1	Разработка программы производства работ	2 дня	2 дня	Программа производства работ
2	Получение сведений из Якутского УГК (обеспечивает заказчик)	Обеспечивает заказчик	Обеспечивает заказчик	Геоизученность, координаты и высоты исходных пунктов, сведения о системе координат и высот, материалы предыдущих съёмок
3	Рекогносцировка	2 дня	2дня	–
4	Создание планово-высотной съёмочной сети	5 дней	5дней	–
5	Топографическая съемка	14 дней	3 дня	–
6	Создание топографического плана	10 дней	5 дней	Топографический план М 1:1000 на электронном носителе

Когда местность для проведения геодезических работ занимает достаточно большую территорию, как правило, сотни гектаров, решение этих задач при помощи беспилотных летательных аппаратов является наиболее эффективным, чем наземные работы, которые очень трудоемки и могут занять много времени. Именно это достоинство дает огромное преимущество БПЛА перед на-

земной при выборе вида съемки в районах Крайнего Севера, а именно в Республике Саха (Якутия), где имеются необъятные пространства для работ с плохо развитой транспортной инфраструктурой. Еще одно важное достоинство использования БПЛА состоит в том, что получаемые данной технологией цифровые картографические материалы являются актуальными на момент съемки и не

несут устаревшую информацию, как обычно при использовании традиционных методов.

В ходе работы была доказана эффективность использования современного оборудования, в данном случае

беспилотных летательных аппаратов, в районах Крайнего Севера. В нашем случае применение БПЛА сократило проведение полевых съемок в три раза, камеральную обработку — в два раза.

Литература:

1. Зинченко, О. Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования // Ракурс. — 2011. — С. 12.
2. Обиралов, А. И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. — М.: Колос, 2006. — 335 с.
3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02–036–02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002. — 49 с.
4. Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500. — М.: Недра, 1985. — 98 с.
5. Официальный информационный портал РС (Я). [Электронный ресурс]. — Якутск. — Режим доступа: <http://old.sakha.gov.ru/node/12974>, свободный. — Загл. с экрана.
6. Создание ортофотопланов // Geoscan. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/application/geodesia/>.

Специальные фильтрокомпенсирующие устройства как метод борьбы с несинусоидальностью напряжения

Рогозина Дарья Анатольевна, студент;
Хворова Татьяна Станиславовна, студент
Омский государственный технический университет

Ключевые слова: несинусоидальность напряжения, специальные фильтрокомпенсирующие устройства, пассивные фильтры гармоник, активные фильтры гармоник

Несинусоидальность напряжения возникает в результате работы электроприемников с нелинейными сопротивлениями — тиристорные преобразователи, дуговые печи, магнитные усилители, сварочные установки, газоразрядные лампы, силовые трансформаторы, генерирующие в основном нечетные гармоники канонических порядков (соответствующие числу пульсаций выпрямленного тока) [1,2]. Высокий уровень высших гармоник оказывает вредное воздействие на качество и надежность работы электроприемников и сетей электроснабжения:

- возрастает потребление реактивной мощности за счет мощности искажения;
- увеличиваются потери в сети и в электроприемниках, например, в двигателях;
- происходит ускоренное старение изоляции электрических машин и аппаратов;
- ограничивается применение батарей косинусных конденсаторов вследствие возможных резонансных явлений на высоких частотах или перегрузки батарей по току;
- снижается эффективность устройств компенсации емкостных токов замыкания на землю, так как большие остаточные токи высших гармоник способствуют переходу однофазных замыканий в междуфазные;
- увеличиваются погрешности измерений счетчиков электроэнергии.

Поэтому поддержание необходимого качества электроэнергии имеет большое значение для всех систем электроснабжения.

Одним из наиболее существенных параметров, определяющих качество электрической энергии, является искажение синусоидальной формы кривой напряжения.

Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения, являющимся количественной оценкой отклонения напряжения от формы синусоиды. Он характеризуется формулой [3]:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_1} \cdot 100\%,$$

где $U_{(n)}$ — действующее значение n -й гармонической составляющей, U_1 — действующее значение 1-й гармонической составляющей;

- коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения $K_U(n)$. Он характеризуется формулой [3]:

$$K_U(n) = \frac{U_{(n)}}{U_1} \cdot 100\%.$$

где $U_{(n)}$ — действующее значение n -й гармонической составляющей, U_1 — действующее значение 1-й гармонической составляющей.

Для обеспечения допустимого уровня несинусоидальности напряжения возможно принятие следующих мер:

- выделение нелинейных нагрузок на отдельную секцию шин, подключенную к одной из обмоток многообмоточного трансформатора или реактора. В этом случае на шинах нелинейной нагрузки допустимое значение K_{uc} определяется только условиями надежной работы автоматических систем управления и самих нагрузок;

- объединение вентильных преобразователей в группы по схеме умножения фаз;

- использование оборудования, с пониженным уровнем генерации высших гармоник, например «ненасыщающихся» трансформаторов и многофазных вентильных преобразователей;

- использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ).

В данной статье рассмотрено применение специальных фильтрокомпенсирующих устройств, также известных как силовые фильтры гармоник (пассивные и активные фильтры гармоник), для повышения качества электрической энергии путем снижения несинусоидальности напряжения.

ФКУ, также известные как силовые фильтры гармоник, помимо ослабления высших гармоник токов и напряжений выполняют функции компенсации реактивной мощности, изменения напряжения в месте подключения.

В простейшем случае ФКУ представляет собой последовательно соединенные реактор и батареи статических конденсаторов (БСК). Параметры реактора и БСК выбирают так, чтобы их суммарное сопротивление равнялось нулю. Обычно на каждую гармонику необходим свой фильтр.

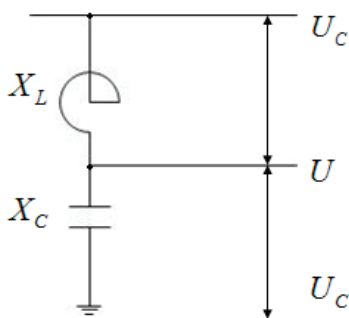


Рис. 1. Простейший силовой фильтр гармоник

Суммарное сопротивление фильтра на v -й гармонике $X_{\phi v} = X_{L v} + X_{C v}$ будет равно нулю при условии, что $X_{L v} = -X_{C v}$, так как $X_{L v} = v X_L$, $X_{C v} = X_C / v$, где X_L и X_C — сопротивления реактора и БСК на основной частоте. Следовательно, сопротивление фильтра на основной частоте носит емкостный характер:

$$X_{\phi} = X_L + X_C = X_C \left(1 - \frac{1}{v^2} \right).$$

Мощность такой конденсаторной установки несколько меньше мощности используемых в ней конденсаторов:

$$\frac{Q_{\phi}}{Q_H} = \frac{U^2 X_C}{X_C U_C^2} = \frac{v^2 - 1}{v^2},$$

однако вместе с генерацией реактивной мощности происходит снижение уровней высших гармоник. Напряжение на реакторе U_L (рисунок 1) составляет $U_L = U / (v^2 - 1)$, а на БСК — $U_C = v^2 / (v^2 - 1)$.

Напряжение U_L в процентах U для фильтров 5, 7, 11 и 13-й гармоник составляют соответственно 4,2; 2,08; 0,83 и 0,59%. Напряжение U_L на такие же величины превышает 100%.

ФКУ по виду используемых элементов делятся на пассивные и активные фильтры.

Пассивные фильтры гармоник (ПФГ) одновременно выполняют функции ослабления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности. Они имеют небольшую стоимость, также не требуют регулярного технического обслуживания. Однако ПФГ являются статическими устройствами, и при изменении параметров сети и гармонического состава токов и напряжений, их эффективность уменьшается. Также их недостатком является возможность появления резонанса в параллельном колебательном контуре, который образуется фильтром и индуктивностью питающей сети, на частотах, близких к частотам высших гармоник.

Активные фильтры гармоник (АФГ) — это коммутируемые устройства, характеристики которых формируются с помощью закона управления. Они представляют собой адаптивные устройства, с параметрами, которые изменяются в зависимости от характеристик нагрузки и режима работы сети. АФГ выполняют следующие функции: они подавляют высшие гармоники, корректируют коэффициент мощности, уменьшают фликер-эффект и т.д. АФГ используются крупными коммерческими и офисными потребителями, на электротранспорте.

Рассмотрим снижение несинусоидальности напряжения на примере АФГ более подробно.

Принцип действия АФГ основан на переключении индуктивности в зависимости от мгновенного напряжения

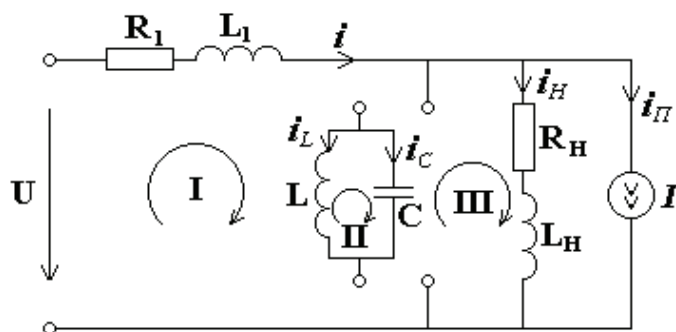


Рис. 2. Упрощенная однофазная схема замещения для составления математической модели

на нагрузке. Схема подключения устройства показана на рисунке 2. Здесь устройство представлено в виде элементов L и C , соединённых параллельно.

Перед тем, как устройство начинает функционировать, индуктивность подключается к источнику постоянного тока. При возникновении на зажимах нагрузки несинусоидального напряжения индуктивность отключается от источника постоянного тока и в зависимости от мгновенного значения напряжения первой гармоники $u^{(1)}$ включается в сеть. Если мгновенное значение напряжения сети u_p превышает значение первой гармоники ($u_p > u^{(1)}$), то индуктивность включается в сеть так, чтобы происходило накопление энергии в индуктивности. Если мгновенное значение напряжения меньше ($u_p < u^{(1)}$), то индуктивность подключается таким образом, чтобы энергия, запасённая в индуктивности, выдавалась в сеть.

Мгновенное значение напряжения первой гармоники вычисляется в блоке СУ. Там же происходит и сравнение мгновенных величин напряжений.

При переключении индуктивности напряжение на нагрузке становится пилообразным. Это следует из законов коммутации: ток в индуктивности не может измениться мгновенно, но напряжение на индуктивности при этом может значительно изменяться. Поэтому для сглаживания скачков напряжения на нагрузке параллельно индуктивности в данном устройстве подключается ёмкость. Из 2-го закона коммутации следует: напряжение на ёмкости

не может измениться мгновенно. Следовательно, ёмкость обеспечивает более плавное протекание переходных процессов, возникающих при переключении индуктивности. Тем самым снижается несинусоидальность напряжения.

Система уравнений, являющаяся математической моделью данного устройства и описывающая любые режимы работы активного фильтра, изображенной на рисунке 2:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{U - R_1 i - U_C}{L_1} \\ \frac{di_L}{dt} = \frac{U_C}{L} \\ \frac{di_H}{dt} = \frac{U_C - R_H i_H}{L_H} \\ \frac{dU_C}{dt} = \frac{i - i_L - i_H - i_{II}}{C} \end{cases}$$

Параметры устройства (L и C) могут изменяться в зависимости от входных параметров системы и нагрузки.

Вывод. Одной из основных причин несинусоидальности напряжения является широкое распространение устройств с нелинейными вольт-амперными характеристиками. Как один из способов снижения этого показателя является использование специальных фильтрокомпенсирующих устройств, обеспечивающих компенсацию реактивной мощности, подавление высших гармоник тока и напряжения, а также регулирование других показателей качества электроэнергии.

Литература:

1. И. В. Жежеленко. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — М.: Энергия, 1974. — 184 с.
2. Ю. С. Железко. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 176 с.
3. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2014–17 с.

Расчет флюидизационного аппарата для заморозки зеленого горошка

Романов Виктор Викторович, кандидат технических наук, доцент;
 Прохорова Анастасия Игоревна, магистрант;
 Копылова Ольга Александровна, магистрант
 Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

В последние годы сильный интерес у жителей России получают быстрого приготовления продукты. Внедряется мода на правильное питание и стремление к здоровому образу жизни твердят, что быстрое питание должно быть полезным и по возможности сбалансированным [1]. Этот факт и есть одной из основных причин развития рынка замороженных продуктов, а так же свежемороженых ягод и овощей.

Срок хранения быстрозамороженных продуктов выше, чем продуктов замороженных при обычной заморозке. Быстрозамороженные продукты сохраняют лучше свои качества при длительном хранении, чем свежие. Таким образом, технология шоковой заморозки обеспечивает сохранность качества свежего продукта, и делает это лучше других способов консервирования и хранения [2].

Рассчитаем флюидизационный аппарат для замораживания гороха, для начальных данных возьмем производительность $G = 1000 \text{ кг/ч} = 0,278 \text{ кг/с}$. Температура воздуха на входе в грузовой отсек аппарата $t_{\text{в}} = -30^{\circ}\text{C}$, начальная температура продукта $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$, а конечная $t_2 = -18^{\circ}\text{C}$.

Оптимальную скорость движения воздуха в грузовом отсеке флюидизационного аппарата определяют по формуле [3]

$$\begin{aligned} w_{\text{опт}} &= 2,25 + 1,95 \lg G_{\text{ед}} \\ w_{\text{опт}} &= 2,25 + 1,95 \lg 1,4 \\ w_{\text{опт}} &= 2,53 \text{ м/с}, \end{aligned} \tag{1}$$

где $G_{\text{ед}}$ — масса единичного продукта, г (для гороха, пригодного для заморозки $G_{\text{ед}} = 1,4 \text{ г}$).

Для устойчивой работы флюидизационного морозильного аппарата должно быть выполнено условие $w_{\text{кр1}} < w_{\text{опт}} < w_{\text{кр2}}$, где $w_{\text{кр1}}$ — начальная скорость флюидизации, м/с, $w_{\text{кр2}}$ — скорость, при которой возможен унос продукта из аппарата, м/с.

Значения этих скоростей определяют в зависимости от числа Архимеда по формулам

$$w_{\text{кр1}}' = \frac{v_{\text{в}}}{d_3} \cdot \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}, \tag{2}$$

$$w_{\text{кр2}}'' = \frac{v_{\text{в}}}{d_3} \cdot \frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}}, \tag{3}$$

где $v_{\text{в}}$ — кинематическая вязкость воздуха, м/с (при $t_0 = -40^{\circ}\text{C}$ $v_{\text{в}} = 10,8 \times 10^{-6} \text{ м/с}$); d_3 — диаметр наиболее крупной сферической части продукта, м (для горошка массой $G_{\text{ед}} = 1,4 \text{ г}$, $d_3 \approx 0,01 \text{ м}$).

Число Архимеда Ar определяют по формуле

$$Ar = \frac{g \cdot d_3^3 \cdot \rho_{\text{пр}}}{v_{\text{в}}^2 \cdot \rho_{\text{в}}}, \tag{4}$$

здесь $g = 9,81$ — ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{\text{пр}}$, $\rho_{\text{в}}$ — плотность соответственно продукта (для горошка $\rho_{\text{пр}} = 700 \text{ кг/м}^3$) и воздуха (при $t_{\text{в}} = -30^{\circ}\text{C}$ $\rho_{\text{в}} = 1,484 \text{ кг/м}^3$), кг/м³.

$$Ar = \frac{9,81 \cdot 0,01^3 \cdot 700}{(10,8 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1,484} = 4 \cdot 10^7,$$

$$w_{\text{кр1}}' = \frac{10,8 \cdot 10^{-6}}{0,01} \cdot \frac{4 \cdot 10^7}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^7}} = 1,25 \text{ м/с}$$

$$w_{\text{кр2}}'' = \frac{10,8 \cdot 10^{-6}}{0,019} \cdot \frac{4,04 \cdot 10^8}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{4,04 \cdot 10^8}} = 11,3 \text{ м/с}.$$

Оптимальная скорость движения воздуха в грузовом отсеке аппарата, найденная по зависимости (1), гарантирует устойчивую работу флюидизационного морозильного аппарата.

Коэффициент теплоотдачи от площади поверхности продукта к воздуху определяют из соотношения вида

$$Nu = 0,62 \cdot Re^{0,5} \text{ или } \frac{\alpha \cdot d_3}{\lambda_{\text{в}}} = 0,62 \cdot \frac{w_{\text{опт}}^{0,5} \cdot d_3^{0,5}}{v_{\text{в}}^{0,5}}, \text{ откуда}$$

$$\alpha = 0,62 \cdot \frac{\lambda_{\text{в}}}{d_3^{0,5}} \cdot \frac{w_{\text{опт}}^{0,5}}{v_{\text{в}}^{0,5}}, \tag{5}$$

$$\alpha = 0,62 \cdot \frac{0,0217}{0,01^{0,5}} \cdot \frac{2,53^{0,5}}{(10,8 \cdot 10^{-6})^{0,5}} = 64,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

где $\lambda_{\text{в}}$ — теплопроводность воздуха, при $t_{\text{в}} = -30^{\circ}\text{C}$,

Тепловая нагрузка от продукта при его замораживании можно найти по формуле:

$$Q_2 = \frac{(m \cdot c_0 \cdot (t_1 - t_{\text{кр}}) + m \cdot L + m \cdot c_3 \cdot (t_{\text{кр}} - t_2))}{3600}, \tag{6}$$

где c_0, c_3 — удельная теплоемкость продукта соответственно охлажденного (для гороха $c_0 = 3310 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) и замороженного (для гороха $c_3 = 1760 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$); $t_{\text{кр}}$ — температура начала замерзания соков в продукте, $^{\circ}\text{C}$ (для гороха $t_{\text{кр}} = -1,1^{\circ}\text{C}$); t_1 — начальная температура горошка ($t_1 = 10^{\circ}\text{C}$); L — скрытая теплота замораживания, Дж/кг, t_2 — температура хранения горошка ($t_2 = -18^{\circ}\text{C}$); m — почасовой грузооборот в сутки, кг/сутки, $m=1000\text{кг}$; 3600-количество минут в сутки.

Тогда,

$$Q_2 = \frac{(1000 \cdot 3310 \cdot (10 - 1,1) + 1000 \cdot 246000 + 1000 \cdot 1760 \cdot (1,1 + 18))}{3600} = 87,87 \text{ кВт},$$

Площадь поверхности решетки определяется по формуле:

$$F_{\text{р}} = \frac{Q_2}{w_{\text{онт}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}}, \tag{7}$$

где $c_{\text{в}} = 1012 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ — удельная теплоемкость воздуха; $\Delta t_{\text{в}}$ — температура нагрева воздуха в флюидизированном слое (в грузовом отсеке аппарата); ориентировочно составляет $\Delta t_{\text{в}} = 1 \div 3^{\circ}\text{C}$ (принимаяем $\Delta t_{\text{в}} = 2,8^{\circ}\text{C}$).

$$F_{\text{р}} = \frac{87877}{2,53 \cdot 1,484 \cdot 1012 \cdot 2,8} \approx 8 \text{ м}^2$$

Проектируем флюидизационный аппарат универсальным, т.е. для замораживания продуктов как в «кипящем» (флюидизированном), так и в плотном слоях. С этой целью поддерживающая решетка выполняется в виде непрерывной конвейерной ленты, изготовленной из плетеной сетки с ячейками размером 3×3 мм, выполненной из нержавеющей стали.

Ширину конвейерной ленты $B_{\text{р}}$ принимаем 0,8 м, тогда длина ленты:

$$L_{\text{р}} = \frac{F_{\text{р}}}{B_{\text{р}}} \tag{8}$$

$$L_{\text{р}} = \frac{8}{0,8} = 10 \text{ м}.$$

Высоту неподвижного слоя продукта на решетке ориентировочно принимаем $H_0 = 0,04 \text{ м}$.

Тогда масса продукта на решетке:

$$G_{\text{пр}} = H_0 \cdot F_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{н}} \tag{9}$$

где $\rho_{\text{н}}$ — насыпная плотность продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$ (для горошка $\rho_{\text{н}} = 700 \text{ кг}/\text{м}^3$).

$$G_{\text{пр}} = 0,04 \cdot 8 \cdot 700 = 224 \text{ кг}$$

Объем циркулирующего воздуха

$$V_{\text{в}} = F_{\text{р}} \cdot w_{\text{онт}} \tag{10}$$

$$V_{\text{в}} = 8 \cdot 2,53 = 20,24 \text{ м}^3/\text{с}$$

Масса циркулирующего воздуха:

$$G_{\text{в}} = V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \tag{11}$$

$$G_{\text{в}} = 20,24 \cdot 1,484 = 30,03 \text{ кг}/\text{с}$$

При расчете флюидизационного морозильного аппарата должно быть выполнено равенство:

$$Q_2 = Q_{\text{пр}} = Q_{\text{в}}, \tag{12}$$

где $Q_{\text{пр}}, Q_{\text{в}}$ — теплоприток соответственно от площади поверхности находящегося на решетке продукта и от замораживаемого воздухом продукта, Вт.

Теплоприток от площади поверхности находящегося на решетке продукта

$$Q_{\text{пр}} = \alpha \cdot F_{\text{пр}} \cdot \Delta t_{\text{м}}, \tag{13}$$

где F_{np} — площадь поверхности сферических частиц продукта, находящихся на решетке,

$$F_{\text{np}} = \frac{6 \cdot G_{\text{np}}}{\rho_{\text{np}} \cdot d_3} \quad (14)$$

$$F_{\text{np}} = \frac{6 \cdot 224}{700 \cdot 0,01} = 192 \text{ м}^2.$$

Теплоприток от замораживаемого воздухом продукта

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}} \quad (15)$$

$$Q_{\text{в}} = 30,03 \cdot 1012 \cdot 2,8 = 85,12 \text{ кВт}.$$

Продукт непрерывно вводится в аппарат с температурой $t_1 = 10^\circ\text{C}$ и непрерывно выводится из него с температурой $t_2 = -18^\circ\text{C}$. Интенсивное перемешивание частиц продукта в замораживаемом слое приводит к выравниванию температур отдельных частиц. С достаточной для инженерных расчетов точностью можно принять, что температура продукта постоянна по всему объему и равна температуре выходящего из аппарата продукта.

$$F'_{\text{np}} = \frac{Q_2}{\alpha \cdot \Delta t_{\text{м}}} \quad (16)$$

$$F'_{\text{np}} = \frac{87876}{64,82 \cdot 13,84} = 97,95 \text{ м}^2.$$

Тогда действительная масса находящегося на решетке продукта:

$$G'_{\text{np}} = \frac{G_{\text{np}} \cdot \rho_{\text{np}} \cdot d_3}{6} \quad (17)$$

$$G'_{\text{np}} = \frac{97,95 \cdot 700 \cdot 0,01}{6} = 114,3 \text{ кг}.$$

Действительная высота насыпного слоя на решетке

$$H'_0 = \frac{G'_{\text{np}}}{\rho_{\text{н}} \cdot F_{\text{р}}} \quad (18)$$

$$H'_0 = \frac{114,3}{700 \cdot 8} = 0,02 \text{ м}.$$

Действительная температура воздуха на выходе из грузового отсека аппарата определяется по формуле:

$$t'_{\text{в}2} = \frac{Q_{\text{np}}}{G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}}} + t_{\text{в}1} \quad (19)$$

$$t'_{\text{в}2} = \frac{172245}{30,03 \cdot 1012} - 30 = -24,33^\circ\text{C}$$

Прочность флюидизированного слоя продукта находят из зависимости:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot Re + 0,36 \cdot Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (20)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot 2342 + 0,36 \cdot 2342^2}{4 \cdot 10^7} \right)^{0,21} = 0,8645,$$

Здесь $Re = \frac{w_{\text{опт}} \cdot d_3}{\nu_{\text{в}}}$.

$$Re = \frac{2,53 \cdot 0,01}{10,8 \cdot 10^{-6}} = 2342.$$

Высота флюидизированного слоя продукта:

$$H_{\text{ф}} = H_0 \cdot \left(\frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} \right), \quad (21)$$

где ε_0 — порозность насыпного слоя (для горошка $\varepsilon_0 = 0,36$).

$$H_{\text{ф}} = 0,02 \cdot \left(\frac{1 - 0,36}{1 - 0,86} \right) = 0,0914 \text{ м},$$

Продолжительность замораживания продуктов сферической формы в аппарате τ определяют по формуле:

$$\tau = \frac{g_3 \cdot \rho_{\text{np}} \cdot d_3}{\tau_{\text{кр}} - t_c} \cdot \frac{d_3}{6} \cdot \left(\frac{d_3}{4 \cdot \lambda_3} + \frac{1}{\alpha} \right). \quad (22)$$

$$t_c = \frac{t_{\text{в}1} + t_{\text{в}2}}{2} \quad (23)$$

$$t_c = \frac{-30 + (-27,2)}{2} = -28,6^\circ\text{C}.$$

$$\text{Тогда } \tau = \frac{198764 \cdot 700}{-3,51 + 28,6} \cdot \frac{0,01}{6} \cdot \left(\frac{0,01}{4 \cdot 1,34} + \frac{1}{64,82} \right) = 162 \text{ с} = 2,7 \text{ мин.}$$

Длина аппарата:

$$L_a = L_v / 3 + D_6 + 2 \cdot \delta_z + 2 \cdot \delta_n, \quad (24)$$

где $D_6 = 0,3 \text{ м}$ — диаметр барабана транспортера; $\delta_z = 0,2 \text{ м}$ — зазор между барабаном и торцевыми стенками туннеля (со стороны загрузки и разгрузки); $\delta_n = 0,2 \text{ м}$ — толщина стенки аппарата с изоляцией.

$$L_a = \frac{10}{3} + 0,3 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 4,4 \text{ м},$$

Ширина аппарата:

$$B_a = B_p + B_v + 2 \cdot \delta_z + 2 \cdot \delta_n, \quad (25)$$

где B_p, B_v — ширина соответственно ленты транспортера и центробежного вентилятора, м (ориентировочно принимаем $B_p = B_v = 0,8 \text{ м}$).

$$B_a = 0,8 + 0,8 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 2,4 \text{ м},$$

Высота аппарата:

$$H_a = H_{\phi} + D_6 + H_{во} + 2 \cdot \delta_{z1} + 2 \cdot \delta_n \quad (26)$$

где $H_{во} \approx 2,8 \text{ м}$ — ориентировочная высота секции воздухоохладителя; $\delta_{z1} = 0,5 \text{ м}$ — зазоры по высоте аппарата.

$$H_a = 0,0914 + 0,3 + 2,8 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,2 \approx 4,60 \text{ м},$$

Теплоприток через ограждения аппарата составляет $Q_1 = 1,63 \text{ кВт}$.

Тепловой эквивалент работы вентиляторов воздухоохладителей ориентировочно принимают в размере 30% от Q_2 .

Тогда:

$$Q_4 = 0,3 \cdot 87,87 = 26,36 \text{ кВт}.$$

Теплоприток от поступающего в аппарат через окна загрузки и выгрузки воздуха принимают в размере 40% от Q_1 :

$$Q_4' = 0,4 \cdot 1634 = 0,656 \text{ Вт}.$$

Тогда:

$$Q_0 = 1,63 + 87,87 + 26,36 + 0,656 = 116,53 \text{ кВт}.$$

Разность между температурами воздуха и холодильного агента из-за сравнительно небольшого изменения температуры воздуха в грузовом отсеке аппарата ($\Delta t_n = 2,8^\circ\text{C}$) можно принять как среднюю арифметическую, и она составит при температуре кипения холодильного агента $t_0 = -40^\circ\text{C}$

$$\Delta t_0 = t_c - t_0 \quad (27)$$

$$\Delta t_0 = -28,6 + 40 = 11,4^\circ\text{C}.$$

$$\text{Тогда } F_{во} = \frac{116530}{13 \cdot 11,4} = 786,3 \text{ м}^2.$$

Для непрерывной работы морозильного аппарата воздухоохладитель изготавливают из шести самостоятельных секций, изолированных друг от друга специальными перегородками. Так как одна из них периодически отключается для оттаивания, в морозильном аппарате непрерывно работают только пять секций. Поэтому расчетная теплопередающая площадь поверхности каждой секции:

$$F_{во}' = \frac{F_{во}}{5} \quad (28)$$

$$F_{во}' = \frac{786,3}{5} = 157,3 \text{ м}^2.$$

Полагаем, что воздухоохладитель будет изготовлен из труб размером 38×25 мм, оребренных лентой толщиной 0,8 мм и высотой ребра 30 мм с шагом оребрения 20 мм. Площадь поверхности охлаждения одного погонного метра такой трубы составляет $f' = 076 \text{ м}^2/\text{м}$.

Литература:

1. Сборник примеров расчетов и лабораторных работ по курсу «Холодильное технологическое оборудование» / [Голланд М. М., Малеванный Б. Н., Печатников М. З., Плотников В. Т.]. — Легкая и пищевая пром-сть, 1981. — 168 с.

2. Голянд, М. М., Малеванный Б. Н. / Холодильное технологическое оборудование. Учеб. для вузов. — М.: Пищевая промышленность. — 1977 г. 336 с., ил.
3. Курылев, С. Е., Оносовский В. В., Румянцев Ю. Д. «Холодильные установки» Политехника. Санкт-Петербург, 2000 год.
4. Колач, С. Т. «Холодильное оборудование для предприятий торговли и общественного питания».

Использование технологии MFL для выявления коррозионных повреждений трубопроводов

Шаранова Дарья Александровна, аспирант
Санкт-Петербургский государственный горный университет

Большинство металлов имеет склонность к коррозии, поэтому важной задачей является контроль надежности трубопроводов, которые в результате коррозии могут разрушаться с катастрофическими последствиями. В статье рассмотрены вопросы применения технологии MFL для контроля коррозионных повреждений трубопроводов. Рассмотрены модели измерительных преобразователей.

Ключевые слова: питтинговая коррозия, метод рассеянного (вытесненного) магнитного потока MagneticFluxLeakage (MFL), многоканальный первичный измерительный преобразователь

Трубопроводы в процессе эксплуатации подвергаются комплексному воздействию давления, вибрации, температуры, агрессивных веществ, механическим нагрузкам и другим воздействиям, вызывающим повреждения (дефекты) с внешней и внутренней стороны стенки трубопроводов (коррозия, каверны, язвы, продольные и поперечные канавки, продольные и поперечные трещины и др. механические повреждения. При этом применение катодной защиты, а также ингибиторов коррозии зачастую затруднено и не всегда приводит к эффективному предотвращению коррозии. Нормативная документация предписывает периодическое освидетельствование трубопроводов для исключения серьезных аварий и катастроф. Проведение стопроцентного контроля состояния поверхности труб с внешней стороны сопряжено с большими финансовыми и техническими проблемами, в ряде случаев принципиально не возможно.

Представляется интерес применения метода MFL для контроля трубопроводов. Метод рассеянного (вытеснен-

ного) магнитного потока MagneticFluxLeakage (MFL), в ряде нормативных документов указывается как Flux-Leakage, является одним из основных методов магнитного вида НК для выявления:

- коррозионных повреждений (питтинговых или плоскостных) стенок изделий из черных металлов, главным образом трубопроводов и днищ цилиндрических резервуаров (например, нефтехранилищ);
- механических повреждений (продольных или поперечных разрывов или трещин с большим раскрытием) бесшовных и сварных труб, в том числе толстостенных;
- дефектов продольных сварных швов труб. [1,3,4,5]

Рассмотрим основные положения метода. При расположении П — образного постоянного магнита на некотором расстоянии от стенки ферромагнитного изделия (рис. 1) часть силовых линий прерывается на границе разделов двух сред (магнит — воздух и воздух — стенка изделия) с отличающимися значениями магнитной проницаемости μ , причем

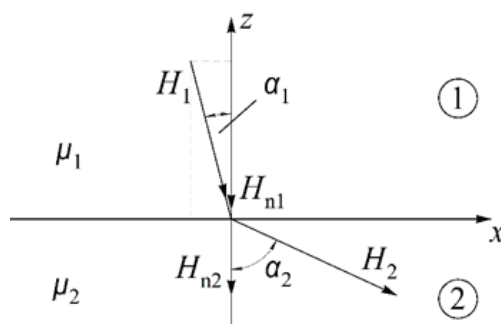


Рис. 1. Преломление (скачок) силовых линий на границе раздела двух сред

$$\begin{cases} \operatorname{div} B = \operatorname{div} \mu H \\ \operatorname{div} B = \mu_1 H_{n1} - \mu_2 H_{n2} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Нормальная H_n (к поверхности раздела) составляющая напряженности магнитного поля испытывает скачок при переходе из одной среды в другую, а тангенциальные составляющие изменяются при переходе через границу раздела сред непрерывно [1,2].

При этом

$$\mu_1 H_{n1} = \mu_2 H_{n2} \quad (2)$$

$$\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (3)$$

При использовании редкоземельных магнитов (Nd-Fe-B) с индукцией порядка 1 ... 1,1 Тл достигаемое вы-

сокое значение магнитной проницаемости $\mu_{ст}$ низкоуглеродистых сталей приводит к тому, что снаружи на границе раздела воздух/сталь магнитные силовые линии направлены практически перпендикулярно к поверхности, в то время как в объеме изделия они стремятся проходить практически параллельно поверхности, что обеспечивает минимальное сопротивление магнитной цепи [2].

При определенных соотношениях толщины T стенки изделия и размеров магнита практически все силовые линии магнитного потока будут проходить внутри листа, лишь незначительная часть из них выйдет наружу (рис. 2, а).

В случае если на одной из поверхностей листа будет участок с локальным утонением (например, питтинговой коррозией), то произойдет изменение картины магнитного поля (рис. 2.б).

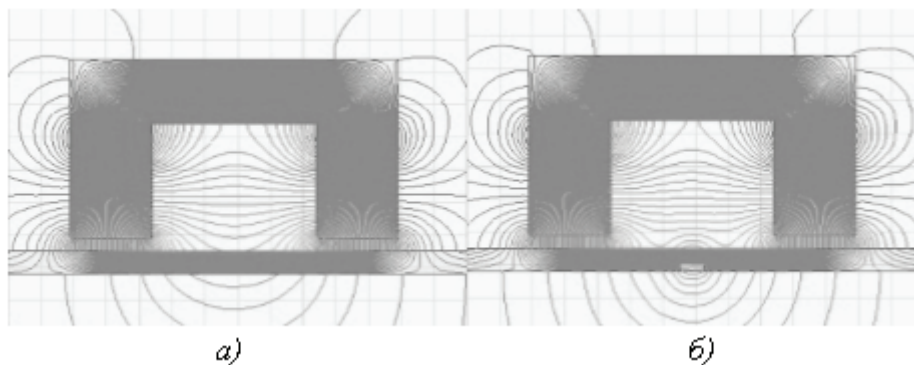


Рис. 2. Расчетная картина силовых линий магнитного поля на бездефектном участке стального листа (а) и линий магнитного поля рассеяния в районе искусственного дефекта (б)

Плотность силовых линий в районе дефекта возрастет, и часть магнитных силовых линий выйдет из листа, как со стороны установки магнита, так и с противоположной стороны (произойдет рассеяние магнитного потока), что может быть зафиксировано путем измерения нормальной составляющей напряженности магнитного поля H_n или магнитного потока Φ_n , пронизывающего индукционную обмотку площадью S :

$$\Phi_i = \oint_S B_n dS = \oint_S \mu_0 H_n dS \quad (4)$$

где B_n и H_n — нормальные составляющие магнитной индукции и напряженности магнитного поля в точке измерения, располагаемой симметрично между полюсами магнита [2,4].

Первичные измерительные преобразователи (в дальнейшем преобразователи), реализующие рассматриваемый метод, представляют собой П — образные магнитопроводы с вставками из постоянных редкоземельных магнитов (Nd-Fe-B) и многоканальную систему чувствительных элементов, располагаемых симметрично между полюсами магнитопровода в области магнитного поля одной интенсивности (рис. 3) Базовые преобразователи фирмы Silverwing, основоположника метода, имеют следующие размеры: длина магнита $A = 25$ мм, высота маг-

нита $C = 10$ мм, высота ярма $E = 20$ мм, высота полюса $D = 25$ мм, расстояние между полюсами $L = 50$ мм, зазор $Z = 5$ мм. Ширина магнитопровода составляет порядка 40 мм. Преобразователи предназначены для выявления плоскостной и питтинговой коррозии изделий с толщиной стенки $H = 6–16$ мм. При $l \approx H$ гарантированно выявляются искусственные дефекты глубиной от $h = 1,8$ мм ($H = 6$ мм) до $h = 8$ мм ($H = 16$ мм). В качестве чувствительных элементов используются преобразователи Холла, анализирующие изменение нормальной составляющей B_z магнитной индукции в точке наблюдения [1,4].

Как указывалось выше, основное применение рассматриваемые преобразователи нашли для выявления коррозионных повреждений труб и листовых материалов (например, днищ резервуаров).

При контроле трубопроводов необходимо: гарантировать выявление коррозионных повреждений на внешней и внутренней поверхности в заданном диапазоне толщин T стенки изделий; фиксировать границы участков коррозии (x_i, y_i); оценивать глубину H_n и объем V_n каждого коррозионного повреждения; обеспечивать высокую производительность.

Выполнение этих условий достигается применением измерительных преобразователей с магнитами большой

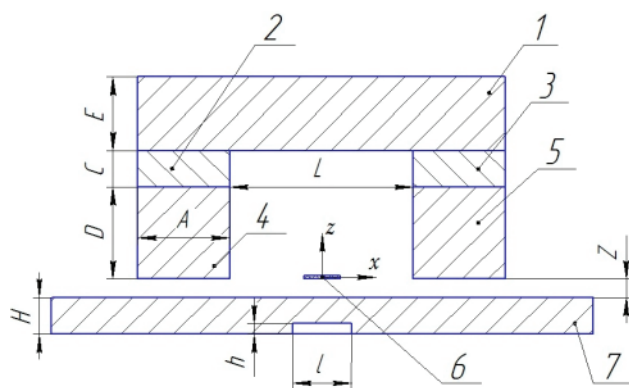


Рис. 3. Структура первичного измерительного преобразователя, реализующего метод MFL и объект контроля с искусственным дефектом в виде поперечного пропила, имитирующим коррозионное повреждение стенки (1 — ярмо магнитопровода, 2 и 3 — редкоземельные магниты, 4 и 5 — полюса магнитопровода, 6 — чувствительный элемент/точка наблюдения, 7 — стальной лист с искусственным дефектом)

ширины и многоканальной системы чувствительных элементов 1...n, располагаемых между полюсами магнита в области магнитного поля одной напряженности (рис. 4),

которые при сканировании пересекут область дефекта, позволят определить его границы и глубину по координатам [1,3].

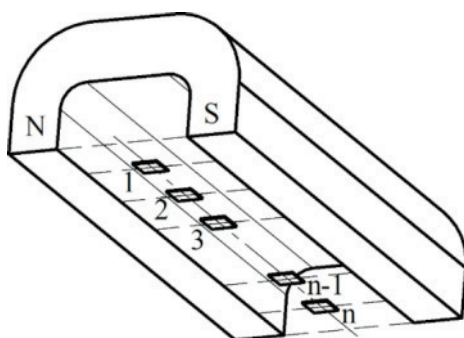


Рис. 4. Многоканальный первичный измерительный преобразователь (1...n — твердотельные чувствительные элементы)

При сканировании поверхности многоканальным преобразователем могут быть определены границы дефекта (рис. 5) и восстановлена форма его профиля (рис. 6) [1,4].

Рассмотрим применение многоканальных внутритрубных MFL — систем (часто называемых внутритрубными сканерами или снарядами). В классическом вари-

анте для проведения контроля стенки трубы необходимо намагнитить до насыщения каждый сектор трубы вдоль ее оси и установить, по аналогии с выше сказанным, один или несколько преобразователей Холла для фиксации потоков рассеяния (рис. 7).

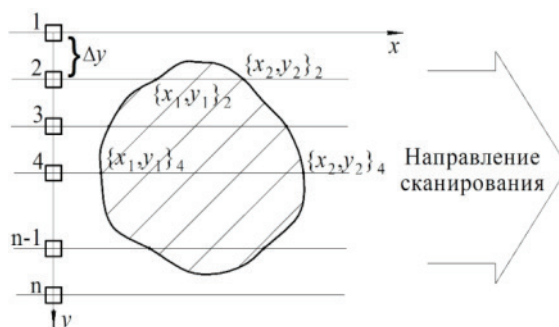


Рис. 5. Траектория сканирования многоканального первичного измерительного преобразователя и фиксация границ области дефекта (например, питтинговой коррозии) по каждому из каналов контроля

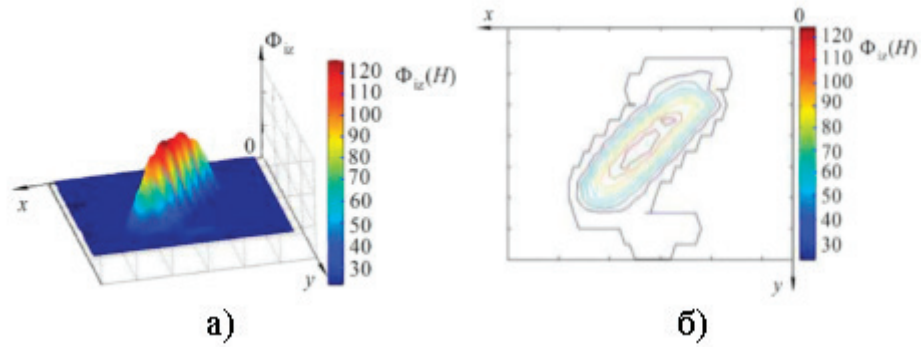


Рис. 6. Построение n-канальной диаграммы изменения магнитного потока $\Phi_{из}(x)$ (а) и диаграммы, иллюстрирующей профиль сечений дефекта по глубине (б)

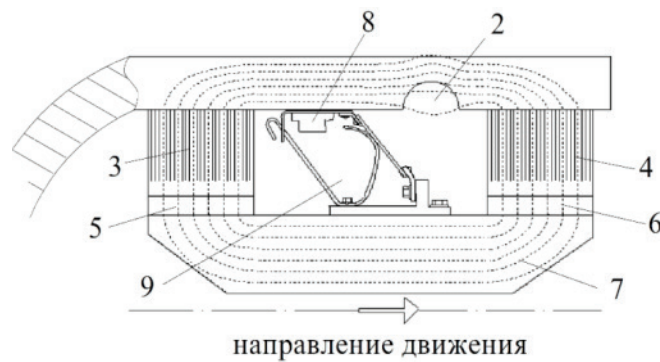


Рис. 7. Секторная система намагничивания и подпружиненный преобразователь Холла внутри трубы с участком питтинговой коррозии: 1 — стенка трубы, 2 — участок трубы с питтинговой коррозией, 3 и 4 — стальные щетки системы намагничивания, 5 и 6 — редкоземельные магниты, 7 — задняя металлическая монтажная панель (ядро системы намагничивания), 8 — преобразователь Холла, 9 — подпружиненная система прижима.

Для контроля всей поверхности трубы по образующей необходимо соответствующее количество секторных систем намагничивания, установленных на узел позиционирования и перемещения, на котором также должны устанавливаться блок сбора и обработки измерительной информации и аккумуляторное питание (рис. 8).

Эластичные манжеты обеспечивают позиционирование системы, защиту элементов от химического

и механического воздействия, а также ее перемещение за счет внутреннего избыточного давления продуктов, транспортируемых по трубопроводу (например, нефти) [1,3,5].

Изменение картины силовых линий постоянного магнитного поля при сканировании поверхности трубы многоканальной внутритрубной MFL — системой на бездефектном и дефектном участках представлено на рис. 9.

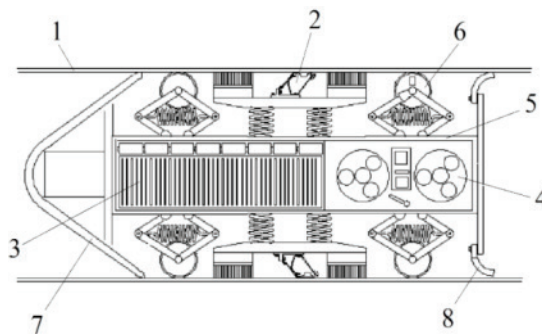


Рис. 8. Структура многоканальной внутритрубной MFL — системы. 1 — стенка трубы, 2 — секторная система намагничивания и подпружиненный преобразователь Холла, 3 — блок сбора и обработки измерительной информации, 4 — блок хранения информации (например, магнитный накопитель), 5 — герметичный корпус, 6 — одомер (датчик пути), 7 и 8 — эластичные манжеты

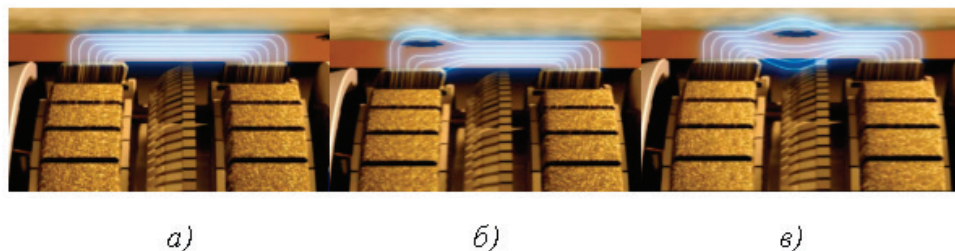


Рис. 9. Картина силовых линий постоянного магнитного поля в зоне контроля при перемещении многоканальной внутритрубной MFL-системы: на бездефектном участке (а), при нахождении коррозионного повреждения в зоне гибких стальных щеток системы намагничивания (б), при нахождении коррозионного повреждения в зоне преобразователей Холла (в)

MFL — очень полезный экспресс-метод, который обеспечивает возможность быстрого предварительного контроля коррозионного состояния больших поверхностей с обеих сторон — внутренней и внешней. Метод предо-

ставляет информацию о двух важных показателях — местоположении и степени поражения материала, что существенно минимизирует время для УЗК и позволяет проводить его только в определенных областях.

Литература:

1. Потапов, А. И., Сясько В. А., Соломенчук П. В. и др. Электромагнитные и магнитные методы неразрушающего контроля материалов и изделий. Т. 2: Электромагнитные и магнитные методы дефектоскопии и контроля свойств материалов. СПб.: Нестор-История, 2015. — 440 с.
2. А. И. Потапов, В. А. Сясько, О. П. Пудовкин. Оптимизация параметров первичных измерительных преобразователей, реализующих технологию MFL. «Дефектоскопия» 2015 г. № 8 стр. 64
3. Сясько, В. А. Об использовании технологии MFL для выявления коррозионных повреждений обшивки судов / В. А. Сясько // В мире неразрушающего контроля. 2015. Т. 18. № . 3. С. 7–10. DOI: 10.12737/12563
4. Зеленюк, В. Н. Системы и технологии автоматизированного контроля резервуаров и труб компании Silverwing UK LTD. (англия) \\ Территория «НЕФТЕГАЗ» № 5 \май \ 2011 с 32–34
5. Д. А. Слесарев, А. А. Абакумов. Обработка и представление информации в MFL методе неразрушающего контроля. Дефектоскопия, № 9, 2013 г, с. 3–9.

Молодой ученый

Международный научный журнал
Выходит еженедельно

№ 24 (128) / 2016

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметов И. Г.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Каленский А. В.
Куташов В. А.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Абдрасилов Т. К.
Авдеюк О. А.
Айдаров О. Т.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Жураев Х. О.
Игнатова М. А.
Калдыбай К. К.
Кенесов А. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Матвиенко Е. В.
Матроскина Т. В.
Матусевич М. С.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Паридинова Б. Ж.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенцов А. Э.
Сенюшкин Н. С.
Титова Е. И.
Ткаченко И. Г.
Фозилов С. Ф.

Яхина А. С.

Ячинова С. Н.

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)
Игиснинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Колпак Е. П. (Россия)
Курпаяниди К. И. (Узбекистан)
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)

Руководитель редакционного отдела: Кайнова Г. А.
Ответственные редакторы: Осянина Е. И., Вейса Л. Н.

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Бурьянов П. Я., Голубцов М. В.,
Майер О. В.

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 2072-0297

Подписано в печать 30.11.2016. Тираж 500 экз.

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