

ISSN 2072-0297



МОЛОДОЙ[®] УЧЁНЫЙ

международный научный журнал



45
2017
Часть I

16+

ISSN 2072-0297

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал

Выходит еженедельно

№ 45 (179) / 2017

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

Авдеюк 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

Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор

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

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)

Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)

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

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

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)

Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

Руководитель редакционного отдела: Кайнова Галина Анатольевна

Ответственный редактор: Осянина Екатерина Игоревна

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: 29.11.2017. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

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

На обложке изображен *Георгий Анатольевич Воронов* (родился 18 октября 1935 г.), заслуженный эколог Российской Федерации, доктор географических наук, кандидат биологических наук, профессор Пермского государственного национального исследовательского университета, создатель заповедников «Басеги» и «Вишерский», а также сети особо охраняемых территорий в Пермском крае.

Георгий Воронов родился в Москве, но принадлежит к целой династии пермских ученых. Отец, дед и дядя были биологами, мать — филолог. Детство и юность Георгий провел в Перми, во время учебы в семилетней школе проявил интерес и выдающиеся способности к изучению биологии, зоологии и географии. Руководил научным бюллетенем класса, участвовал в организации живого уголка, помогал отцу в его летних экспедициях.

В 1960 году окончил МГУ, затем по распределению уехал работать в Институт географии Сибири и Дальнего Востока Сибирского отделения Академии наук СССР, где и поступил в аспирантуру. Принимал активное участие в исследованиях труднодоступных уголков Сибири и Дальнего Востока, по результатам которых опубликовал ряд серьезных научных работ,

включая монографию в соавторстве с Н. Ф. Реймерсом, которого он считал наряду со своим отцом одним из своих лучших учителей.

В 1966 году Г. А. Воронов окончательно перебрался в Пермь. Десять лет работал в Пермском государственном педагогическом институте, затем перешел в Пермский госуниверситет, где создал природоохранную кафедру, а при ней — группы специализации по охране окружающей среды, положив тем самым начало подготовке экологов. Ученый обладал редким даром привлекать к работе над своими проектами не только соратников, но и противников. Под его руководством в Пермском крае реализованы проекты по созданию заповедников «Басеги» (1982) и «Вишерский» (1991), разработана сеть региональных особо охраняемых природных территорий. Георгий Анатольевич подготовил несколько региональных законопроектов в сфере охраны окружающей среды.

Георгий Воронов дважды награжден Почетным знаком «За охрану природы России», а в 1994 году — Большой серебряной медалью Всероссийского общества охраны природы.

Екатерина Осянина, ответственный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Бронов С. А., Мартынов А. В., Мартынова Д. С.**
Первичный анализ взаимосвязи
дидактических единиц умений и знаний
с тестами 1
- Сабурова В. И.**
Функции Бесселя и их свойства..... 4

ФИЗИКА

- Емельянов А. А., Бесклеткин В. В.,
Пестеров Д. И., Одинцов В. О., Антоненко И. А.,
Коновалов И. Д., Бабкин В. А.**
Моделирование асинхронного двигателя
с переменными Ψ_m — I_s на выходе
апериодических звеньев в системе
абсолютных единиц в Simulink-Script 8

ХИМИЯ

- Аронбаев С. Д., Мажидова М. Ф., Аронбаев Д. М.**
Портативный амперметрический датчик
для измерения суммарной антиоксидантной
активности веществ.....19
- Кравченко Н. А., Морковкина А. Д.,
Рахимова Н. А.**
Разработка технологии производства
этил-трет-бутилового эфира на базе
технологической схемы производства
метил-трет-бутилового эфира.....28

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ахметшин Т. Р., Кудерко Д. А.**
Системный подход к разработке
и интеграции системы гибридной
аварийной воздушной турбины
гражданского пассажирского самолета.....32
- Гасанов И. Р.**
К вопросу определения скорости
фильтрации и времени релаксации
неравновесной жидкости40

Голицына Е. С.

Актуальность внедрения микропроцессорной
горочной централизации..... 43

Завершинский К. Ю., Захаров С. П.

Повышение энергетической эффективности
работы насосных агрегатов45

Каинов Е. А., Голубков В. Ю.

Экономический анализ и расчет
эффективности строительства подземного
паркинга на примере объектов г. Ижевска
Удмуртской Республики50

Каримов А. Е., Боченин В. И.

Технологии, стандарты, преимущества
и особенности применения
роботизированной сварки.....53

Мысак Н. Б., Марченко М. В.

Сжиженный природный газ: перспективы
развития55

Овезов М. О.

Физические особенности и технология
выделения гидрокарбонатов C_5-C_7 из состава
природного газа57

Самойлов П. В., Иванов К. А.

Угрозы применения малоразмерных БЛА
и определение наиболее эффективного
способа борьбы с ними59

Черкашин А. О.

Защита процессорной техники на
энергопроизводящих системах в условиях
современных электростанций65

МЕДИЦИНА

Abdullaev S. S., Sharapov O. N., Asomov M. I.

Evaluation of renoprotective efficiency
of eprosartan and lercanidipine in
nephropathy due to diabetes mellitus.....75

Игамбердиева Р. Ш., Каримджанова Г. А., Мирзаева Б. М.

Состояние эндотелия сонных артерий
при артериальной гипертензии77

**Супрунук В. В., Мельник Д. Ю.,
Цыганкова Д. А., Харужик А. С.,
Жуковская А. Н., Зайцева Е. В.,
Пискарёва А. С., Примак А. М.**
Анализ гемостазиограммы в ближайшем
послеоперационном периоде у пациентов,
относящихся к группе высокого риска
развития тромбозмболических осложнений
в зависимости от проведения их профилактики ...84

ЭКОЛОГИЯ

Бузырева Н. В., Ташлыкова А. Н., Васина М. В.
Очистка атмосферного воздуха
от диоксидов азота и серы на
автотранспортных предприятиях.....88

Ташлыкова А. Н., Бузырева Н. В., Васина М. В.
Локальные очистные сооружения
для автомоек91

МАТЕМАТИКА

Первичный анализ взаимосвязи дидактических единиц умений и знаний с тестами

Бронов Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент;
Мартынов Александр Владимирович, аспирант
Мартынова Дарья Сергеевна, аспирант
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

Наряду с дидактическими единицами, несущими в себе только знания, можно выделить дидактические единицы, которые несут в себе как знания, так и умения. Оценка данных дидактических единиц, по сравнению с единицами знания, становится более сложной задачей.

Данные дидактические единицы мы выбираем сами. В теории можно каждую дидактическую единицу знания углубить до дидактической единицы умения. Таким образом, появляется управление дидактическими единицами, т.е. в зависимости от того, что нам необходимо получить для освоения компетенции, мы можем углублять дидактические единицы до необходимого уровня, и оценивать их освоение в соответствии с данным уровнем.

Определив дидактические единицы, которые будут являться дидактическими единицами, несущими в себе как знания, так и умения, выделим типы тестов для их оценки. Вопрос типизирования тестов можно рассматривать с двух сторон. С одной стороны тестирование проводится независимо по знаниям и умениям. Такой подход можно назвать *обособленным*. С другой стороны можно проводить *смешанное* тестирование, в котором будут вопросы, как на выявление знаний, так и на определение умений.

В *обособленное* тестирование, входят все те типы тестов, что определены для выявления знаний по дидактическим единицам, которые несут в себе только знания. Т.е. мы предполагаем, что дидактические единицы, несущие в себе как знания, так и умения, обладают всеми типами знания, что и дидактические единицы, несущие в себе только знания.

Вторым большим разделом тестов, входящих в *обособленное* тестирование являются тесты для определения умений. Среди данных тестов можно выделить тесты, которые определяют *автоматическое умение*. Например, если взять таблицу умножения, то при ее изучении мы получаем умение умножать простейшие числа. Данное умение не имеет множества вариаций. Оно имеет четкие

границы, когда учащийся изучает таблицу умножения, он имеет четкий набор цифр от 0 до 9, которые перемножаются между собой, при этом все результаты также известны. Все, что необходимо обучающемуся, это запомнить и понять, как числа перемножаются между собой. Для оценки этого умения, можно составить тест, в котором будет множество вопросов, связанных только с жесткими границами, т.е. множество примеров с перемножением чисел от 0 до 9, с множеством ответов, при этом необходимо ограничить время на тестирование, так как данное умение должно быть освоено учащимся до автоматизма. Ограничение во времени и множество вариаций вопросов с комбинацией множества ответов, сведут к минимуму шанс угадать ответ. Поскольку данная дидактическая единица несет в себе *жесткое умение*, то тест будет считаться успешным только при 100% ответе. Такую группу тестов можно назвать как *тесты автоматического умения*.

Как и ДЕ знания, ДЕ умения могут не требовать 100% автоматизации выполнения задачи. В любой профессиональной деятельности имеется область «около знания», когда знаний и умений специалиста не всегда хватает для 100% скорости выполнения. Такие случаи характерны для не типовых задач или «исключительных» задач. Выполнение таких задач сложно довести до автоматизма, так как их разнообразие и появление носит редкий характер. В таком случае студент должен применить свои умения в области поиска пути решения данной задачи, умение сориентироваться в какой области (месте), произвести поиск необходимых не достающих знаний или умений.

Для оценки таких ДЕ необходимо применить тесты, которые будут отслеживать не столько правильность ответа, сколько правильность мысли. Возможно, применить не один из имеющихся видов, но с продуманными под данный тип ДЕ вопросами, а создать новый вид или тип теста, который будет тестировать студента в игровой форме. Под игровой формой подразумевается создание программы,

или компьютерной игры, в которых будет представлена задача, требующая умения принимать правильное направление в расширении текущих умений и знаний. В таком тестировании оценка будет смещаться с правильного ответа на ход мысли человека, т.е. человек изначально попадает в ситуацию, в которой он, скорее всего, не знает ответ на 100%, поэтому ему необходимо с помощью уже

имеющихся умений найти примерный вектор решения задачи. Оценка зависит от того, насколько близко совпал вектор мысли с правильным ответом. Такой тип тестирования умений можно обозначить как тесты расширения умений.

Схему тестирования умений с помощью тестов расширения умений, можно представить как:

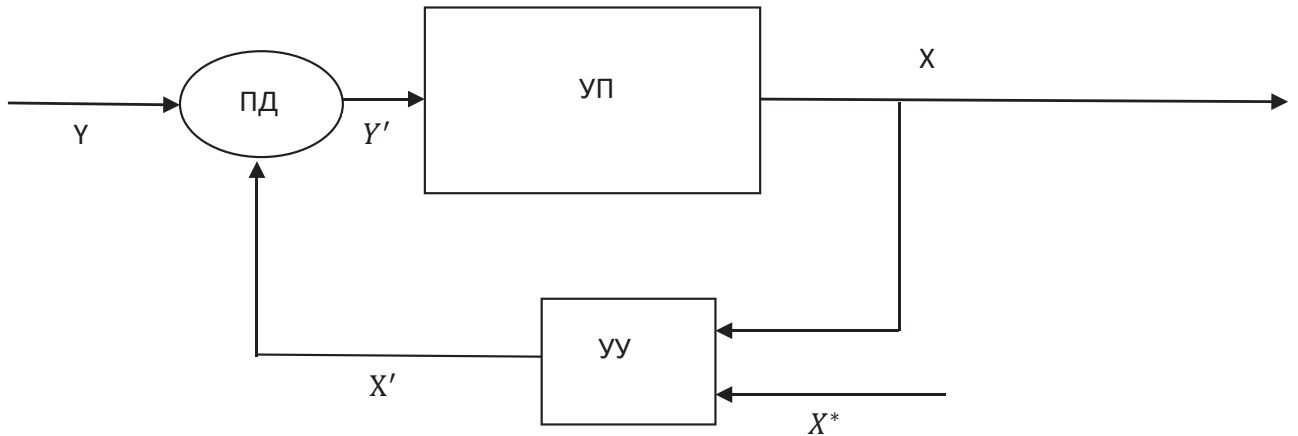


Рис. 1. Схема тестирования с тестами расширения умений, где:

- УП — блок тестов для тестирования умений;
- УУ — управляющее устройство, которое сравнивает полученные результаты теста с идеалом, и производит коррективу или воздействие, и подает данные воздействия на блок УП;
- Y' — преобразованные ДЕ умения;
- X' — управляющее воздействие на основные умения;
- X — текущий результат тестирования;
- X* — желаемый результат тестирования.

Схема тестирования, мало чем отличается от обычных схем с блоком управления. Меняется смысловое наполнение. Желаемый результат X* представляет собой диапазон или вектор с пограничными значениями:

$$\max \geq X^* \geq \min \tag{1}$$

Желаемый результат заключается в некотором интервале, и должен быть между максимальным и минимальным значением данного результата.

Управляющее воздействие, преобразованные ДЕ умения, и конечный результат можно выразить в виде некоторых функций:

$$X' = F(X^*, X) \tag{2}$$

$$Y' = F(X', Y) \tag{3}$$

$$X = \begin{cases} F(Y' \geq a) \\ F(Y' \leq b) \end{cases} \tag{4}$$

где:

a — верхняя граница вектора;

b — нижняя граница вектора.

Умения студента могут зависеть не только от его знаний, но также и от других, косвенных умений. Под косвенными

умениями понимаются умения, которые были получены студентом от других дисциплин, предметов, бытовых взаимодействий с приборами, людьми, умения жизненного опыта. Например, решение теста через компьютер, требует владение умением работы на компьютере, знать, где у него кнопка включения, как пользоваться клавиатурой, мышью, конкретной операционной системой. То есть, если студент не будет владеть данными умениями, это повлияет на успешность решения основного теста на умения. Поэтому имеет смысл провести тест на косвенные умения, для определения допуска студента к основному тесту. Так как, если студент не знает, как включать компьютер, и пользоваться операционной системой, то он даже не сможет начать проходить основной тест, что приведет к отрицательному результату.

Косвенное тестирование умений можно использовать, как начальную точку допуска студента к основному тестированию, так и для определения предварительного процента погрешности в основном тестировании, т.е. уровень влияния внешнего воздействия на успешность прохождения теста на основные умения. В данном тестировании важно определить круг тех умений, которые могут косвенно или напрямую повлиять на тест основных умений, т.е. определить внешнюю среду для основных умений.

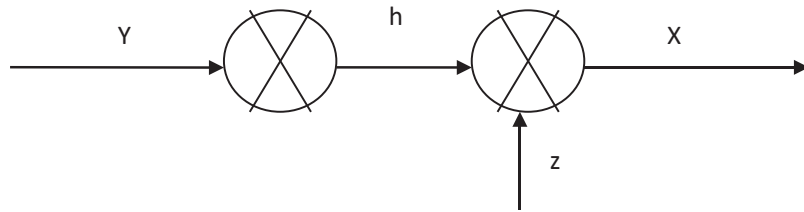


Рис. 2. Схема тестирования умений, косвенный тип тестирования, где:

- \otimes — тестирование;
- Y — косвенные умения;
- h — влияние косвенных умений;
- Z — умения по тестируемому разделу изучаемой дисциплины, или основные умения;
- X — результат по тестированию основных умений.

Данный график можно представить в виде некоторой функции, которая будет характеризовать результат тестирования основных умений:

$$X = F(h, Z) \tag{5}$$

Поскольку тестирование представляет собой некоторое устройство проверки (УП), то схема, представ-

ленная на рис. 2, может быть представлена с помощью системного анализа, в виде нескольких структур управления косвенным тестированием, с двумя УП и одним УУ, и с двумя УП и двумя УУ, в зависимости от выбранной стратегии тестирования:

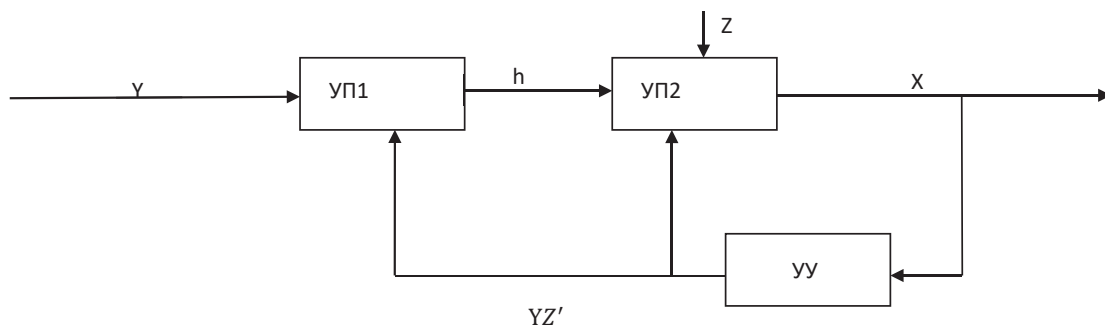


Рис. 3. Схема косвенного тестирования с одним УУ

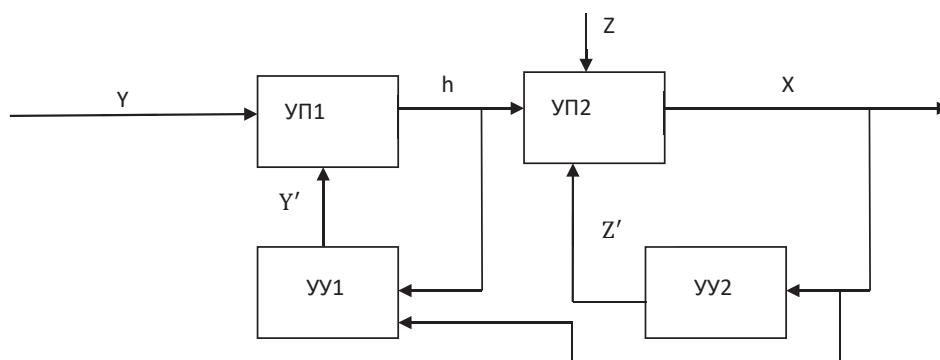


Рис. 4. Схема косвенного тестирования с двумя УУ, где:

- УП1 блок тестов для тестирования косвенных (внешних) умений;
- УП2 — блок тестов для тестирования основных умений;
- УУ — управляющее устройство, которое сравнивает полученные результаты теста с идеалом, и производит корректировку или воздействие, и подает данные воздействия на блок УП;
- YZ' — управляющее воздействие на косвенные основные умения;
- Y' — управляющее воздействие на косвенные умения;
- Z' — управляющее воздействие на основные умения.

На основе Рис. 3 можно представить следующую функцию:

$$X = \max_x X - F h, z \quad (6)$$

На основе Рис. 4 можно представить следующую функцию:

$$X = \max_x Y - F h, x + Z - F z \quad (7)$$

Управляющее воздействие на Рис. 3 стремится свести к максимальной итоговой оценке теста основных умений. Для этого результаты тестирования подверга-

ются анализу, на основе анализа создается решение, или рекомендация, которые должны повлиять как на *косвенные* умения, так и на *основные*. После того как создано решение, оно применяется на объекте проверки, студенте, после чего происходит повторное тестирование, данный цикл повторяется до тех пор пока результат тестирования не будет соответствовать желаемому результату.

В данной статье представлена общая логика рассмотрения взаимосвязи тестов с различными видами дидактических единиц. Представленная взаимосвязь, является не законченной, и в настоящее время ведется работа по углублению знаний, по данной взаимосвязи.

Литература:

1. В. Е. Пешкова. Педагогика Часть 4. Теория обучения (дидактика) учеб. пособие для студ. вузов. — 2010: Майкоп, 2010. — 149 с.;
2. Карчевский Е. М., Карчевский М. М. Лекции по линейной алгебре и аналитической геометрии Учеб. пособие. — 2012: Казанский Университет, 2012. — 303 с.;
3. Подласый И. П. Педагогика: 100 вопросов — 100 ответов: учеб. пособие для вузов. — 2004: М.: ВЛАДОС-пресс, 2004. — 365 с.;
4. В. В. Конев Векторная алгебра: учеб. пособие для студ. вузов. — 2008г: Томский политехнический университет, 2008 г. — 34 с.;
5. В. Е. Пешкова. Педагогика Часть 6. Педагогическая информатика (дидактика) учеб. пособие для студ. вузов. — 2010: Майкоп, 2010. — 151 с.;
6. Голованова Ю. В. Модульность в образовании: методики, сущность, технологии // Молодой ученый. — 2013. — № 12. — С. 422–437;
7. М. В. Кондурар. Понятие компетенция и компетентность в образовании // 2011. — 2011. — № 2(5). — С. 212–220.
8. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Об образовании в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 15.07.2016) // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 9.10.2016);
9. Дидактическая единица // Дистанционное обучение ВСГАКИ. URL: <http://cdo.vsgaki.ru/mod/glossary/showentry.php?courseid=1&concept=%D0%94%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B%D0%B8%D1%86%D0%B0> (дата обращения: 10.01.2017).

Функции Бесселя и их свойства

Сабурова Виктория Игоревна, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Ключевые слова: функции, дифференциальные уравнения, Бессель, свойства функций

Функции Бесселя в математике — семейство функций, являющихся каноническими решениями дифференциального уравнения Бесселя:

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - \alpha^2) y = 0$$

где α — произвольное вещественное число (в общем случае комплексное), называемое порядком.

Функцию Бесселя индекса ν можно определить рядом:

$$J_\nu(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{\Gamma(k+\nu+1)\Gamma(k+1)} * \left(\frac{x}{2}\right)^{2k+\nu} \quad (1)$$

где $\Gamma(z)$ — гамма-функция Эйлера.

Функция Бесселя представима в виде:

$$J_\nu(x) = \left(\frac{x}{2}\right)^\nu \hat{I}_\nu\left(\frac{x^2}{4}\right) \tag{2}$$

Где:

$$\hat{I}_\nu(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k z^k}{\Gamma(k+\nu+1)\Gamma(k+1)} \tag{3}$$

По признаку Даламбера ряд сходится равномерно при всех $|z| \leq R$, $|\nu| \leq N$, где R и N — произвольные числа. Так как члены ряда представляют собой целые функции по переменной z при фиксированном ν и по переменной ν при фиксированном z , то $\hat{I}_\nu(z)$ является целой функцией z при любом комплексном ν и целой функцией ν при любом фиксированном комплексном z .

Все производные от функции $\hat{I}_\nu(z)$ как по переменной z , так и по переменной ν могут вычисляться перестановкой суммирования и дифференцирования.

Рекуррентные соотношения для функций Бесселя

Для классических уравнений Бесселя с неотрицательным параметром $k \geq 0$ и ограниченными в нуле решениями $\lim_{x \rightarrow 0} |y_k(x)| < \infty$ существуют рекуррентные соотношения вида:

$$y_{k-1}(x) = \frac{k}{x} y_k(x) - y_k'(x) \tag{3}$$

$$y_{k-1}(x) = \frac{k}{x} y_k(x) + y_k'(x) \tag{4}$$

и эти соотношения могут быть получены из общего вида классического уравнения Бесселя (1). Также можно получить еще пару рекуррентных соотношений, но для трех функций Бесселя:

$$2y_k'(x) = y_{k-1}(x) - y_{k+1}(x) \tag{5}$$

$$y_{k-1}(x) - \frac{2k}{x} y_k(x) + y_{k+1}(x) = 0 \tag{6}$$

Функции Бесселя первого рода

Функции Бесселя первого рода представляются в виде:

$$y_k(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+k}}{\Gamma(m+1)\Gamma(k+m+1)} \tag{7}$$

Формальная замена k на $-k$ дает функцию Бесселя первого рода отрицательного индекса $-k$:

$$y_{-k}(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \left(\frac{x}{2}\right)^{2m-k}}{\Gamma(m+1)\Gamma(-k+m+1)} \tag{8}$$

где $\Gamma(n)$ — гамма-функция Эйлера.

Если функции (7) и (8) являются функциями целого индекса, $k = n^2, n \in \mathbb{Z}$, то их связывает линейное соотношение

$$y_{-k}(x) = (-1)^k y_k(x) \tag{9}$$

то есть они линейно зависимы и не могут быть выбраны в качестве фундаментальной системы уравнения Бесселя.

Если же k не является целым числом, $y_k(x)$ и $y_{-k}(x)$ линейно независимы.

Для того, чтобы найти общее решение уравнения (1), когда k равно целому числу n , необходимо найти второе, линейно-независимое от $y_k(x)$, частное решение. Для этого вводится новая функция, называемая функцией Бесселя второго рода.

Функции Бесселя второго рода

Функция Бесселя второго рода имеет вид:

$$Y_k(x) = \frac{y_k(x)\cos(k\pi) - y_{-k}(x)}{\sin(k\pi)} \tag{10}$$

Эта функция является линейной комбинацией частных решений $y_k(x)$ и $y_{-k}(x)$, следовательно, она тоже является решением уравнения (1).

Функция Вебера (10) является решением уравнения (1) и при $k = n^2$.

Очевидно, $y_k(x)$ и $Y_k(x)$ являются линейно независимыми, следовательно, при любом k образуют фундаментальную систему решений уравнения (1). Тогда решение уравнения (1) можно представить в виде их линейной комбинации:

$$y(x) = C_1 y_k(x) + C_2 Y_k(x) \tag{11}$$

Свойства

Продифференцируем по x ряд:

$$\frac{J_{\nu(x)}}{x^\nu} = 2^{-\nu} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{\Gamma(k+\nu+1)\Gamma(k+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2k}$$

Справа получим:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left(\frac{J_{\nu(x)}}{x^\nu} \right) &= 2^{-\nu} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{\Gamma(k+\nu+1)\Gamma(k+1)} 2k \left(\frac{x}{2}\right)^{2k-1} = \\ &= 2^{-\nu} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (-1)^k}{\Gamma(k+\nu+1)\Gamma(k+1)} \left(\frac{x^{2k-1}}{2^{2k-1}}\right) = 2^{-\nu} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{\Gamma(n+\nu+2)\Gamma(n+1)} \left(\frac{x^{2n+1+\nu-\nu}}{2^{2n+1+\nu-\nu}}\right) = \\ &= (-1)^1 2^{-\nu} \left(\frac{x}{2}\right)^{-\nu} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{x}{2}\right)^{2n+1+\nu}}{\Gamma(b+\nu+2)\Gamma(n+1)} = -\frac{1}{x^\nu} J_{(\nu+1)}(x) \end{aligned}$$

Что и требовалось доказать.

Для функций Бесселя верны следующие формулы дифференцирования:

$$y'_k = y_{k-1}(x) - \frac{k}{x} y_k(x), y'_k(x) = -y_{k+1}(x) + \frac{k}{x} y_k(x) \tag{14}$$

Для функций Бесселя верны следующие формулы приведения:

$$y_{k-1}(x) - y_{k+1}(x) = 2y'_k(x), y_{k-1}(x) + y_{k+1}(x) = \frac{2k}{x} y_k(x) \tag{15}$$

Свойство ортогональности функций Бесселя

Для любого k и любых корней β_1, β_2 функции $y_k(x)$ верно равенство

$$\int_0^L y_k\left(\frac{\beta_1 x}{L}\right) y_k\left(\frac{\beta_2 x}{L}\right) x dx = 0 \tag{16}$$

Если β_0 - нуль функции $y_k(x)$, то

$$\int_0^L y_k\left(\frac{\beta_0 x}{L}\right)^2 x dx = \frac{L^2}{2} (y'_k(\beta_0))^2 = \frac{L^2}{2} (y_{k+1}(\beta_0))^2 \tag{17}$$

Пример краевой задачи

Требуется определить закон колебаний круглой мембраны. Математическая модель свободных колебаний круглой мембраны радиуса r_0 с закреплённым краем имеет вид следующей краевой задачи для определения поперечного смещения $u(r, \varphi, t)$ мембраны:

$$\frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2}, t > 0, (r, \varphi) \in G$$

$$u(r, \varphi, 0) = h(r, \varphi), \frac{\partial u(r, \varphi, 0)}{\partial t} = g(r, \varphi)$$

$$u(r_0, \varphi, t) = 0, u(r, \varphi, t) = u(r, \varphi + 2\pi, t)$$

где $G = \{(r, \varphi) : 0 \leq r < r_0, 0 \leq \varphi \leq 2\pi\}$; $h(r, \varphi)$ и $g(r, \varphi)$ — заданные смещения и скорость различных участков мембраны в начальный момент времени соответственно.

Решение этой задачи представляется в виде:

$$y = C_1 J_\nu(x) + C_2 Y_\nu(x)$$

где $J_\nu(x)$ и $Y_\nu(x)$ — функции Бесселя первого и второго рода

Применение:

Функции Бесселя применяются при решении многих задач о распространении волн, статических потенциалах и т. п., например:

- Электромагнитные волны в цилиндрическом волноводе;
- Теплопроводность в цилиндрических объектах;
- Формы колебания тонкой круглой мембраны
- Распределение интенсивности света, дифрагированного на круглом отверстии.
- Скорость частиц в цилиндре, заполненном жидкостью и вращающемся вокруг своей оси и др.

Литература:

1. Зорич В. А. Математический анализ М.: ФАЗИС; Наука; Ч. I. — 1997, 568с.; Ч. II. — 1984, 640с.
2. Зубов В. И. Функции Бесселя: Учебно-методическое пособие / Сост.: В. И. Зубов. — М.: МФТИ, 2007. — 51 с.
3. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики: 2-е изд., стер. — М.: Наука, 1969. — 288 с.

ФИЗИКА

Моделирование асинхронного двигателя с переменными Ψ_m — I_s на выходе аperiodических звеньев в системе абсолютных единиц в Simulink-Script

Емельянов Александр Александрович, доцент;

Бесклеткин Виктор Викторович, ассистент;

Пестеров Дмитрий Ильич, студент;

Одинцов Василий Олегович, студент;

Антоненко Илья Александрович, студент;

Коновалов Илья Дмитриевич, студент;

Бабкин Виталий Андреевич, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

В работе [1] дано математическое моделирование асинхронного двигателя с переменными ψ_m — i_s в системе относительных единиц. В этой работе приведена модель асинхронного двигателя с этими же переменными в системе абсолютных единиц.

Векторные уравнения асинхронного двигателя имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \overline{U}_S = R_S \cdot \overline{I}_S + \frac{d\overline{\Psi}_S}{dt} + j\Omega_K \cdot \overline{\Psi}_S; \\ 0 = R_{Rk} \cdot \overline{I}_R + \frac{d\overline{\Psi}_R}{dt} + j(\Omega_K - \Omega \cdot z_p) \cdot \overline{\Psi}_R; \\ \overline{\Psi}_S = (L_m + L_{\sigma S}) \cdot \overline{I}_S + L_m \cdot \overline{I}_R; \\ \overline{\Psi}_R = (L_m + L_{\sigma R}) \cdot \overline{I}_R + L_m \cdot \overline{I}_S; \\ \overline{\Psi}_m = L_m \cdot \overline{I}_m = L_m \cdot (\overline{I}_S + \overline{I}_R); \\ M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{mx} \cdot I_{Sy} - \Psi_{my} \cdot I_{Sx}); \\ M - M_c = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}. \end{cases}$$

Обозначим токи, потокосцепления и индуктивности:

$$\begin{aligned} \overline{I}_m &= \overline{I}_S + \overline{I}_R; & \overline{\Psi}_m &= L_m \cdot \overline{I}_m; & \overline{\Psi}_{\sigma S} &= L_{\sigma S} \cdot \overline{I}_S; & \overline{\Psi}_{\sigma R} &= L_{\sigma R} \cdot \overline{I}_R; \\ \overline{\Psi}_S &= (L_m + L_{\sigma S}) \cdot \overline{I}_S + L_m \cdot \overline{I}_R = L_m \cdot (\overline{I}_S + \overline{I}_R) + L_{\sigma S} \cdot \overline{I}_S = \overline{\Psi}_m + \overline{\Psi}_{\sigma S}; \\ \overline{\Psi}_R &= (L_m + L_{\sigma R}) \cdot \overline{I}_R + L_m \cdot \overline{I}_S = L_m \cdot (\overline{I}_R + \overline{I}_S) + L_{\sigma R} \cdot \overline{I}_R = \overline{\Psi}_m + \overline{\Psi}_{\sigma R}; \\ L_S &= L_m + L_{\sigma S}; & L_R &= L_m + L_{\sigma R}. \end{aligned}$$

Переведем систему уравнений к изображениям $\left(\frac{d}{dt} = s\right)$:

$$\overline{U}_S = R_S \cdot \overline{I}_S + \overline{\Psi}_S \cdot s + j\Omega_K \cdot \overline{\Psi}_S; \quad (1)$$

$$0 = R_{Rk} \cdot \overline{I}_R + \overline{\Psi}_R \cdot s + j(\Omega_K - \Omega \cdot z_p) \cdot \overline{\Psi}_R; \quad (2)$$

$$\overline{\Psi}_S = \overline{\Psi}_m + L_{\sigma S} \cdot \overline{I}_S; \quad (3)$$

$$\overline{\Psi}_R = \overline{\Psi}_m + L_{\sigma R} \cdot \overline{I}_R; \quad (4)$$

$$\overline{\Psi}_m = L_m \cdot \overline{I}_m = L_m \cdot (\overline{I}_R + \overline{I}_S); \quad (5)$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{mx} \cdot I_{Sy} - \Psi_{my} \cdot I_{Sx}); \quad (6)$$

$$M - M_c = J \cdot \Omega \cdot s. \quad (7)$$

Схема замещения и векторная диаграмма в системе абсолютных единиц [3] даны на рис. 1 и 2.

Расписываем векторы через проекции:

$$\vec{U}_S = U_{Sx} + jU_{Sy}; \vec{I}_S = I_{Sx} + jI_{Sy}; \vec{I}_R = I_{Rx} + jI_{Ry}; \vec{\Psi}_S = \Psi_{Sx} + j\Psi_{Sy}; \vec{\Psi}_R = \Psi_{Rx} + j\Psi_{Ry}; \vec{\Psi}_m = \Psi_{mx} + j\Psi_{my}.$$

Записываем уравнения (1), ..., (4) по проекциям.

Уравнение (1):

$$U_{Sx} + jU_{Sy} = R_S \cdot I_{Sx} + jR_S \cdot I_{Sy} + \Psi_{Sx} \cdot s + j\Psi_{Sy} \cdot s + j\Omega_k \cdot \Psi_{Sx} - \Omega_k \cdot \Psi_{Sy}.$$

По оси (+1): $U_{Sx} = R_S \cdot I_{Sx} + \Psi_{Sx} \cdot s - \Omega_k \cdot \Psi_{Sy}.$ (1')

По оси (+j): $U_{Sy} = R_S \cdot I_{Sy} + \Psi_{Sy} \cdot s + \Omega_k \cdot \Psi_{Sx}.$ (1'')

Уравнение (2):

$$0 = R_{Rk} \cdot I_{Rx} + jR_{Rk} \cdot I_{Ry} + \Psi_{Rx} \cdot s + j\Psi_{Ry} \cdot s + j(\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Rx} - (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Ry}.$$

По оси (+1): $0 = R_{Rk} \cdot I_{Rx} + \Psi_{Rx} \cdot s - (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Ry}.$ (2')

По оси (+j): $0 = R_{Rk} \cdot I_{Ry} + \Psi_{Ry} \cdot s - (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Rx}.$ (2'')

Уравнение (3):

$$\Psi_{Sx} + j\Psi_{Sy} = \Psi_{mx} + j\Psi_{my} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sx} + jL_{\sigma S} \cdot I_{Sy}.$$

По оси (+1): $\Psi_{Sx} = \Psi_{mx} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sx}.$ (3')

По оси (+j): $\Psi_{Sy} = \Psi_{my} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sy}.$ (3'')

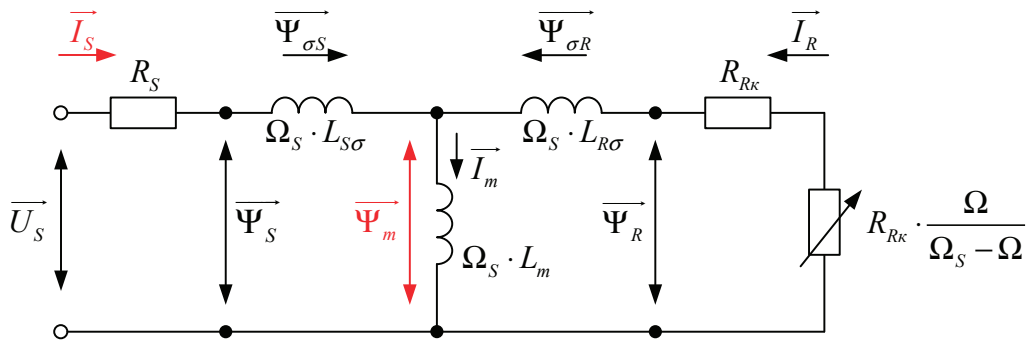


Рис. 1. Схема замещения асинхронного двигателя в системе абсолютных единиц

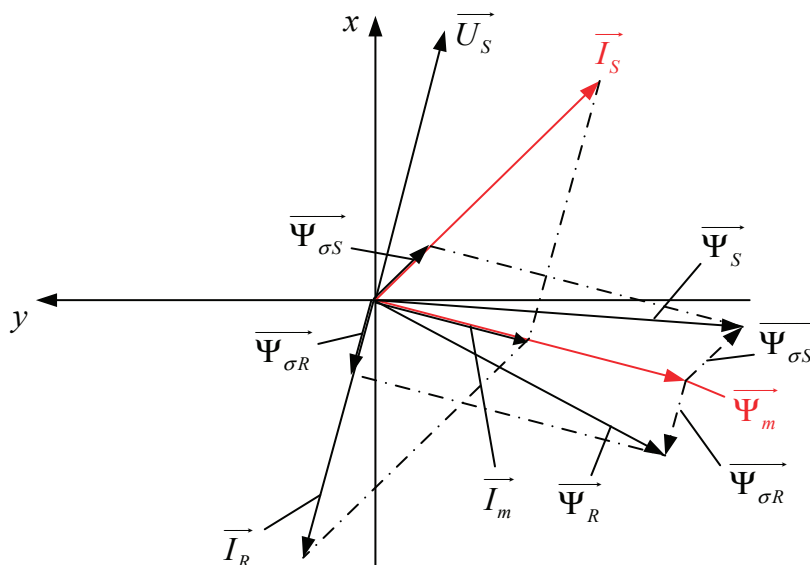


Рис. 2. Качественная картина расположения векторов в двигательном режиме в системе абсолютных единиц

Проекции потокосцепления Ψ_{Sx} и Ψ_{Sy} можно выразить и в следующей форме:

$$\begin{aligned} \Psi_{Sx} + j\Psi_{Sy} &= (L_m + L_{\sigma S}) \cdot I_{Sx} + j(L_m + L_{\sigma S}) \cdot I_{Sy} + L_m \cdot I_{Rx} + jL_m \cdot I_{Ry}; \\ \Psi_{Sx} &= (L_m + L_{\sigma S}) \cdot I_{Sx} + L_m \cdot I_{Rx}; \\ \Psi_{Sy} &= (L_m + L_{\sigma S}) \cdot I_{Sy} + L_m \cdot I_{Ry}. \end{aligned}$$

Уравнение (4):

$$\Psi_{Rx} + j\Psi_{Ry} = \Psi_{mx} + j\Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot I_{Rx} + jL_{\sigma R} \cdot I_{Ry}.$$

По оси (+1): $\Psi_{Rx} = \Psi_{mx} + L_{\sigma R} \cdot I_{Rx}$. (4')

По оси (+j): $\Psi_{Ry} = \Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot I_{Ry}$. (4'')

Проекции потокосцепления Ψ_{Rx} и Ψ_{Ry} можно выразить и в следующей форме:

$$\begin{aligned} \Psi_{Rx} + j\Psi_{Ry} &= (L_m + L_{\sigma R}) \cdot I_{Rx} + j(L_m + L_{\sigma R}) \cdot I_{Ry} + L_m \cdot I_{Sx} + jL_m \cdot I_{Sy}; \\ \Psi_{Rx} &= (L_m + L_{\sigma R}) \cdot I_{Rx} + L_m \cdot I_{Sx}; \\ \Psi_{Ry} &= (L_m + L_{\sigma R}) \cdot I_{Ry} + L_m \cdot I_{Sy}. \end{aligned}$$

Уравнение (5):

$$\Psi_{mx} + j\Psi_{my} = L_m \cdot I_{Sx} + jL_m \cdot I_{Sy} + L_m \cdot I_{Rx} + jL_m \cdot I_{Ry}.$$

По оси (+1): $\Psi_{mx} = L_m \cdot I_{Sx} + L_m \cdot I_{Rx}$. (5')

По оси (+j): $\Psi_{my} = L_m \cdot I_{Sy} + L_m \cdot I_{Ry}$. (5'')

Рассмотрим систему уравнений (1'), ..., (5') по оси (+1):

$$\begin{cases} U_{Sx} = R_S \cdot I_{Sx} + \Psi_{Sx} \cdot s - \Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{Sy}; \\ 0 = R_{Rk} \cdot I_{Rx} + \Psi_{Rx} \cdot s - (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Ry}; \\ \Psi_{Sx} = \Psi_{mx} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sx}; \\ \Psi_{Rx} = \Psi_{mx} + L_{\sigma R} \cdot I_{Rx}; \\ \Psi_{mx} = L_m \cdot I_{Sx} + L_m \cdot I_{Rx}. \end{cases}$$

Из уравнения (5') выразим I_{Rx} :

$$I_{Rx} = \frac{1}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - I_{Sx}. \tag{6'}$$

Подставим I_{Rx} в уравнение (4'):

$$\Psi_{Rx} = \Psi_{mx} + \frac{L_{\sigma R}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx} = \underbrace{\left(\frac{L_m + L_{\sigma R}}{L_m} \right)}_{1/k_r} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx}.$$

Обозначим $k_r = \frac{L_m}{L_m + L_{\sigma R}} = \frac{L_m}{L_m + L_{\sigma R}}$:

$$\Psi_{Rx} = \frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx}. \tag{7'}$$

Рассмотрим систему уравнений (1''), ..., (5'') по оси (+j):

$$\begin{cases} U_{Sy} = R_S \cdot I_{Sy} + \Psi_{Sy} \cdot s + \Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{Sx}; \\ 0 = R_{Rk} \cdot I_{Ry} + \Psi_{Ry} \cdot s + (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Rx}; \\ \Psi_{Sy} = \Psi_{my} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sy}; \\ \Psi_{Ry} = \Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot I_{Ry}; \\ \Psi_{my} = L_m \cdot I_{Sy} + L_m \cdot I_{Ry}. \end{cases}$$

Из уравнения (5'') выразим I_{Ry} :

$$I_{Ry} = \frac{1}{L_m} \cdot \Psi_{my} - I_{Sy}. \tag{6''}$$

Подставим I_{Ry} в уравнение (4''):

$$\Psi_{Ry} = \Psi_{my} + \frac{L_{\sigma R}}{L_m} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy} = \underbrace{\left(\frac{L_m + L_{\sigma R}}{L_m} \right)}_{1/k_r} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy};$$

$$\Psi_{Ry} = \frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy}. \tag{7''}$$

Для уравнений (1') и (2') по оси (+1):

$$U_{Sx} = R_S \cdot I_{Sx} + \Psi_{Sx} \cdot s - \Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{Sy};$$

$$0 = R_{Rk} \cdot I_{Rx} + \Psi_{Rx} \cdot s - (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Ry}.$$

В первое уравнение подставим Ψ_{Sx} и Ψ_{Sy} из выражений (3') и (3''):

$$U_{Sx} = R_S \cdot I_{Sx} + \underbrace{(\Psi_{mx} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sx})}_{\Psi_{Sx}} \cdot s - \Omega_{\kappa} \cdot \underbrace{(\Psi_{my} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sy})}_{\Psi_{Sy}};$$

$$U_{Sx} = R_S \cdot I_{Sx} + (\Psi_{mx} \cdot s) + L_{\sigma S} \cdot (I_{Sx} \cdot s) - \Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma S} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}). \quad (8)$$

Из уравнения (8) выделим $(\Psi_{mx} \cdot s)$:

$$(\Psi_{mx} \cdot s) = U_{Sx} - R_S \cdot I_{Sx} - L_{\sigma S} \cdot (I_{Sx} \cdot s) + \Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{my} + L_{\sigma S} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}). \quad (8')$$

Подставим в уравнение (2') выражения I_{Rx} , Ψ_{Rx} и Ψ_{Ry} из уравнений (6'), (7') и (7''):

$$0 = R_{Rk} \cdot \left(\underbrace{\frac{1}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - I_{Sx}}_{I_{Rx}} \right) + \left(\underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx}}_{\Psi_{Rx}} \right) \cdot s - (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot \left(\underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy}}_{\Psi_{Ry}} \right);$$

$$0 = \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - R_{Rk} \cdot I_{Sx} + \frac{1}{k_r} \cdot (\Psi_{mx} \cdot s) - L_{\sigma R} \cdot (I_{Sx} \cdot s) - \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy}.$$

Затем внесем в полученное уравнение выражение $(\Psi_{mx} \cdot s)$ из (8'):

$$0 = \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - R_{Rk} \cdot I_{Sx} + \frac{1}{k_r} \cdot U_{Sx} - \frac{1}{k_r} \cdot R_S \cdot I_{Sx} - \frac{1}{k_r} \cdot L_{\sigma S} \cdot (I_{Sx} \cdot s) + \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{my}) + \frac{1}{k_r} \cdot L_{\sigma S} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}) - L_{\sigma R} \cdot (I_{Sx} \cdot s) - \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{my}) + \frac{1}{k_r} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{my}) + L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy};$$

$$0 = \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - \left(R_{Rk} + \frac{1}{k_r} \cdot R_S \right) \cdot I_{Sx} + \frac{1}{k_r} \cdot U_{Sx} - \left(L_{\sigma R} + \frac{1}{k_r} \cdot L_{\sigma S} \right) \cdot (I_{Sx} \cdot s) + \frac{L_{\sigma S}}{k_r} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}) + \frac{z_p}{k_r} \cdot (\Omega \cdot \Psi_{my}) + L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy}. \quad (9)$$

Перенесем в левую часть слагаемые с I_{Sx} :

$$\left[\frac{k_r \cdot L_{\sigma R} + L_{\sigma S}}{k_r} \cdot s + \frac{k_r \cdot R_{Rk} + R_S}{k_r} \right] \cdot I_{Sx} = \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} + \frac{1}{k_r} \cdot U_{Sx} + \frac{L_{\sigma S}}{k_r} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}) + \frac{z_p}{k_r} \cdot (\Omega \cdot \Psi_{my}) + L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy}.$$

Обозначим:

$$L_{\vartheta} = L_{\sigma S} + k_r \cdot L_{\sigma R};$$

$$R_{S1} = R_S + k_r \cdot R_{Rk};$$

$$T_{S1} = \frac{L_{\vartheta}}{R_{S1}}.$$

Умножим обе части полученного уравнения на k_r :

$$[L_{\vartheta} \cdot s + R_{S1}] \cdot I_{Sx} = \frac{k_r \cdot R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} + U_{Sx} + L_{\sigma S} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}) + z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{my}) + k_r \cdot L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy}.$$

В левой части вынесем за скобку R_{S1} :

$$R_{S1} \cdot [T_{S1} \cdot s + 1] \cdot I_{Sx} = \frac{k_r \cdot R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} + U_{Sx} + L_{\sigma S} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy}) + z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{my}) + k_r \cdot L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy}.$$

Отсюда определим I_{Sx} :

$$I_{Sx} = \left[\underbrace{\frac{k_r \cdot R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx}}_1 + \underbrace{\frac{U_{Sx}}{2}}_2 + \underbrace{L_{\sigma S} \cdot (\Omega_{\kappa} \cdot I_{Sy})}_4 + \underbrace{z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{my})}_5 + \underbrace{k_r \cdot L_{\sigma R} \cdot (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sy}}_3 \right] \cdot \frac{1/R_{S1}}{T_{S1} \cdot s + 1}.$$

Структурная схема проекции статорного тока I_{Sx} на ось (+1) приведена на рис. 3.

Для уравнений (1'') и (2'') по оси (+j):

$$U_{Sy} = R_S \cdot I_{Sy} + \Psi_{Sy} \cdot s + \Omega_{\kappa} \cdot \Psi_{Sx};$$

$$0 = R_{Rk} \cdot I_{Ry} + \Psi_{Ry} \cdot s + (\Omega_{\kappa} - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{Rx}.$$

В первое уравнение подставим Ψ_{Sy} и Ψ_{Sx} из выражений (3'') и (3'):

$$U_{Sy} = R_S \cdot I_{Sy} + \underbrace{(\Psi_{my} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sy})}_{\Psi_{Sy}} \cdot s + \Omega_{\kappa} \cdot \underbrace{(\Psi_{mx} + L_{\sigma S} \cdot I_{Sx})}_{\Psi_{Sx}};$$

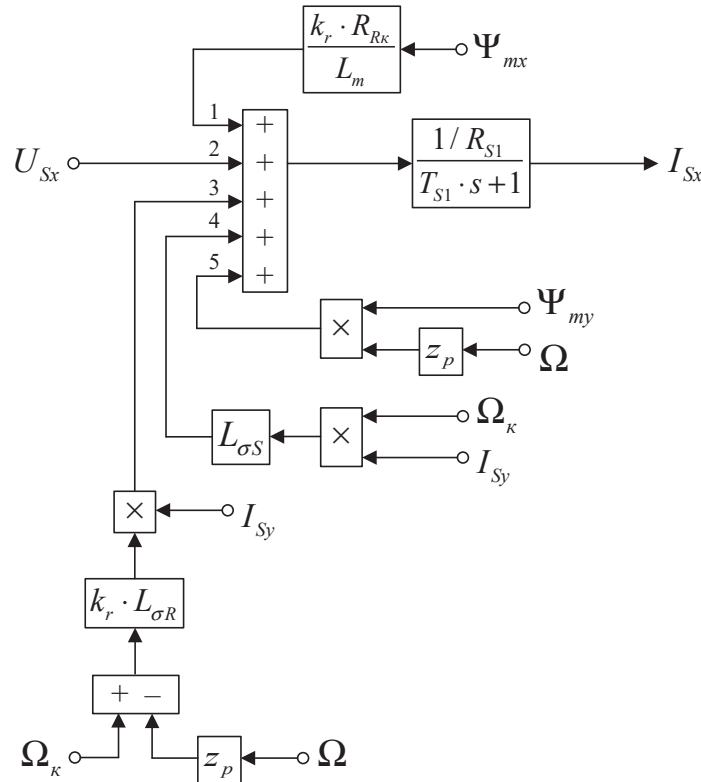


Рис. 3. Структурная схема проекции статорного тока I_{Sx} на ось (+1)

$$U_{Sy} = R_S \cdot I_{Sy} + (\Psi_{my} \cdot s) + L_{\sigma S} \cdot (I_{Sy} \cdot s) + \Omega_k \cdot \Psi_{mx} + L_{\sigma S} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}). \quad (10)$$

Из уравнения (10) выделим $(\Psi_{my} \cdot s)$:

$$(\Psi_{my} \cdot s) = U_{Sy} - R_S \cdot I_{Sy} - L_{\sigma S} \cdot (I_{Sy} \cdot s) - \Omega_k \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma S} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}). \quad (10')$$

Подставим в уравнение (2'') выражения I_{Ry} , Ψ_{Ry} и Ψ_{Rx} из уравнений (6''), (7'') и (7'):

$$0 = R_{Rk} \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{L_m} \cdot \Psi_{my} - I_{Sy} \right)}_{I_{Ry}} + \underbrace{\left(\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy} \right)}_{\Psi_{Ry}} \cdot s + (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx} \right)}_{\Psi_{Rx}}.$$

Внесем в полученное уравнение выражение $(\Psi_{my} \cdot s)$ из (10'):

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my} - R_{Rk} \cdot I_{Sy} + \frac{1}{k_r} \cdot (\Psi_{my} \cdot s) - L_{\sigma R} \cdot (I_{Sy} \cdot s) + \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) - \frac{z_p}{k_r} \cdot (\Omega \cdot \Psi_{mx}) - L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sx}; \\ 0 &= \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my} - R_{Rk} \cdot I_{Sy} + \frac{1}{k_r} \cdot U_{Sy} - \frac{R_S}{k_r} \cdot I_{Sy} - \frac{L_{\sigma S}}{k_r} \cdot (I_{Sy} \cdot s) - \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) - \frac{L_{\sigma S}}{k_r} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}) - \\ &- L_{\sigma R} \cdot (I_{Sy} \cdot s) + \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) - \frac{z_p}{k_r} \cdot (\Omega \cdot \Psi_{mx}) - L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sx}; \\ 0 &= \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my} - \left(\frac{R_{Rk} \cdot k_r + R_S}{k_r} \right) \cdot I_{Sy} + \frac{1}{k_r} \cdot U_{Sy} - \left(\frac{L_{\sigma S} + L_{\sigma R} \cdot k_r}{k_r} \right) \cdot (I_{Sy} \cdot s) - \frac{L_{\sigma S}}{k_r} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}) - \\ &- \frac{z_p}{k_r} \cdot (\Omega \cdot \Psi_{mx}) - L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sx}. \end{aligned} \quad (11)$$

Перенесем в левую часть слагаемые с I_{Sy} и умножим обе части на k_r :

$$\begin{aligned} \left[\underbrace{\left(L_{\sigma S} + L_{\sigma R} \cdot k_r \right)}_{L_{\sigma}} \cdot s + \underbrace{\left(R_{Rk} \cdot k_r + R_S \right)}_{R_{S1}} \right] \cdot I_{Sy} &= \frac{k_r \cdot R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my} + U_{Sy} + L_{\sigma S} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}) - z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{mx}) - k_r \cdot L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sx}; \\ R_{S1} \cdot \left[\underbrace{\left(\frac{L_{\sigma}}{R_{S1}} \right)}_{T_{S1}} \cdot s + 1 \right] \cdot I_{Sy} &= \frac{k_r \cdot R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my} + U_{Sy} + L_{\sigma S} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}) - z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{mx}) - k_r \cdot L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sx}. \end{aligned}$$

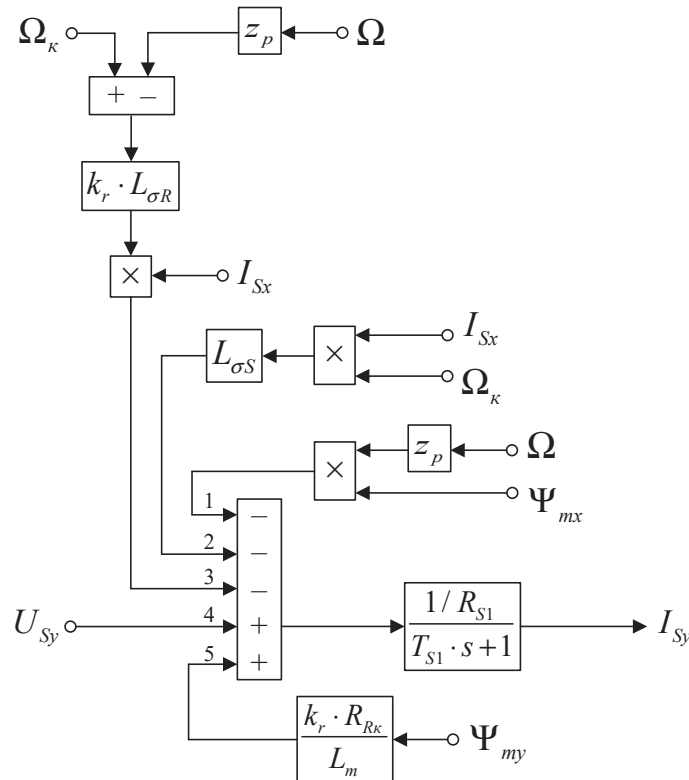


Рис. 4. Структурная схема для определения проекции статорного тока I_{Sy} на ось (+j)

Отсюда ток I_{Sy} :

$$I_{Sy} = \left[\underbrace{\frac{k_r \cdot R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my}}_5 + \underbrace{\frac{U_{Sy}}{4}}_4 + \underbrace{L_{\sigma S} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx})}_2 - \underbrace{z_p \cdot (\Omega \cdot \Psi_{mx})}_1 - \underbrace{k_r \cdot L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot I_{Sx}}_3 \right] \cdot \frac{1/R_{S1}}{T_{S1} \cdot s + 1}$$

Структурная схема для реализации I_{Sy} приведена на рис. 4.

Определение потокосцепления Ψ_{mx} .

Из уравнения (8) выделим $(I_{Sx} \cdot s)$:

$$(I_{Sx} \cdot s) = \frac{1}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sx} - \frac{R_S}{L_{\sigma S}} \cdot I_{Sx} - \frac{1}{L_{\sigma S}} \cdot (\Psi_{mx} \cdot s) + \frac{1}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{my}) + (\Omega_k \cdot I_{Sy}). \tag{12}$$

Подставим в уравнение (2') выражения I_{Rx} , Ψ_{Rx} , Ψ_{Ry} и $(I_{Sx} \cdot s)$ из уравнений (6'), (7'), (7'') и (12):

$$0 = R_{Rk} \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - I_{Sx} \right)}_{I_{Rx}} + \underbrace{\left(\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx} \right)}_{\Psi_{Rx}} \cdot s - (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy} \right)}_{\Psi_{Ry}};$$

$$0 = \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{mx} - R_{Rk} \cdot I_{Sx} + \frac{1}{k_r} \cdot (\Psi_{mx} \cdot s) - \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sx} + \frac{R_S \cdot L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot I_{Sx} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Psi_{mx} \cdot s) -$$

$$- \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{my}) - L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sy}) - \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sy}) - L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sy}). \tag{13}$$

Перенесем в левую часть слагаемые с Ψ_{mx} :

$$\left[\left(\frac{1}{k_r} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \right) \cdot s + \frac{R_{Rk}}{L_m} \right] \cdot \Psi_{mx} = R_{Rk} \cdot I_{Sx} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sx} - \frac{R_S \cdot L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot I_{Sx} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{my}) + \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sy}).$$

В левой части вынесем за скобки $\frac{R_{Rk}}{L_m}$:

$$\frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \left[\underbrace{\left(\frac{L_m \cdot (L_{\sigma S} + k_r \cdot L_{\sigma R})}{R_{Rk} \cdot k_r \cdot L_{\sigma S}} \right)}_{T_{M1}} \cdot s + 1 \right] \cdot \Psi_{mx} = \underbrace{\left(R_{Rk} - \frac{R_S \cdot L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \right)}_{\Delta R} \cdot I_{Sx} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sx} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{my}) +$$

$$+ \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{my} + L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sy}).$$

Обозначим:

$$T_{M1} = \frac{L_m \cdot (L_{\sigma S} + k_r \cdot L_{\sigma R})}{R_{Rk} \cdot k_r \cdot L_{\sigma S}} \text{ и } \Delta R = R_{Rk} - \frac{R_S \cdot L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}}.$$

Потокосцепление Ψ_{mx} определится следующим образом:

$$\Psi_{mx} = \left[\underbrace{\Delta R \cdot I_{Sx}}_1 + \underbrace{\frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sx}}_4 + \underbrace{\frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{my})}_2 + \underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{my}}_5 + \underbrace{L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sy})}_3 \right] \cdot \frac{L_m / R_{Rk}}{T_{M1} \cdot s + 1}.$$

Структурная схема для определения потокосцепления Ψ_{mx} приведена на рис. 5.

Определение потокосцепления Ψ_{my} .

Из уравнения (10) выделим $(I_{Sy} \cdot s)$:

$$(I_{Sy} \cdot s) = \frac{1}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sy} - \frac{R_S}{L_{\sigma S}} \cdot I_{Sy} - \frac{1}{L_{\sigma S}} \cdot (\Psi_{my} \cdot s) - \frac{1}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) - (\Omega_k \cdot I_{Sx}). \tag{14}$$

Подставим в уравнение (2'') выражения I_{Ry} , Ψ_{Ry} , Ψ_{Rx} и $(I_{Sy} \cdot s)$ из уравнений (6''), (7''), (7') и (14):

$$0 = R_{Rk} \cdot \left(\underbrace{\frac{1}{L_m} \cdot \Psi_{my} - I_{Sy}}_{I_{Ry}} \right) + \left(\underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{my} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sy}}_{\Psi_{Ry}} \right) \cdot s + (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \left(\underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot I_{Sx}}_{\Psi_{Rx}} \right);$$

$$0 = \frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \Psi_{my} - R_{Rk} \cdot I_{Sy} + \frac{1}{k_r} \cdot (\Psi_{my} \cdot s) - \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sy} + \frac{R_S \cdot L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot I_{Sy} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Psi_{my} \cdot s) + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) + L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}) + \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot (\Omega_k \cdot I_{Sx}) + L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sx}). \tag{15}$$

Перенесем в левую часть слагаемые с Ψ_{my} :

$$\left[\left(\frac{1}{k_r} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \right) \cdot s + \frac{R_{Rk}}{L_m} \right] \cdot \Psi_{my} = \underbrace{\left(R_{Rk} - \frac{R_S \cdot L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \right)}_{\Delta R} \cdot I_{Sy} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sy} - \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) - \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sx}).$$

В левой части вынесем за скобки $\frac{R_{Rk}}{L_m}$:

$$\frac{R_{Rk}}{L_m} \cdot \left[\left(\frac{L_m \cdot (L_{\sigma S} + k_r \cdot L_{\sigma R})}{R_{Rk} \cdot k_r \cdot L_{\sigma S}} \right) \cdot s + 1 \right] \cdot \Psi_{my} = \Delta R \cdot I_{Sy} + \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sy} - \frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx}) - \frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{mx} - L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sx}).$$

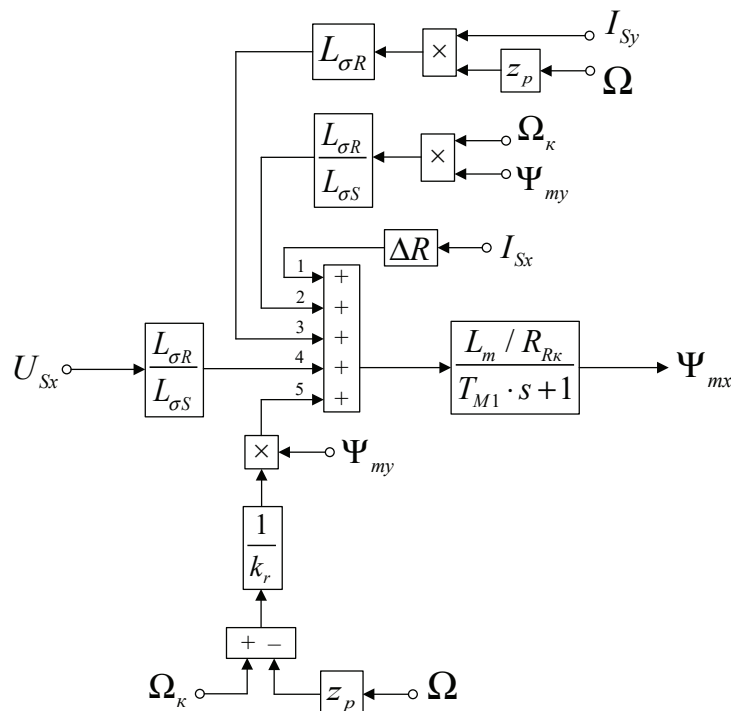


Рис. 5. Структурная схема для определения потокосцепления Ψ_{mx}

Определим потокосцепление Ψ_{my} :

$$\Psi_{my} = \left[\underbrace{\Delta R \cdot I_{Sy}}_5 + \underbrace{\frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot U_{Sy}}_2 - \underbrace{\frac{L_{\sigma R}}{L_{\sigma S}} \cdot (\Omega_k \cdot \Psi_{mx})}_4 - \underbrace{\frac{1}{k_r} \cdot (\Omega_k - \Omega \cdot z_p) \cdot \Psi_{mx}}_1 - \underbrace{L_{\sigma R} \cdot z_p \cdot (\Omega \cdot I_{Sx})}_3 \right] \cdot \frac{L_m / R_{Rk}}{T_{M1} \cdot s + 1}$$

Структурная схема для определения потокосцепления Ψ_{my} приведена на рис. 6.

На рис. 7 представлена структурная схема для реализации уравнения электромагнитного момента (6):

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{mx} \cdot I_{Sy} - \Psi_{my} \cdot I_{Sx})$$

Наконец, из уравнения движения (7) выразим механическую угловую скорость вращения вала двигателя (рис. 8):

$$M - M_c = J \cdot \Omega \cdot s;$$

$$\Omega = (M - M_c) \cdot \frac{1}{J \cdot s}$$

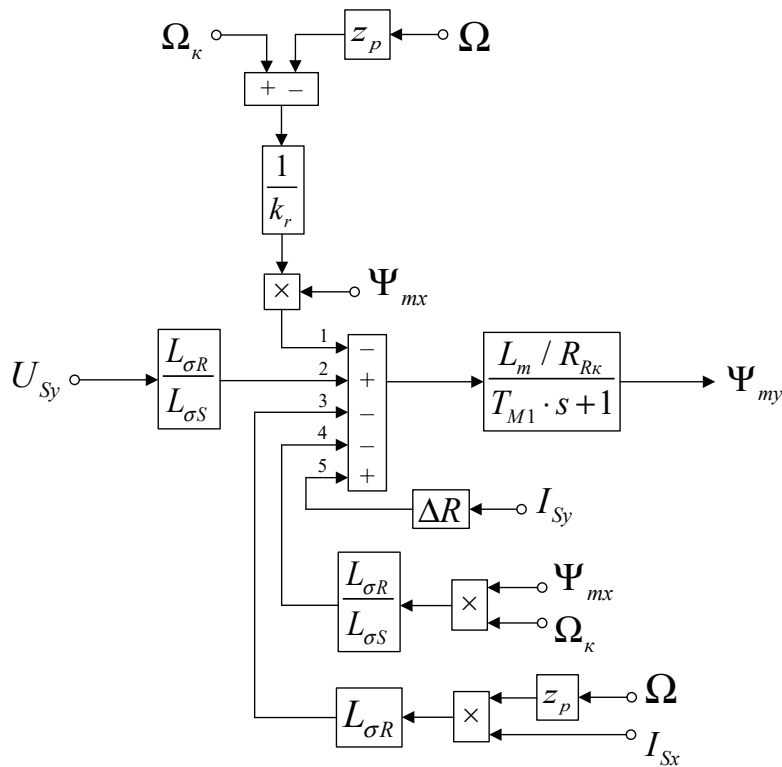


Рис. 6. Структурная схема для определения потокосцепления Ψ_{my}

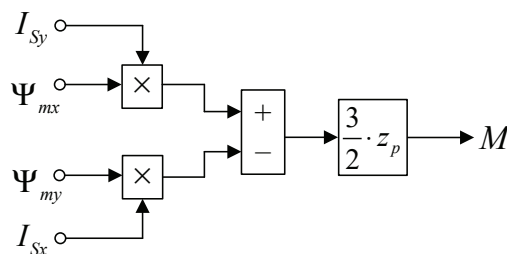


Рис. 7. Математическая модель определения электромагнитного момента M

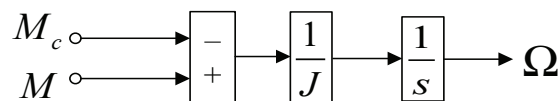


Рис. 8. Математическая модель уравнения движения

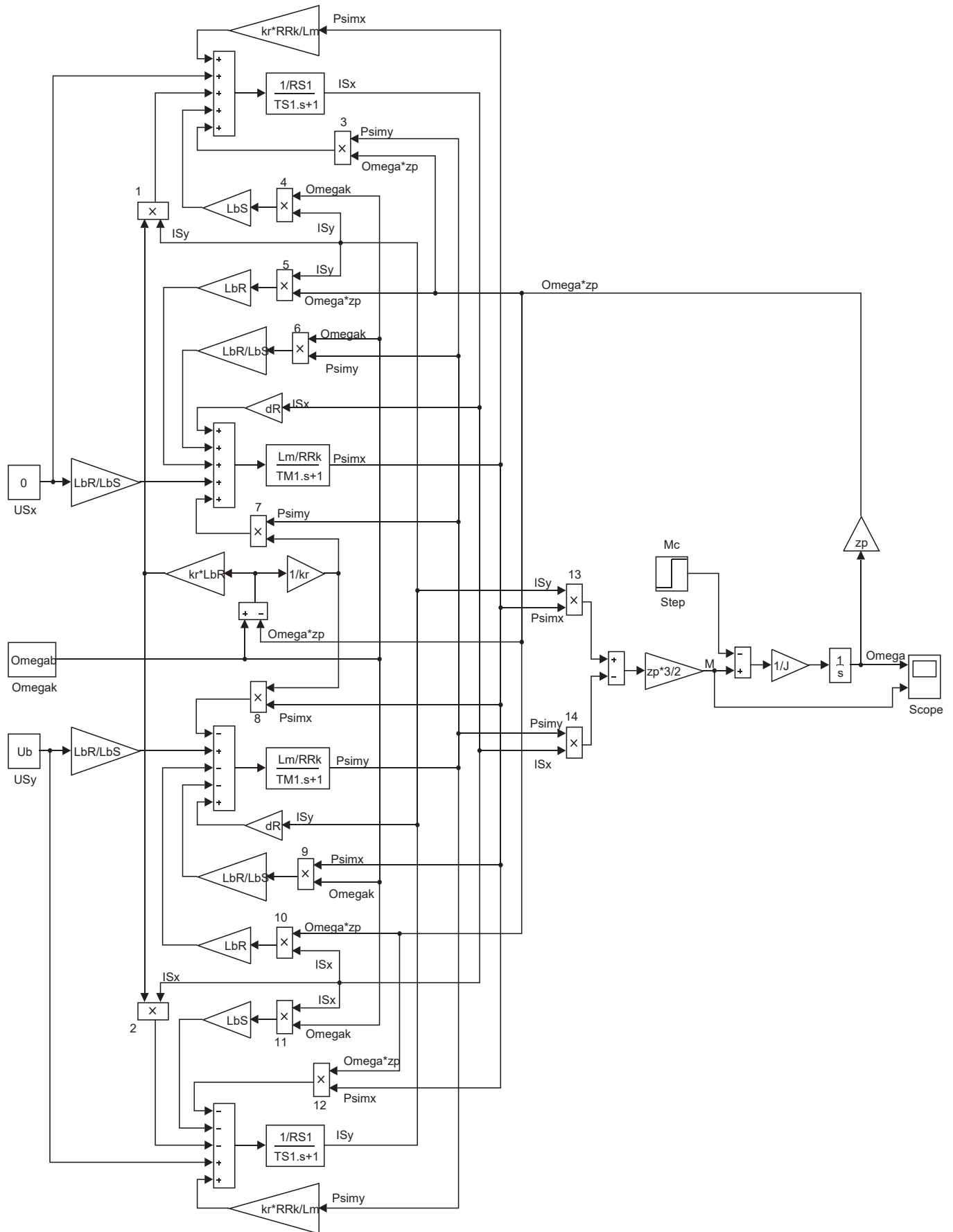


Рис. 9. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\Psi_m - I_s$ на выходе апериодических звеньев в системе абсолютных единиц

Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с переменными $\Psi_m - I_s$ на выходе аperiodических звеньев в системе абсолютных единиц приведена на рис. 9. Параметры асинхронного двигателя рассмотрены в работах [2] и [3].

Расчет параметров производим в Script:

```

PN=320000;           J=28;                               betaN=(Omega0N-OmegaN)/Omega0N;
UsN=380;             Ub=sqrt(2)*UsN;                   kr=lm/(lm+lbr);
IsN=324;             Ib=sqrt(2)*IsN;                   lbe=lbs+lbr+lbr*lm^(-1);
fN=50;               OmegasN=2*pi*fN;                 roN=0.9962;
Omega0N=104.7;       Omegab=OmegasN;                 rrk=roN*betaN;
OmegaN=102.83;       Zb=Ub/Ib;                       RRk=rrk*Zb;
nN=0.944;            Psib=Ub/Omegab;                 RS1=Rs+kr*RRk;
cos_phiN=0.92;      Lb=Psib/Ib;                       LbS=lbs*Lb;
zp=3;               rs=Rs/Zb;                       LbR=lbr*Lb;
Rs=0.0178;          lbs=Xs/Zb;                       Le=LbS+kr*LbR;
Xs=0.118;           rr=Rr/Zb;                       TS1=Le/RS1;
Rr=0.0194;          lbr=Xr/Zb;                       dR=RRk-Rs*LbR/LbS;
Xr=0.123;           lm=Xm/Zb;                       TM1=Lm*(LbS+kr*LbR)/(RRk*kr*LbS);
Xm=4.552;           Lm=lm*Lb;
    
```

Числовые значения параметров выводятся в окне Workspace (рис. 10).

Результаты моделирования асинхронного двигателя представлены на рис. 11.

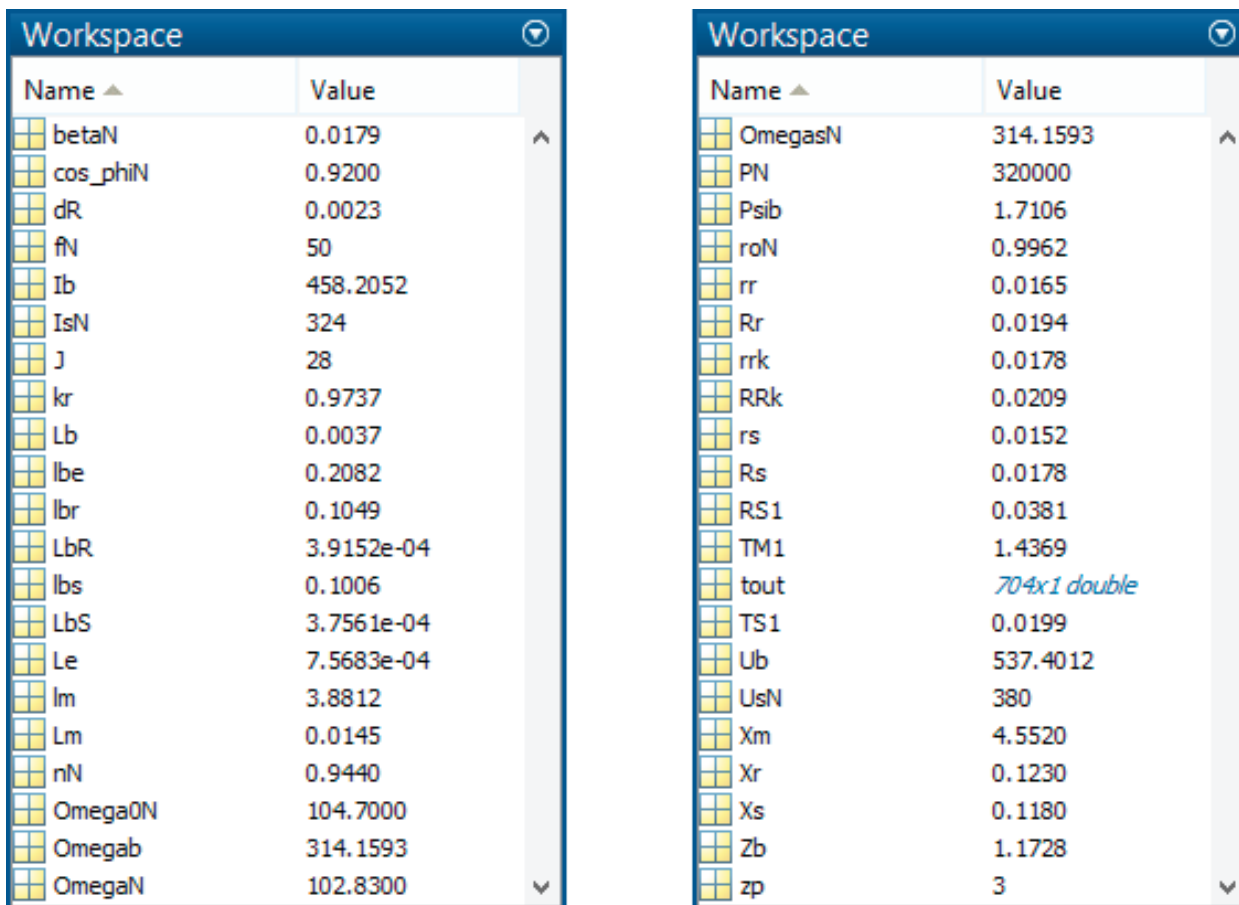


Рис. 10. Числовые значения параметров в окне Workspace

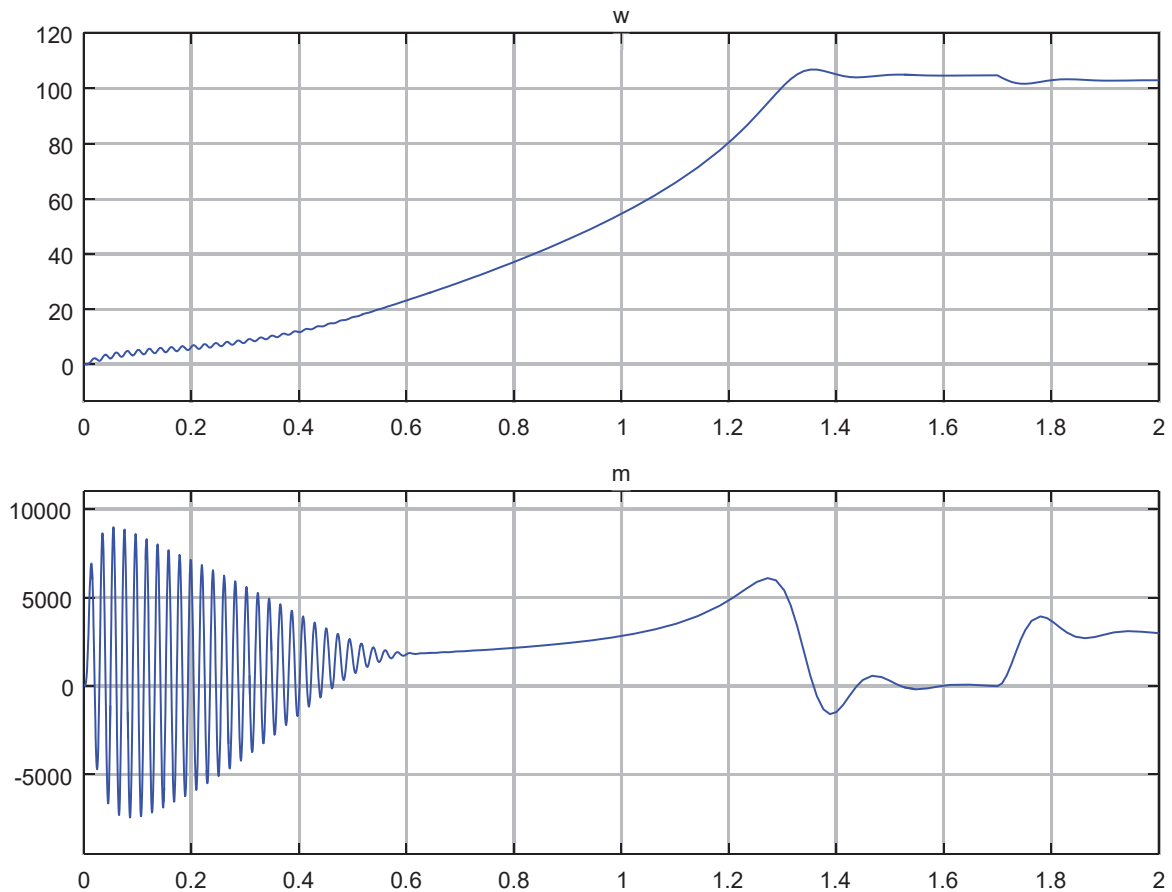


Рис. 11. Графики скорости и момента

Литература:

1. Емельянов А.А., Бесклеткин В.В., Антоненко И.А., Коновалов И.Д., Харин В.С., Ченцова Е.В., Федосеев П.В., Дугин П.И., Некрасова В.Н., Глух К.Ю., Солодова А.С. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_m - i_s$ на выходе аperiodических звеньев в Simulink-Script // Молодой ученый. — 2016. — № 26. — С. 105–115.
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.

ХИМИЯ

Портативный амперометрический датчик для измерения суммарной антиоксидантной активности веществ

Аронбаев Сергей Дмитриевич, доктор химических наук, доцент,
Мажидова Мадина Фархадовна, аспирант,

Аронбаев Дмитрий Маркиэлович, кандидат химических наук, доцент
Самаркандский государственный университет (Узбекистан)

Предлагается амперометрический метод и датчик для измерения суммарной антиоксидантной активности веществ. В основе метода лежит процесс электровосстановления кислорода в отсутствие и при наличии в растворе антиоксидантов различного происхождения. Измерение аналитического сигнала до и после введения в электрохимическую ячейку вещества-антиоксиданта осуществляется с помощью портативного двухэлектродного датчика, типа «карандаш», с посеребряным катодом, на который накладывается потенциал — 500 мВ от источника постоянного тока (батарейки). В качестве антиоксидантного стандарта условно принят 1% раствор аскорбиновой кислоты в фосфатном буфере с рН 6,86. Датчик подключен к измерительно-задающему устройству через микросхему — операционный усилитель.

Измеряемый сигнал в условных единицах высвечивается на жидкокристаллическом экране задающе-измерительного прибора и характеризует максимальный ток деполяризации индикаторного электрода. С помощью резисторов измерительного прибора выставляется диапазон 0–100 единиц, для аналита в отсутствие антиоксиданта и в присутствии эталона — 1% раствора аскорбиновой кислоты, условно принятого за 100%, соответственно. Таким образом, антиоксидантная активность веществ может быть измерена в процентах относительно аскорбиновой кислоты (или другого антиоксиданта). Приводятся результаты определения суммарной антиоксидантной активности некоторых напитков и водно-спиртовых экстрактов лекарственных растений.

Ключевые слова: *вольтамперометрия, электровосстановление кислорода, амперометрический датчик, антиоксиданты*

Введение

Интенсивные исследования последних лет по созданию способов оценки антиоксидантных (АО) свойств различных веществ свидетельствуют о том, что проблема разработки новых, экспрессных, универсальных и доступных методик для их определения остается актуальной [1–3].

Существующие способы контроля АО, основаны на применении хроматографических [4–8], спектрофотометрических [9,10] и хемилюминесцентных [11–13] методов, которые характеризуются как трудоемкие, длительные и дорогостоящие. Результаты исследований часто непоставимы, поскольку получены с использованием различных модельных систем [14]. Остается открытым вопрос: каким должен быть критерий оценки антиоксидантной активности веществ? Что следует принимать за эталон антиоксидантной активности (АОА)? Для ответа на поставленные вопросы необходима адекватная система оценки антиоксидантной активности, позволяющая пра-

вильно интерпретировать полученные результаты и проводить их сравнение с разными модельными системами. Таким образом, проблема определения АОА заключается не столько в методическом и инструментальном подходе, сколько в методологическом.

Практически всеми исследователями, занимающимися проблемами определения антиоксидантной активности природных и синтетических антиоксидантов отмечается, что основное свойство АО заключается в их способности легко окисляться и принимать участие в радикальных и окислительно-восстановительных реакциях, что сопровождается передачей электронов. Поэтому определенную перспективу представляют способы определения антиоксидантной активности веществ с помощью электрохимических методов, которые характеризуются низкой себестоимостью, высокой чувствительностью, возможностью анализировать как водные, так и неводные среды.

В настоящее время из способов определения антиоксидантной активности веществ с использованием элект-

трохимических методов анализа можно выделить: кулонометрические [15,16], потенциометрические [18–21], амперометрические [5,17,22], вольт-амперометрические [23,24].

Все эти методы имеют свои достоинства, но и не лишены недостатков. В этих методах суммарная антиоксидантная активность определяется по ингибированию сигнала в присутствии антиоксидантов в модельной или естественной медиаторной системе.

Учитывая, то, что вольтамперометрический метод, как и сами антиоксиданты, весьма чувствителен к наличию в среде растворенного кислорода и его активных радикалов, Томскими учеными Ю.А. Карбаиновым, Е.И. Коротковой др. был предложен новый подход к определению суммарной антиоксидантной активности объектов, используя в качестве модельной медиаторной системы процесс электровосстановления кислорода в отсутствие и при наличии в растворе антиоксидантов различного происхождения [24–26].

Установленные закономерности процесса электрохимического восстановления O_2 в присутствии антиоксидантов позволяют более оптимально использовать данный процесс в аналитических целях.

Целью настоящего исследования является развитие вольтамперометрического принципа электрохимического определения суммарной антиоксидантной активности веществ и разработка новых алгоритмов ее определения с использованием разработанного амперометрического датчика.

Материалы и методы

В работе использовали универсальный полярограф ПУ-1, подключенный к компьютеру посредством 8-ми битной звуковой карты [27]. Вольтамперограммы снимали в стеклянной ячейке по трех- и двухэлектродным схемам подключения. Рабочий электрод представлял собой посеребряную или амальгамированную медную проволоку. Вспомогательный электрод — стержень из углеродистого графита

марки СУ и очищенная медная проволока. В трех-электродной схеме все измерения проводились относительно насыщенного хлорсеребряного электрода ЭВЛ-1МЗ.

Серебрение рабочего электрода, проводили, опуская очищенную концентрированной азотной кислотой и затем отмытую дистиллированной водой медную проволоку диаметром 1 мм в 0,1 М раствор $AgNO_3$ на 5 минут. Затем электрод высушивали при 110^0 С, полировали фильтровальной бумагой, и вновь погружали в раствор азотнокислого серебра. Операцию проводили 3–4 раза до образования на поверхности однородного покрытия серебром.

Амальгамирование проводили аналогичным способом, погружая очищенную медную проволоку в 0,1 М раствор $Hg(NO_3)_2$.

В работе также были использованы иономер И-130 М (ЗИП, Гомель, Беларусь), работающий в режиме рН метра, со стеклянным электродом марки ЭСЛ-63Г и кислородомер Теспомiers 5221 (Польша).

В качестве испытуемых растворов были использованы растворы аскорбиновой кислоты известной концентрации, по 0,2 мл которых вводили в ячейку с фоновым электролитом (0,05 М фосфатный буфер, рН 6,86 и 0,05М тетраборатный буфер с рН 9,18).

Исследованиям на антиоксидантную активность подвергались вещества растительного и животного происхождения, а также некоторые напитки.

Результаты и обсуждение

Известно, что электровосстановление кислорода на электроде идет в несколько стадий с генерацией на поверхности электрода активных форм кислорода [28]:

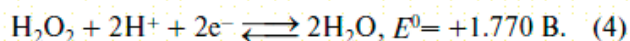
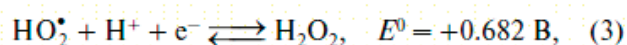
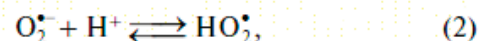
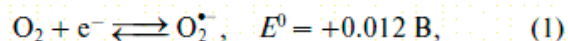


Таблица 1. Группы веществ, различающихся по характеру влияния на процесс электровосстановления (ЭВ) кислорода

№ группы	Название веществ	Влияние на ЭВ O_2	Предполагаемый электродный механизм
1.	Металлокомплексы: каталаза, фталоцианины, порфирины металлов, гуминовые кислоты	Увеличение тока ЭВ O_2 , сдвиг потенциала в отрицательную область	Механизм ЕС с частичной регенерацией молекулярного кислорода
2.	Соединения фенольной природы, витамины А, Е, С, В, флавоноиды, убихиноны, глюкоза	Уменьшение тока ЭВ O_2 , сдвиг потенциала в положительную область	Механизм ЕС
3.	N, S, Se-содержащие соединения, амины, аминокислоты, активные альдегиды	Уменьшение тока ЭВ O_2 , сдвиг потенциала в отрицательную область	Механизм СЕС

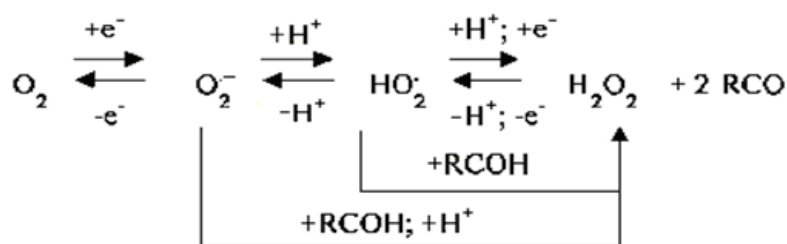
Примечание: Е — электродная стадия процесса, С — химическая реакция

Для определения активности антиоксидантов авто-рами [28,29] было предложено использовать первую волну электровосстановления O_2 , соответствующую стадиям (1)–(3), когда на поверхности индикаторного электрода образуются активные кислородные радикалы и перекись водорода как конечный продукт. Однако, при оценке влияния природы антиоксидантов на процесс электровосстановления кислорода было замечено, что они по-разному влияют на данный процесс, при этом сами не являясь электрохимически активными в данной области потенциалов ($E = 0... -1.0$ В). Поэтому все известные антиоксиданты разбили на три группы (табл. 1.) [29].

Из указанных групп вторая группа веществ наиболее многочисленная, так как именно эти вещества от-

носят к классическим АО. Вещества этой группы уменьшали ток электровосстановления O_2 , сдвигая потенциал в положительную область и проявляя механизм ЕС с последующими химическими реакциями взаимодействия АО с активными кислородными радикалами. Предполагается, что вещества третьей группы взаимодействуют преимущественно по СЕ_механизму с молекулярным кислородом, растворенным в электролите, или СЕС_механизму с предшествующей и последующей химическими реакциями взаимодействия АО с O_2 и продуктами его восстановления.

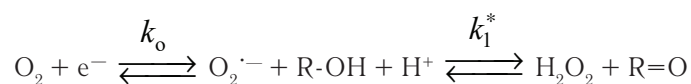
Возможная модель этого процесса может быть представлена следующей схемой: [26,29].



где RCOH и RCO восстановленная и окисленная формы вещества-антиоксиданта, соответственно.

Из предложенной модели следует, что ЭВ O_2 — сложный, многостадийный процесс, причем реализация каждой стадии, ее обратимость, кинетические параметры

зависят от ряда факторов. Поэтому в данном случае целесообразно рассматривать лишь замедленную стадию катодного восстановления кислорода, что значительно упрощает схему электродного процесса ЭВ O_2 для средних значений pH: $3 < pH < 10$ в водных средах:



Основываясь на этой схеме, нами был исследован электрохимический процесс электровосстановления кислорода на электродах из различных материалов, а также адекватность получаемого аналитического сигнала на наличие в растворе антиоксидантов.

На рисунке 1. представлены вольтамперные зависимости ЭВ O_2 на посеребряном и амальгамированном электродах в фоновом электролите без и в присутствии антиоксиданта (аскорбиновой кислоты) на фоне фосфатного и тетраборатного буферных растворов с pH 6,86 и 9,18 соответственно.

Как видно из рисунков потенциал поляризации первой волны электровосстановления растворенного кислорода для амальгамированного электрода смещается в область более отрицательных значений, по сравнению с таковыми для посеребряного электрода. Для посеребряного электрода значения предельного тока также выше, чем для амальгамированного.

На рисунке 2 представлены поляризационные кривые для этих же электродов на фоне тетраборатного буфера с pH 9,18.

Предельные токи электровосстановления кислорода в присутствии антиоксиданта ниже значений, получаемых на фоне фосфатного буфера с pH 6,86 и значения потенциала поляризации смещаются в менее отрицательную область.

Поляризационные кривые ЭВ кислорода на амальгамированном электроде при pH 9,18, полученные в присутствии антиоксидантов чая показывают явную зависимость величины тока деполяризации индикаторного электрода от концентрации вещества-антиоксиданта.

На рис. 4 приведены зависимости величины предельного тока от концентрации раствора аскорбиновой кислоты для посеребряного (1) и амальгамированного (2) электродов. Коэффициенты регрессии R^2 для этих зависимостей составляют 0,988 и 0,984 соответственно, что, в принципе, равнозначно. Тангенсы углов наклона градуировочного графика в первом случае несколько больший: $tg \alpha_1 = 0,3838$ и $tg \alpha_2 = 0,3057$ соответственно.

Таким образом, проведенные исследования показали, что посеребряный и амальгамированный электроды

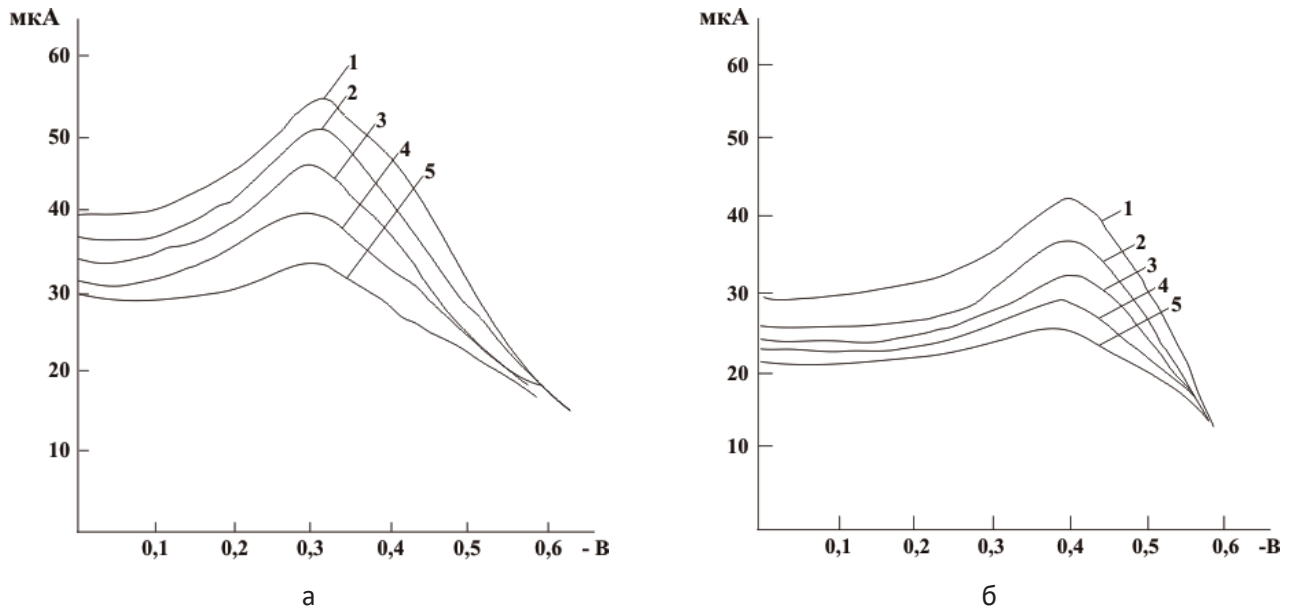


Рис. 1. Поляризационная кривая ЭВ O_2 на посеребряном (а) и амальгмированном (б) электроде в фосфатно-буферном растворе с рН 6,86, содержащим различные концентрации аскорбиновой кислоты.

1 — фон; 2 — 0,25% аскорбиновой кислоты; 3 — 0,50% аскорбиновой кислоты;
4 — 0,75% аскорбиновой кислоты; 5 — 1,0% аскорбиновой кислоты

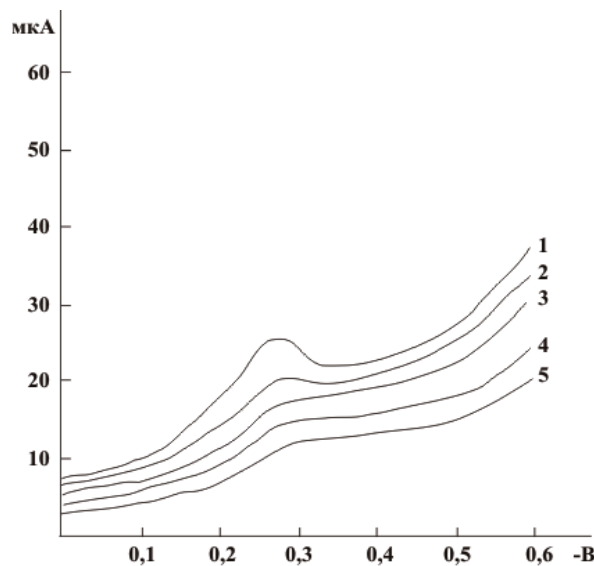


Рис 2. Поляризационная кривая ЭВ O_2 на посеребряном электроде. (рН 9,18):
1 — фон, 2 — 0,25% аскорбиновой кислоты, 3 — 0,50% аскорбиновой кислоты,
4 — 0,75% аскорбиновой кислоты, 5 — 1,0% аскорбиновой кислоты

дают адекватный отклик на присутствие в растворе вещества-антиоксиданта. В то же время посеребряный электрод в большей мере отвечает требованиям экологичности анализа.

Результаты проведенных исследований послужили основанием для разработки портативного амперометрического датчика для измерения суммарной антиоксидантной активности веществ [30].

В основе метода лежит измерение тока деполяризации рабочего электрода, в процессе катодного электровосстановления (ЭВ) растворенного в буферной среде кисло-

рода до и после введения в электрохимическую ячейку вещества-антиоксиданта.

На рисунке 5 показаны принципиальная схема (а), общий вид (б) и способ использования амперометрического датчика для определения суммарной АОА.

Датчик включает в себя рабочий электрод — катод из посеребряной медной проволоки диаметром 1 мм и вспомогательный электрод из медной проволоки или углеграфитового стержня, диаметром 1–2 мм. На катод накладывается опорное напряжение — 500 мВ от источника постоянного тока (батарейки). Этот потенциал, соответ-

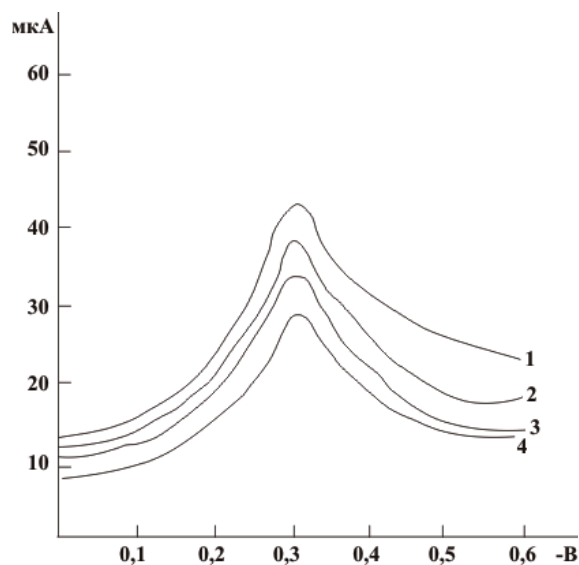


Рис. 3. Поляризационная кривая ЭВ O_2 на амальгмированном электроде. (рН 9,18):
1 — фон, 2 — настой зеленого чая. Разбавление 1:4, 3 — настой зеленого чая. Разбавление 1:2,
4 — настой зеленого чая исходной концентрации

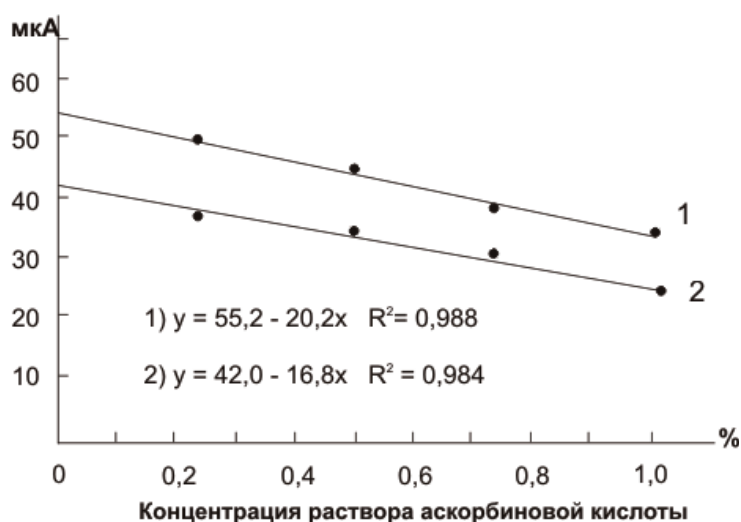


Рис. 4. Концентрационные зависимости предельного тока от концентрации аскорбиновой кислоты для посеребряного (1) и амальгмированного (2) электродов

ствует первой волне ЭВ кислорода в слабо протонированных растворах. Датчик подключен к измерительно-задающему устройству через микросхему — операционный усилитель, обеспечивающую индикацию максимального тока деполяризации, а также возможность установления диапазона шкалы.

Перед началом работы датчик калибруют, погрузив его в буферный раствор (0,5 М фосфатный буфер, рН = 6,86). Показания на цифровом табло с помощью резистора на корпусе устройства устанавливают на «0». Затем в буферный раствор вводится дозируемый объем раствора вещества — антиоксиданта, например аскорбиновой кислоты, определенной концентрации, и показания прибора с помощью второго резистора устанавливают на «100».

С помощью откалиброванного прибора производят измерения АОА других биопрепаратов. Таким образом, АОА растворов веществ может быть измерена в процентах относительно аскорбиновой кислоты (или другого антиоксиданта).

Небольшие габариты задающе-измерительного устройства позволяют разместить его на запястье правой руки оператора с помощью ремешка-«репейника».

Работоспособность любого аналитического устройства будет характеризоваться воспроизводимостью результатов измерения. В нашем случае этот параметр напрямую связан с характеристиками рабочего электрода. В связи с этим была изучена динамика изменения аналитического сигнала датчика с посеребряным рабочим элект-

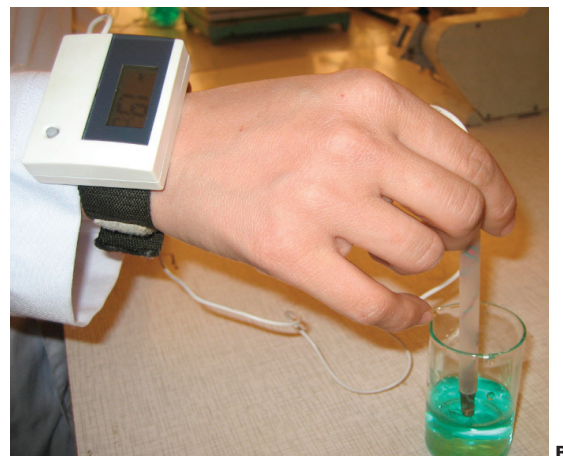
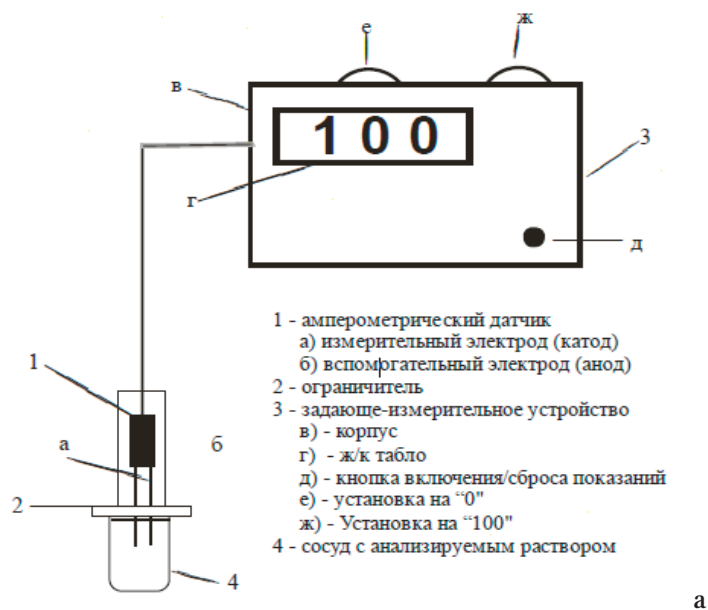


Рис. 5. Принципиальная схема (а), общий вид (б) и способ использования (в) амперометрического датчика для определения суммарной АОА

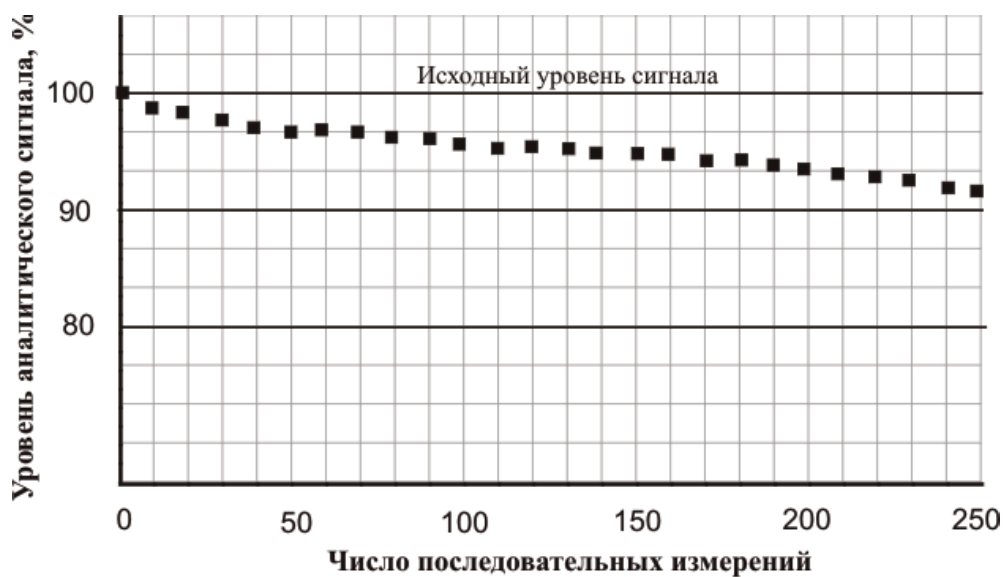


Рис. 6. Динамика изменения аналитического сигнала рабочего электрода (посеребрянная медная проволока) во времени

Таблица 2. Результаты оценки антиоксидантной активности некоторых веществ

Наименование препарата, обладающего АОА	Разведение исходного раствора		
	1:10	1:4	1:2
Зеленый чай	45	55	65
Танин	18	24	35
Шалфей	25	35	45
Ромашка	35	45	55
Дрожжи	55	70	85
Красное вино	64	95	110

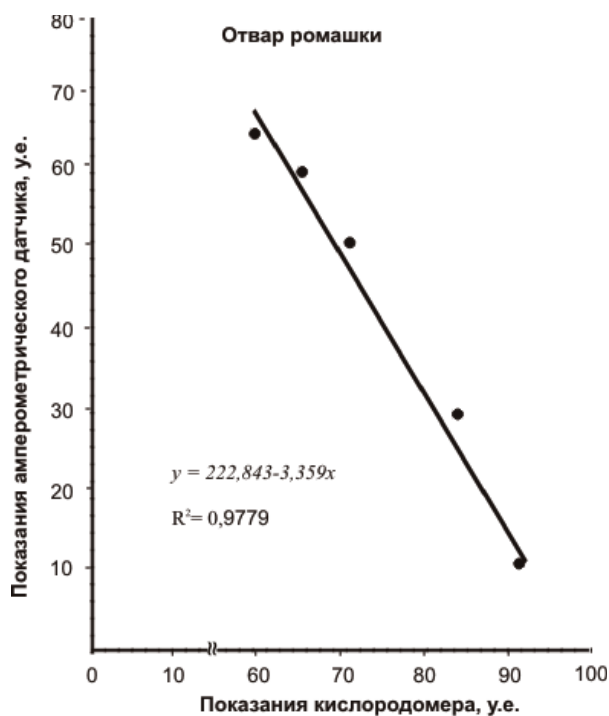
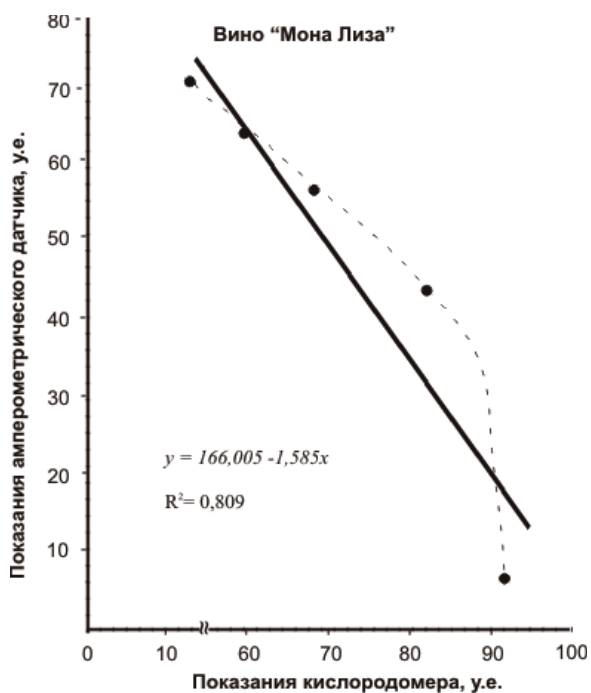
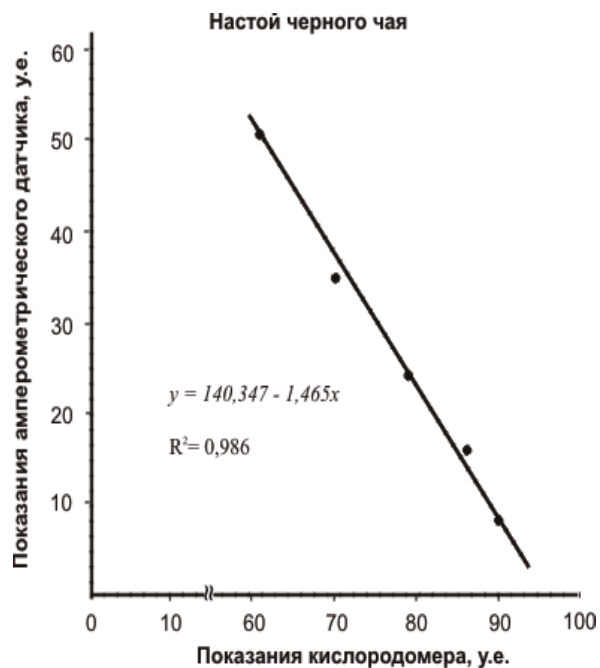
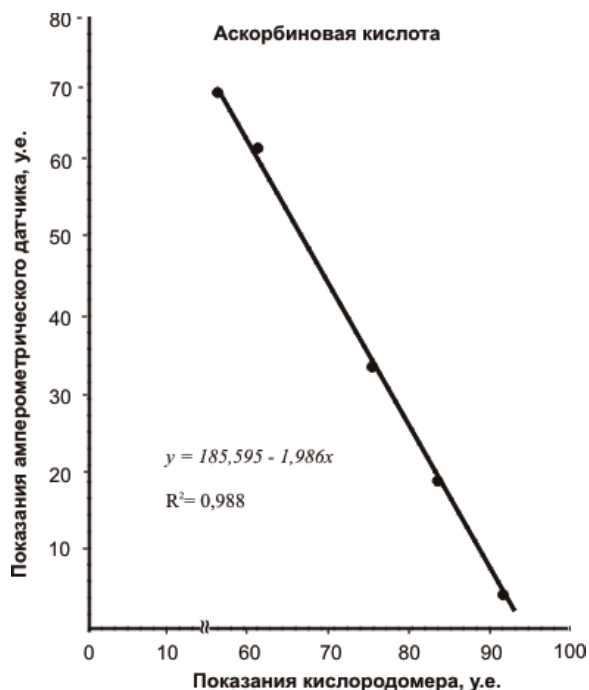


Рис. 7. Корреляция аналитического сигнала, получаемого различными методами для растворов некоторых антиоксидантов

родом во времени, позволяющая установить оптимальный срок службы электрода без дополнительной регенерации.

Были проведены серии измерений стабильности показаний датчика по 10 измерениям в каждой серии. За время, ограничивающее службу рабочего электрода, принималось 10% уменьшение сигнала.

Результаты наблюдения представлены на рисунке 6.

Как следует из этой диаграммы, ресурс работы индикаторного электрода соответствует не менее 250 измерениям. После этого следует провести очередную регенерацию, заключающуюся в очистке поверхности электрода раствором азотной кислоты и нанесения на нее слоя серебра. Таким образом, при лабораторной эксплуатации датчика ресурс его работы может составить 7–10 суток. Это вполне приемлемо, учитывая тот факт, что регенерация поверхности рабочего электрода не является трудоемкой и сложной операцией.

В ходе лабораторных исследований было проведено измерение антиоксидантной активности водно-спиртовых растворов веществ растительного и животного происхождения, а также некоторых напитков (красное вино). За 100% АОА принималось значение активности 1% раствора аскорбиновой кислоты. Были исследованы настои зеленого чая, танина, шалфея, ромашки, пивных дрожжей, вина. Во всех случаях, кроме измерения АОА дрожжей, применялись 1% растворы указанных веществ. Зеленый чай, ромашку и шалфей (1 г сухого веса) настаивали в дистиллированной воде при $t = 55^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут с последующим охлаждением до комнатной температуры. Дрожжи в количестве 100 мг разводили в 10 мл дистиллированной воды.

Нами уже отмечалось, что антиоксидантная активность веществ обусловлена их способностью связывать молекулярный кислород и его радикалы в растворах электролитов. С целью установления адекватности получаемого аналитического сигнала датчика именно с присутствием в растворе вещества антиоксиданта, нами проведено сравнение результатов измерения с помощью электрода

Кларка и разработанного амперометрического датчика. Результаты измерений сведены в таблицу 2.

Для этого электрод Кларка, подключенный к соответствующему разъему кислородомера Теспомiers 5221, погружали в ячейку — стакан с 20 мл дистиллированной воды. На чувствительности «50» измерительной шкалы кислородомера выставляли максимальное значение (у нас это соответствовало «90»). Затем с помощью микропипетки вводили в ячейку раствор вещества-антиоксиданта с шагом 0,1 мл. После каждого добавления записывали показания шкалы кислородомера. Параллельно проводили замеры с помощью амперометрического датчика. Результаты измерений представлены корреляционными зависимостями на рисунках 7.

Как видно из корреляционных зависимостей аналитический сигнал, получаемый с помощью разработанного амперометрического датчика, хорошо согласуется с измерениями концентрации растворенного кислорода.

Коэффициент корреляции, за исключением вина «Мона Лиза» составляет 0,98. Сравнительно низкая корреляция $R^2 = 0,8$ для красного десертного вина «Мона Лиза» может быть объяснена, тем, что в вине помимо антиоксидантов фенольной природы содержатся антиоксиданты, относящиеся к 3-ей группе (табл. 1), а именно N, S, Se-содержащие соединения, амины, аминокислоты, активные альдегиды.

Разработанный амперометрический датчик был использован в оценке относительной антиоксидантной активности водно-спиртовых экстрактов растений и аптечных сборов. В качестве сравнения был аналитический сигнал датчика в 1% водном растворе аскорбиновой кислоты, который принимали за 1 (100%).

Результаты исследований представлены диаграммой на рис. 8.

Как видно из приведенного рисунка, исследуемые экстракты растений обладают различной антиоксидантной активностью. При этом спиртовые растворы, как правило, имеют большие значения суммарной АОА.

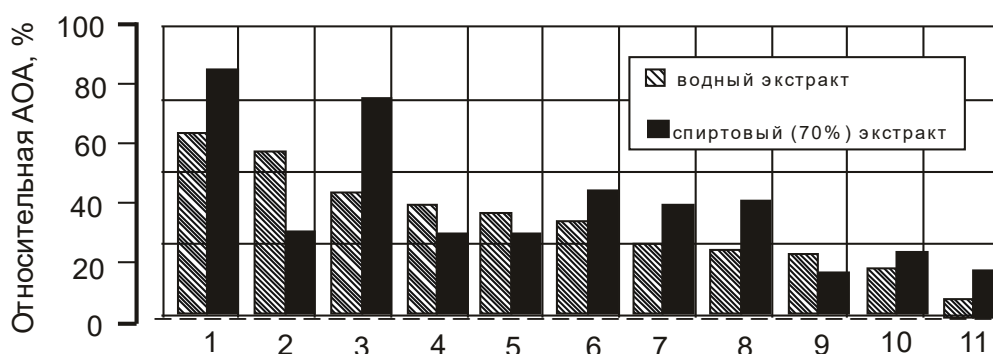


Рис. 8. Относительная антиоксидантная активность водно-спиртовых растворов некоторых растений и аптечных сборов (стандарт 1% раствор аскорбиновой кислоты): 1 — сок алоэ, 2 — родиола розовая, 3 — облепиха, 4 — лист смородины, 5 — кора дуба, 6 — листья подорожника, 7 — корни полыни обыкновенной, 8 — кукурузные рыльца, 9 — цветы тысячелистника обыкновенного, 10 — зверобой, 11 — цветы одуванчика обыкновенного

Полученные результаты свидетельствует о том, что предлагаемый способ оценки АОА препаратов может быть использован для скрининга веществ антиоксидантов природного и синтетического происхождения.

Литература:

1. Владимиров Ю. А. Свободные радикалы и антиоксиданты // Вестн. АМН РФ. — 1998. — № 7. — С. 43–51.
2. Будников Г. К., Зиятдинова Г. Л. Антиоксиданты как объекты биоаналитической химии // Журн. аналит. химии. — 2005. — Т. 60, № 7. — С. 678–691.
3. Лапин А. А., Борисенков М. Ф., Карманов А. П. и др. Антиоксидантные свойства продуктов растительного происхождения // Химия растит. сырья. — 2007. — № 2. — С. 79–83.
4. Семенистая Е. Н., Ларионов О. Г. Изучение состава и антиоксидантной активности растительных экстрактов методом ВЭЖХ с УФ- и амперометрическим детектированием // Хим. — фарм. журнал. — 2008. — Т. 42. — С. 43–48.
5. Яшин Я. И., Яшин А. Я. Анализ пищевых продуктов и напитков методами высокоэффективной жидкостной и ионной хроматографии с электрохимическими детекторами // Журн. аналит. химии. — 2004. — Т. 59, № 12. — С. 1237–1243.
6. Кочетова М. В., Семенистая Е. Н., Ларионов О. Г., Ревина А. А. Определение биологически активных фенолов и полифенолов в различных объектах методами хроматографии // Успехи химии. — 2007. — Т. 76, № 1. — С. 89–100.
7. Alonso-Salces R. M., Barranco A., Corta E., Berrueta A., Gallo B. Validated solid–liquid extraction method for the HPLC determination of polyphenols in apple tissues: comparison with pressurized liquid extraction // Talanta. — 2005. — Vol. 65. — P. 654–662.
8. Weiss D. J., Anderton C. R. Determination of catechins in matcha green tea by micellarelectrokinetic chromatography // J. Chromatogr. A. — 2003. — Vol. 1011. — P. 173–180.
9. Машенцева А. А., Казбекова А. Т., Сейтеметов Т. С. Оптические методы исследования антиоксидантной активности полифенольных соединений и экстрактов на основе растительного сырья *in vitro* и *in vivo* // Вестн. КарГУ. Сер. Химия. — 2009. — № 1(53). — С. 26–34.
10. Горячева Н. Г., Кочетова М. В., Шаненко Е. Ф., Ревина А. А., Ларионов О. Г. Исследование фенольных соединений экстракта хмеля с помощью спектрофотометрического метода и ВЭЖХ // Пиво и жизнь. — 2003. — Т. 37, № 2. — С. 27–34.
11. Теслюк О. И., Бельтюкова С. В., Ливенцова Е. О. Определение кофеина по тушению сенсibilизированной люминесценции комплексного соединения иона Tb(III). // Вісник ОНУ. Сер. Хімія. — 2013, Т. 18, вип. 1(45). — С. 57–62.
12. Бельтюкова С. В., Бичкова Г. О. Люмінесцентне визначення суми поліфенольних сполук у лікарських рослинах // Фармацевтичний журнал. — 2001. — № 5. — С. 82–86.
13. Бельтюкова С. В., Бычкова А. А. Определение катехинов методом твердофазной люминесцентной спектроскопии // Методы и объекты хим. анализа. — 2012. — Т. 7, № 2. — С. 76–81.
14. Хасанов В. В., Рыжова Г. Л., Мальцева Е. В. Методы исследования антиоксидантов // Химия растительного сырья. — 2004. — № 3. — С. 63–95.
15. Абдуллин И. Ф., Турова Е. Н., Будников Г. К. Кулонометрическая оценка антиоксидантной способности экстрактов чая электрогенерированным бромом // Журн. аналитической химии. — 2001. — Т. 56. — № 6. — С. 627–629.
16. Абдуллин И. Ф., Турова Е. Н., Будников Г. К., Зиятдинова Г. К., Гайсина Г. Х. Электрогенерированный бром — реагент для определения антиоксидантной способности соков и экстрактов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2002. — Т. 68. — № 9. — С. 12–15.
17. Патент РФ № 2238554. Способ определения суммарной антиоксидантной активности биологически активных веществ / Пахомов В. П., Яшин Я. И., Яшин А. Я., Багирова В. Л., Арзамасцев А. П., Кукес В. Г., Ших Е. В.
18. Брайнина Х. З., Иванова А. В., Шарафутдинова Е. Н. Оценка антиоксидантной активности пищевых продуктов методом потенциометрии // Известия высших учебных заведений // Пищевая технология. — 2004. — № 4. — С. 73–75.
19. Патент РФ № 2235998 Способ измерения антиоксидантной активности веществ / Брайнина Х. З., Иванова А. В. Заявл. 14.11.2002. Оpubл. 10.09.2004. Бюл. № 25.
20. Brainina Kh., Ivanova A., Sharafutdinova E. et al Potentiometry as a method of antioxidant activity investigation // Talanta. — 2007. — Vol. 71. — Issue 1. — P. 13–18.
21. Аронбаев Д. М. Апробация метода и прибора для определения антиоксидантной активности лекарственных растений и фитосборов на их основе // Inter-Medical. — 2015. — № 8. — С. 17–21.
22. Яшин А. Я., Яшин Я. И., Черноусова Н. И., Пахомов В. П. Новый прибор для определения природных антиоксидантов. М.: 2005. — 100 с.
23. Короткова Е. И., Аврамчик О. А., Юсубов М. С., Белоусов М. В. Определение антиоксидантной активности экстрактов растительного сырья методом катодной вольтамперометрии // Химико-фарм. журн. — 2003. — Т. 37, № 9. — С. 55–58.

24. Короткова Е. И. Новый способ определения активности антиоксидантов // Журн. физ. химии. — 2000. — Т.74, № 9. — С. 1704–1706.
25. Патент РФ № 2224997. Вольтамперометрический способ определения антиоксидантной активности веществ / Короткова Е. И., Карбаинов Ю. А.
26. Аврамчик О. А. Закономерности процесса электровосстановления кислорода в присутствии антиоксидантов и их применение в аналитической практике // Автореф. дис. ... канд. хим. наук — Томск, 2006. — 21 с.
27. Аронбаев с. Д., Насимов А. М., Аронбаев Д. М., Насыров Р. Х. Компьютеризированный аналитический комплекс для инверсионной вольтамперометрии на базе универсального полярографа ПУ-1. // Научный вестник Самаркандского Государственного Университета. — 2009. — № 1(53). — С. 47–50.
28. Korotkova E. I., Karbainov Y. A., Shevchuk A. V. Study of antioxidant properties by voltammetry // Journal of Electroanalytical Chemistry. — 2002. — V. 518. — N1. — P. 56–60.
29. Короткова Е. И. Вольтамперометрический метод определения суммарной антиоксидантной активности антиоксидантов в объектах искусственного и природного происхождения. // Дисс. ...доктора хим.наук. — Томск, 2009. — 399 с.
30. Аронбаев Д. М., Тен В. А., Насимов А. М., Аронбаев С. Д., Кабулов Б. А. Амперометрический датчик для измерения суммарной антиоксидантной активности биопрепаратов // Тез.докл. II съезд Аналитика России 23–27 сентября 2013 г. Москва, с. 157.

Разработка технологии производства этил-трет-бутилового эфира на базе технологической схемы производства метил-трет-бутилового эфира

Кравченко Нелли Александровна, магистрант;
Морковкина Анастасия Дмитриевна, магистрант;
Рахимова Надежда Александровна, доктор химических наук, профессор
Волгоградский государственный технический университет

В настоящей работе производится анализ существующих производств присадок для дизельного топлива. Выбрана наиболее эффективная присадка из ряда рассмотренных — метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), предложен способ усовершенствования существующего производства МТБЭ путем замены его на этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ). Представлена разработанная технологическая схема синтеза ЭТБЭ.

Ключевые слова: дизельное топливо, кислые катализаторы, адиабатический реактор, МТБЭ, ЭТБЭ

Бензины, поступающие на продажу, представляют собой объединенные компоненты бензиновых смесей. Наибольшим октановым числом характеризуются бензины риформинга, изомеризации бензиновых фракций, алкилирования. Наименьшее октановое число у прямогонных бензинов, а также бензиновых фракций, образующихся в различных термических процессах [1]. Современные действующие экологические стандарты, такие, как ЕВРО-4 и ЕВРО-5 регламентируют содержание ряда компонентов этих фракций, поэтому получение бензинов оптимального качества и характеристик достигается путем добавления к смеси фракций присадок.

На данный момент наиболее часто используемыми присадками выступают: метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), диизопропиловый эфир (ДИПЭ), этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ); монометиланилин (ММА).

Наибольшим спросом пользуется МТБЭ, который производится с 1979 года. Он обладает наибольшим октановым числом среди своих гомологов и аналогов (110 и 125 по ММ и ИМ, соответственно). Реакция присоеди-

нения спиртов к изобутилену в присутствии соответствующих катализаторов — основная реакция для получения МТБЭ.

Но существуют некоторые экологические проблемы с использованием МТБЭ — вероятность его накопления в почвах и грунтовых водах в случае утечек, а также, сам МТБЭ и метанол, который используется при его производстве, токсичны. Таким образом, в последние годы наблюдается тенденция на снижение производства и потребления МТБЭ.

В США к настоящему времени от использования МТБЭ отказались, в странах ЕС наложены ограничения. Таким образом, острой стоит проблема замены МТБЭ на менее токсичный аналог, позволяющий обеспечить объемы производства топлив с заданными характеристиками при сохранении экономической эффективности. Таким аналогом выступает этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ), получаемый реакцией присоединения этанола к изобутилену [2].

Добавка в топлива до 15% ЭТБЭ регламентирована, а существующие мощности по производству МТБЭ могут

быть модернизированы на производство ЭТБЭ. В отличие от МТБЭ, ЭТБЭ обладает рядом достоинств, таких как: большая доступность биоэтанола в сравнении с метанолом, а также хорошая биоразлагаемость в природных условиях. Однако, антидетонационное число ЭТБЭ несколько ниже, но не влияет на эффективность его использования.

В России производство ЭТБЭ отсутствует, но при этом РФ является крупным производителем МТБЭ. Совершенствование методов производства ЭТБЭ заключается в разработке эффективных катализаторов, а также обеспечении высоких технологических показателей процесса.

Также следует отметить, что в настоящее время производство ЭТБЭ в России отсутствует, поэтому актуальной является задача поиска путей перевода существующих производственных мощностей МТБЭ на производство ЭТБЭ [3].

Экологические исследования показали, что МТБЭ сильнодействующее ядовитое вещество — может вызывать рак почек и печени. Он быстро испаряется из открытых контейнеров и хорошо растворяется в воде. Попадая, в грунтовые воды при авариях или разливах бен-

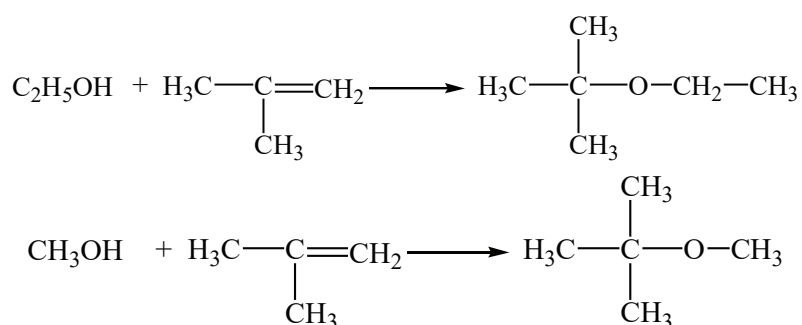
зина МТБЭ впоследствии попадает в водозаборные сооружения и питьевую воду [4].

ЭТБЭ получают в аналогичных условиях и на том же оборудовании, что и метил-трет-бутиловый эфир. Условия синтеза ЭТБЭ из изобутилена и этилового спирта: температура ниже 100°C и давление 1–2МПа в условиях кислотного катализа.

Следовательно, российские нефтепереработчики могут не повторять ошибку промышленно-развитых стран — не увеличивая производство МТБЭ приступить к вводу новых мощностей по производству ЭТБЭ.

Таким образом, в технологию производства вносится основное изменение — замена метилового спирта на этиловый. Произведем оценку возможности такой замены с сохранением технологии и оценим возможность использования технологической схемы производства МТБЭ для производства ЭТБЭ [5].

Химические свойства этанола и метанола аналогичны, и они вступают в одинаковые химические реакции, за исключением того, что метанол не вступает во внутримолекулярную дегидратацию [6]. Реакция алкоксилирования с алкенами в присутствии кислых катализаторов представлена следующими уравнениями:



Использование той же технологии для получения ЭТБЭ возможно исходя из вывода, что реакция алкоксилирования изобутилена будет протекать для этанола в тех же условиях, что и для метанола.

Проведем оценку различия физических свойств кислородсодержащих соединений для установления возможности усовершенствования существующих технологических схем производства МТБЭ и их перенастройки для производства ЭТБЭ [3].

Ниже представлена характеристика кислородсодержащих соединений (Таблица 1).

Отличие в теплотах испарения незначительное, причем этанол имеет теплоту испарения ниже, чем метанол. Это дает основание предполагать, что для испарения и конденсации ЭТБЭ и этанола может быть использовано то же самое теплообменное оборудование, что и для метанола и МТБЭ и те же самые теплоносители [2]. С учетом того, что при проектировании в теплообменное оборудование

Таблица 1. Качественные характеристики кислородсодержащих соединений [7].

Характеристика	МТБЭ	Метанол	ЭТБЭ	Этанол
Плотность, кг/м ³	746	810	750	794
Температура кипения, °С	55,3	64,7	72,8	78,3
Теплота сгорания, низшая кДж/л	26 260	22700	26 910	21 285
Теплота испарения кДж/кг	337	1172	321	854
ИОЧ смеси (без ТЭС)	118	116	118	120
МОЧ	101	98	101	99
Чувствительность (ИОЧ-МОЧ)	17	18	17	21
Растворимость в воде, % мас. (при 20°C)	4,5	100	0,1	100

уже заложен некоторый запас по производительности, то потребуются только его перенастройка. Плотности спиртов и эфиров также отличаются незначительно, поэтому при той же производительности объемные расходы спиртов не изменятся значительно.

Технологическая схема производства ЭТБЭ должна включать следующие стадии:

- 1) стадия подготовки сырья;
- 2) стадия химического превращения;
- 3) стадия выделения продукта;
- 4) стадия регенерации непрореагировавших реагентов.

На первой стадии подготовки сырья необходимо произвести нагревание сырьевых потоков бутан-бутиленовой фракции и этанола до требуемых температур 60 и 50–60°C, соответственно.

На предприятиях органического и нефтехимического синтеза для нагревания материальных потоков до температур, не превышающих 180–200°C наиболее часто используют водяной пар, который обычно находится под избыточным давлением до 12 атмосфер. Данным требованиям удовлетворяют кожухотрубные теплообменные аппараты.

Процесс синтеза ЭТБЭ из изобутилена и этанола проводят в жидкой фазе на гетерогенных катализаторах — ионообменных смолах, при температуре 50–80°C и избыточном давлении 6–12 атм. Время контакта — 30–40 минут.

Как основной аппарат применяется адиабатический реактор со стационарным слоем гетерогенного катализатора. Твердый сульфакатионитный катализатор размещается на полках в объеме реактора.

Содержание примесей в ЭТБЭ невелико, поэтому отделение этанола и углеводородов может быть достигнуто сухой отпаркой, вместо дорогостоящей ректификации. Данный процесс осуществляется в тарельчатом колонном аппарате, снабженном кипятильником. Исходная смесь подается в верхнюю часть аппарата и жидкость стекает вниз, проходя тарелки и насыщаясь более высококипящим компонентом — ЭТБЭ, а пары этанола и углеводородов поднимаются вверх колонны и направляются в низ ректификационного аппарата первой ступени. С низа аппарата сухой отпарки отводится товарный очищенный ЭТБЭ. Перед перекачкой ЭТБЭ в товарный парк предприятия его требуется охладить, что может быть осуществлено в кожухотрубном теплообменном аппарате, охлаждаемом оборотной водой.

Выходящие с верха ректификационного аппарата первой ступени пары состоят из этанола, отработанной бутан-бутиленовой фракции и воды, а также небольших количеств ЭТБЭ. Перед разделением смесь необходимо конденсировать, что может быть осуществлено в кожухотрубном конденсаторе. Также часть конденсированной смеси может быть отправлена на орошение ректификационного аппарата первой ступени для поддержания

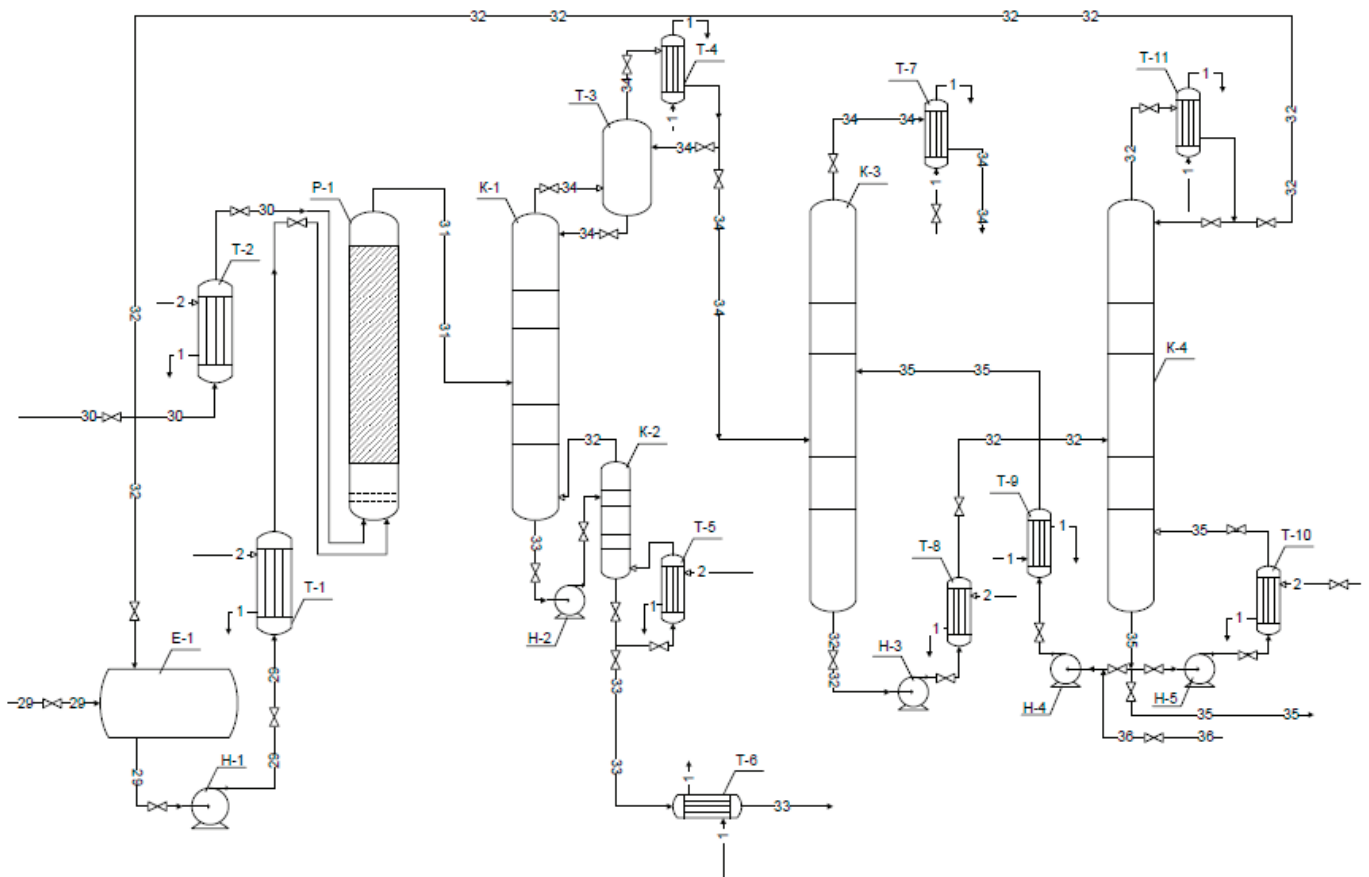


Рис. 1. Установка синтеза этил-трет-бутилового эфира

Таблица 2. Обозначения для установки синтеза ЭТБЭ

Обозначение	Наименование
E-1	Емкость
H — 1-5	Насосы
T-1,2,8	Подогреватели
T-3	Конденсатор смешения
T-4,7,11	Конденсаторы
T-6,9	Холодильники
T-5,10	Котлы
K-1	Ректиф. колонна
K-2	Отпарная колонна
K-3	Экстрактор
K-4	Ректиф. колонна

температурного режима по высоте аппарата и обеспечения необходимого соотношения материальных потоков.

Сконденсированную жидкую смесь необходимо сначала разделить на углеводородную фракцию и водный этанол. С учетом сильного различия растворимости бутан-бутиленовой фракции и этанола в воде, они могут быть разделены экстракцией этанола водой.

Экстракцию в непрерывном режиме целесообразно осуществлять в колонном аппарате, в котором совмещены процессы экстракции и отстаивания. Для интенсификации массообмена внутри колонного аппарата могут быть размещены тарелки, насадка или другие устройства. Затем, обводненный этанол целесообразно подвергнуть ректификации, для отделения от воды и возврата этилена в процесс.

С учетом изложенного выше и опираясь на литературные данные была предложена технологическая схема процесса, представленная на рисунке 1.

Таким образом технологическая схема производства ЭТБЭ путем взаимодействия бутилена с этанолом на кислотном сульфатионитном катализаторе удовлетворяет следующим требованиям:

- обеспечивает получение этил-трет-бутилового эфира из данного сырья с максимальной эффективностью;
- обеспечивает получение продукции требуемого качества;
- эффективно использует сырье и энергоресурсы, обеспечивает рекуперацию тепла отходящих потоков и рецикл неиспользованных исходных реагентов;
- обеспечивает экологически-безопасное функционирование производства.

Литература:

1. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов/ С. А. Ахметов — Уфа: Гилем, 2002. — 672 с.
2. Barcelo D. Fuel Oxygenates. — Heidelberg: Springer, 2007. — 411 p.
3. Вильданов Ф.Ш., Латыпова Ф.Н., Чанышев Р.Р., Дамниев Р.Р. Производство этилтретбутилового эфира — перспективное направление использования биоэтанола в России. // Башкирский химический журнал, том 20, № 3, (2019), 145–149.
4. Lethbridge G. MTBE and groundwater contamination in the UK // Petroleum Review 2000. — 54, — № 646. — P. 50–52.
5. Пат. WO№ 2012143465 Use of 1,1-diethoxyethane for increasing knocking resistance of automotive gasoline / Vagabov M. Z., Vagabov R., Mangueva Z., Latypova F., Rakhmankulov E. // 2012–10–26.
6. Махмудов М. Ж., Хайитов Р.Р., Нарметова Г.Р. Современные требования к моторным топливам // Молодой ученый. — 2014. — № 21. — С. 179–181.
7. Научно-информационный справочник; Переработка нефти и нефтехимия за рубежом 1996 г. — № 1-С.15.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Системный подход к разработке и интеграции системы гибридной аварийной воздушной турбины гражданского пассажирского самолета

Ахметшин Тимур Разимович, студент

Кудерко Дмитрий Александрович, кандидат технических наук

Высшая школа системного инжиниринга Московского физико-технического института

В статье рассматриваются принципы системного подхода и основные процессы системной инженерии к разработке и интеграции аварийной воздушной турбины, предназначенной для обеспечения работы гидравлической системы и системы электроснабжения самолета при отказе всех основных источников питания.

Современный гражданский пассажирский самолет представляет собой большое количество взаимодействующих между собой систем и агрегатов, почти все они получают электрическую, пневматическую или гидравлическую энергию от силовых установок самолета.

При отказе всех электрогенераторов силовых установок самолета электропитание критические системы получают от аварийной системы электроснабжения, источником для которой являются авиационные аккумуляторы, вспомогательная силовая установка и/или аварийный электрический генератор ветровой турбины. Аварийным источником гидравлического питания являются гидравлические аккумуляторы и/или гидравлический насос аварийной ветровой турбины.

Случаи отказа обеих маршевых силовых установок очень редки вследствие высоких требований по надежности и отказобезопасности авиационных систем, однако такие случаи, при которых катастрофа была предотвращена в том числе при помощи выпуска аварийной ветровой турбины (АВТ), неоднократно отмечались:

— в авиационном происшествии 24 августа 2001 года над Атлантикой из-за утечки топливо остановились маршевые двигатели самолета Airbus A330, однако самолет смог совершить посадку, были сохранены жизни всех 293 пассажиров и 13 членов экипажа [1];

— в авиационном происшествии 12 июля 2000 года с самолетом Airbus A310 были спасены 150 пассажиров и членов экипажа;

— в авиационном происшествии 15 января 2009 года (знаменитая «посадка на Гудзон») после отказа обоих двигателей самолета Airbus A320 из-за попадания птиц удалось спасти жизни 155 человек, находившихся на борту.

Мировыми лидерами в разработке и производстве систем АВТ являются компании UTC Aerospace Systems, США, и GE Aviation systems, США. Указанные компании поставляют интегрированные системы АВТ, включая ветровые турбины, генераторы, гидронасосы, приводы выпуска и уборки АВТ, блоки и пульта управления.

АВТ относится к развитым техническим системам, патенты на изобретения к настоящему времени посвящены в основном отдельным аспектам усовершенствования конструкции; облик АВТ к настоящему времени в значительной мере сформирован, находящие применение в практике изобретения относятся к однотипным выпускаемым в поток из ниши или обтекателя и принадлежат крупным компаниям-производителям.

Патенты, относящиеся к АВТ, в основном относятся к следующим группам международного классификатора:

B64D41/00 — Силовые установки вспомогательного назначения

F03D9/00 — Приспособливание ветряных двигателей для особых целей

F01D15/00 — Турбомашины специального назначения

Большая часть публикуемых по теме изобретений патентуется в США основными мировыми поставщиками — компаниями UTC Hamilton Sandstrand и GE Aviation Systems, несколько меньше активность патентования у компаний Honeywell International Inc. и Advanced Technologies Group; кроме того, ряд изобретений в этой области принадлежит компании Boeing. В ЕС изобретения в области АВТ патентует компания Airbus, в России — ЗАО «ГСС», разработчик самолета SSJ-100.

Патенты посвящены упрощению конструкции АВТ, повышению безопасности ее работы, повышению отказоустойчивости системы, снижению массы, уменьшению

работ по техническому обслуживанию, что свидетельствует о зрелости технической системы АВТ [4–19].

АВТ в зависимости от потребностей самолета в аварийном питании, могут быть гидравлическими, электрическими или гибридными, обеспечивающими как гидравлическое, так и электрическое аварийное питание систем самолета. В данной работе рассматривается гибридная АВТ, поскольку она представляет собой более общий случай технической системы аварийного энергоснабжения гражданского пассажирского самолета с помощью ветровой турбины.

АВТ оснащены все гражданские пассажирские самолеты компаний Airbus и Boeing, ряд самолетов бизнес-авиации и региональных пассажирских самолетов компаний Embraer и Bombardier [20, 21].

В отечественной практике гидравлической АВТ оснащены самолеты Ту-204, 204СМ, Ту-214, Ту-334, Ан-12, Ан-22, Ан-70, Ан-148, Бе-200, Ил-96М, Ил-96–300. Электрическая АВТ установлена на SSJ-100, на самолетах семейства MC-21 применяется гибридная установка с электрическим генератором и гидравлическим насосом.

Разновидностью гибридной компоновки является система АВТ самолета А320, в которой на АВТ непосредственно установлен гидравлический насос, обеспечивающий аварийное гидропитание и вращение гидромотором вала аварийного электрического генератора, установленного отдельно от турбины [22].

В соответствии с методологией системной инженерии задача разработки системы начинается с рассмотрения и систематизации функциональных требований и ограничений системы и процессов ее разработки [23].

Специфика авиационных систем в этом отношении состоит в существенном влиянии на функциональные требования к системе и требования к организации процессов разработки нормативных квалификационных и сертификационных требований.

Разработчик системы в проекте создания авиационной системы взаимодействует по существенным техническим и организационным вопросам не только со своим непосредственным заказчиком, но и с авиационными властями (сертификационными и квалификационными центрами) [24].

Основные системные процессы, которые должны протекать на этапе разработки системы:

- планирование разработки системы;
- управление требованиями;
- проектирование, конструирование и интеграция системы;
- управление конфигурацией системы;
- управление интерфейсами система-самолет;
- управление техническими рисками на этапе разработки;
- верификация требований на этапе разработки.

При разработке система должна рассматриваться не только в контексте конструкции и технических характе-

ристик, но в контексте жизненного цикла системы от замысла до утилизации [25].

Процессы управления требованиями и интерфейсами имеют ключевое значение в связи с наличием в составе системы одновременно механических, гидромеханических, электромеханических, аэромеханических и электронных компонентов, необходимостью обеспечить их сопряжение и совместную работу в эксплуатации и при техническом обслуживании.

Разнородность компонентов системы предполагает кооперацию при разработке нескольких конструкторских коллективов, один из которых должен выступать интегратором системы и связующим звеном с конечным интегратором — разработчиком воздушного судна. Это, а также специфичная для авиационной отрасли строгая регламентация процессов верификации и валидации, значительно усложняет процесс планирования, играющий связующую роль между остальными процессами системной инженерии.

В соответствии с требованиями системной инженерии архитектура системы должна соответствовать ее функциональным требованиям.

Ниже приведены обобщенные системные функции системы АВТ и технические характеристики (см. таблицу 1), в соответствии с которыми должна быть сформирована ее структура и функциональные требования к подсистемам и компонентам.

Все функции системы АВТ, за исключением внутрисистемных функций удержания в выпущенном и убранном положении, как видно из таблицы 1, связаны со взаимодействующими системами самолета — гидравлической, электроснабжения, системой управления общесамолетным оборудованием и бортовой системой технического обслуживания.

В соответствии с функциями можно выделить в архитектуре системы подсистемы:

- уборки и выпуска в воздушный поток (функции 1–4);
- аварийного гидравлического питания (функции 9 и 11);
- аварийного электрического питания (функции 8 и 10);
- информационную (функции 5–7).

При разработке системы АВТ необходимо рассматривать систему аварийного гидропитания также отдельно как часть архитектуры гидравлической системы самолета, аварийного электропитания — как часть системы электроснабжения, а информационную — как часть системы управления общесамолетным оборудованием и бортовой системы технического обслуживания. Требования к системе и ее подсистемам, таким образом, будут диктоваться требованиями к вышестоящим системам самолета.

Основные физические ограничения к системе связаны с ее энергетическими характеристиками.

Известно выражение для механической мощности турбины [1]:

Таблица 1. Системные функции АВТ

№	Функция	Техническая характеристика
1	Сохранять убранное положение до поступления сигнала на выпуск	Реализация в конструкции
2	Переходить в выпущенное положение после поступления сигнала на выпуск	Время выпуска, сек
3	Сохранять выпущенное положение до поступления сигнала на уборку на земле	Реализация в конструкции
4	Переходить в убранное положение на земле после поступления сигнала на уборку	Время уборки, сек
5	Передавать в вышестоящую систему сигнал убранного положения	Формат сообщения, частота опроса, вероятность отказа
6	Передавать в вышестоящую систему сигнал выпущенного положения	Формат сообщения, частота опроса, вероятность отказа
7	Передавать в вышестоящую систему сигнал исправности/отказа	Формат сообщения, частота опроса, вероятность отказа
8	Обеспечивать самолет аварийным электропитанием в выпущенном положении в области полета самолета	Технические характеристики канала генерирования: мощность, частота, тип электропитания
9	Обеспечивать самолет аварийным гидропитанием в выпущенном положении в области полета самолета	Технические характеристики аварийного канала аварийного гидропитания: входное и выходное давление, расход
10	Преобразовывать энергию воздушного потока в электрическую энергию аварийного питания самолета в области полета самолета	КПД
11	Преобразовывать энергию воздушного потока в гидравлическую энергию аварийного питания самолета в области полета самолета	КПД

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho v^3 A$$

где C_p — коэффициент мощности, ρ — плотность воздуха, v — скорость потока воздуха, $A = \frac{\pi D^2}{4}$ — площадь ометаемой ветроколесом поверхности, D — диаметр ветроколеса.

Поскольку мощность, вырабатываемая турбиной, пропорциональна третьей степени скорости воздушного потока, большое значение придается выбору места установки турбины; на выбор места также влияет степень ухудшения аэродинамики полета при выпуске АВТ, создающей дополнительное аэродинамическое сопротивление.

Для увеличения выходной мощности может быть увеличен диаметр ветроколеса, т.е. длина лопастей, поскольку мощность растет пропорциональна квадрату его диаметра. Однако увеличение длины лопастей существенно ухудшает габаритные характеристики АВТ и ограничено размерами ниши, внутри которой она должна находиться в убранном положении.

Для коэффициента мощности, показывающего, какая доля энергии набегающего воздушного потока может быть преобразована в энергию вращения ветроколеса, известно теоретически максимальное значение (критерий

Бетца) [27] $C_{pmax} = \frac{16}{27} 0,593$. В существующих установках достигается значение коэффициента мощности 0,35–0,45.

Коэффициент мощности связан с коэффициентом торможения потока $a = \frac{v_0 - v_1}{v_0}$, где v_0 — скорость потока

перед турбиной, v_1 — скорость потока за турбиной, следующим выражением $C_p = 4a(1-a)^2$. Максимальное значение C_p достигается при $a = \frac{1}{3}$.

Для управления значением C_p (максимизации его значения) применяется система управления шагом винта, разворачивающая лопасти вентилятора в зависимости от скорости ветра, представляющая собой гидравлический или центробежный механический регулятор.

С учетом потерь в редукторе, генераторе и при преобразованиях, выражение для электрической мощности канала аварийного электропитания АВТ:

$$P_z = \frac{1}{2} C_p \rho v^3 A \eta_{ред} \eta_{ген} \eta_{пр},$$

где $\eta_{ред}, \eta_{ген}, \eta_{пр}$ — КПД редуктора, генератора и преобразователей соответственно.

Аналогично для канала аварийного гидропитания:

$$P_g = \frac{1}{2} C_p \rho v^3 A \eta_{ред} \eta_{гн},$$

где $\eta_{ред} \eta_{гн}$ — КПД редуктора и гидронасоса соответственно.

Исходя из указанных выражений, предпочтение следует отдать компоновке АВТ с прямым приводом гидро-

насоса и электрогенератора от воздушной турбины, исключив редукторы, что ведет к необходимости применять гидронасос и электрогенератор, для которых допустима высокая частота вращения приводного вала и широкий диапазон частот вращения, который определяется диапазоном скоростей и высот области полета самолета.

Значения времени выпуска, под которым подразумевается время от поступления сигнала на выпуск до перехода генератора и гидронасоса в рабочий режим с заданными параметрами качества электрического и гидравлического питания, определяется исходя из требований к времени восстановления работоспособности гидросистемы и системы электроснабжения самолета, и составляет, как правило, не более 10 с.

Время уборки определяется требованиями к трудоемкости технического обслуживания самолета и не влияет на безопасности полета, поэтому менее жесткое и может составлять более минуты.

После формирования архитектуры необходимо проанализировать выбор технических решений, сочетание которых позволит реализовать функции в соответствии к требованиям к ним.

Ниже представлена таблица 2 альтернативных технических решений, сформированная исходя из системных функций и имеющихся на современных самолетах и в патентах на изобретения АВТ. Таблица приведена как пример и не исчерпывает вариантов технических реализаций системы.

Таблица 2

№	Функция (требование)	Варианты технической реализации элемента
1	Сохранять убранное положение до поступления сигнала на выпуск	Механические замки соленоидным приводом от аккумуляторов Механические замки с поступательным электромеханическим приводом от аккумуляторов Механические замки с гидроприводом от гидроаккумулятора Механические замки с тросовым приводом
2	Переходить в выпущенное положение после поступления сигнала на выпуск	Реверсивный электропривод уборки-выпуска с питанием от аккумуляторов Объемный гидропривод уборки-выпуска двустороннего действия с питанием от гидроаккумуляторов Пружина выпуска
3	Сохранять выпущенное положение до поступления сигнала на уборку на земле	Механические замки соленоидным приводом от аккумуляторов Механические замки с поступательным электромеханическим приводом от аккумуляторов Механические замки с гидроприводом от гидроаккумулятора Механические замки с тросовым приводом
4	Переходить в убранное положение на земле после поступления сигнала на уборку	Реверсивный электропривод уборки-выпуска с питанием от аккумуляторов Объемный гидропривод уборки-выпуска двустороннего действия с питанием от гидроаккумуляторов
5	Передавать в вышестоящую систему сигнал убранного положения	Бесконтактные датчики положения (индуктивные) Контактные датчики положения (микровыключатели)
6	Передавать в вышестоящую систему сигнал выпущенного положения	Бесконтактные датчики положения (индуктивные) Контактные датчики положения (микровыключатели)
7	Передавать в вышестоящую систему сигнал исправности/неисправности	Электронный блок управления с системой датчиков
8	Обеспечивать самолет аварийным электропитанием трехфазным переменного тока в выпущенном положении в области полета самолета	Электрический генератор переменного тока с возбуждением постоянными магнитами Электрический генератор переменного тока с внешним возбуждением Электрический генератор переменного тока с самовозбуждением
9	Обеспечивать самолет аварийным гидропитанием в выпущенном положении в области полета самолета	Аксиально-поршневой гидравлический насос Радиально-поршневой гидравлический насос Шестеренный гидравлический насос
10	Преобразовывать энергию воздушного потока в электрическую энергию аварийного питания самолета в области полета самолета	Ветровая турбина с центробежным регулятором шага винта Ветровая турбина с гидравлическим регулятором шага винта
11	Преобразовывать энергию воздушного потока в электрическую энергию аварийного питания самолета в области полета самолета	Ветровая турбина с центробежным регулятором шага винта Ветровая турбина с гидравлическим регулятором шага винта

При выборе архитектуры и проектировании системы из вариантов исполнения конструкции необходимо выбрать варианты технических решений, исходя из их преимуществ и недостатков.

Для функций 1 и 3 выбор варианта привода замков убранного и выпущенного положения будет зависеть от технической возможности и надежности, а также массогабаритных характеристик. Для варианта с тросовой проводкой критично размещение привода уборки-выпуска АВТ, поскольку масса будет значительно возрастать с увеличением расстояния от кабины экипажа до замков убранного положения.

Для функций 2 и 4 выбор силовых приводов уборки и выпуска будет определяться массогабаритными характеристиками и потребностью в электрическом или гидравлическом питании, значительно ограниченными в аварийной ситуации.

Для функций 5 и 6 критичными является надежность и массогабаритные характеристики.

Выбор технических решений для функций 9 и 10 зависит от надежности, массогабаритных характеристик, определяющих возможности уборки-выпуска системы, ее размещения на самолете и аэродинамическое сопротивление установки, потребности в гидравлическом или электрическом питании для запуска в выпущенном положении.

Для функций 10 и 11 определяющими факторами являются диапазон регулирования, надежность и потребность во внешнем гидравлическом питании для работы регулятора.

При разработке архитектуры и компоновки системы следует рассмотреть возможность объединения элементов и передачи функций между элементами системы, вопросы их совместимости в рамках системы.

При интеграции системы в конструкцию самолета также требуется пересмотр ее архитектуры с учетом особенностей самолета, включая размещение установки, требования к характеристикам электропитания и гидропитания, прочности узлов крепления, электрические, механические и гидравлические интерфейсы, требования к надежности, отказобезопасности и эксплуатационной технологичности.

При управлении требованиями, верификации и валидации необходимо учитывать общесистемные требования, которые предъявляются к авиационным системам как с технической, так и организационной стороны при разработке.

В соответствии с разделом 21 Авиационных правил система АВТ относится к компонентам III класса.

В соответствии с АП-21 п. 7.1.1 (б) компоненты III класса — комплектующие изделия, к которым относятся любые установленные на воздушное судно механизмы, приборы, оборудование (включая соединительное) и другие комплектующие (готовые) изделия, используемые для осуществления полета воздушного судна. Комплектующие изделия (КИ) по степени влияния их ра-

ботоспособности на летную годность образца в целом подразделяются на две категории:

КИ категории А — изделия, нарушение работоспособности которых оказывает существенное влияние на летную годность образца. Минимальный перечень КИ категории А устанавливается циркуляром Авиарегистра;

КИ категории Б — изделия, не относящиеся к категории А, включая стандартные детали.

Поскольку нарушение работоспособности АВТ может привести к невыпуску шасси при посадке, т.е. аварийным или катастрофическим последствиям, АВТ безусловно относится к КИ категории А, т.е. в соответствии с п. 9.2.1 (а) АП-21 требует оформления Свидетельства о годности комплектующего изделия или Одобрительного письма по результатам одобрения Авиарегистром по результатам квалификационных испытаний.

Одобрение КИ категории А осуществляется в соответствии с квалификационным базисом, который формируется на основе действующих Авиационных правил и их приложений и Квалификационных требований.

Для АВТ самолетов транспортной категории это АП-25, КТ-160, КТ-178, КТ-254 и соответствующие требования FAA, EASA при сертификации в США, ЕС, с которыми указанные документы гармонизированы.

Проведем анализ возможности применения действующих статей АП-25 при сертификации.

Раздел А-0 — Общие требования летной годности самолета при отказах функциональных систем. В разделе представлены требования и поясняющий материал без привязки к конкретным элементам или конструкции самолета.

Раздел С — Прочность. Согласно этому разделу соответствие требованиям к прочности и деформациям должно быть показано для каждого критического нагружения.

Раздел D — Проектирование и конструкция. Данный раздел является основным, в котором рассматриваются требования к конкретной конструкции, применяемым материалам, технологии производства, защите и обеспечению доступа. При рассмотрении пунктов: 25.603 «Материалы», 25.605 «Технология производства», 25.607 «Крепежные детали», 25.609 «Защита элементов конструкции», 25.611 «Обеспечение доступа», 25.613 «Прочностные характеристики материалов и их расчетные значения» можно сделать вывод, что указанные пункты могут применяться ко всем системам, в том числе и к АВТ.

Следующие пункты раздела D могут быть применены в действующей ревизии, так как никаких дополнительных требований к системе предъявлять в этом объеме нет необходимости:

— п. 25.777 предъявляет требования к размещению и направлению перемещения органов управления в кабине;

— п. 25.869 предъявляет требования к пожарной защите систем.

Раздел F — Оборудование. В этом разделе предъявляются общие требования к различным системам. В нашем случае требуется рассмотреть следующие пункты:

— п. 25.1301 «Назначение и установка». Пункт требует, чтобы конструкция соответствовала функциональному назначению, имелись необходимые в эксплуатации надписи и маркировки, оборудование применялось в соответствии со своими ограничениями и нормально работало после установки.

— п. 25.1301A «Эксплуатация при низких температурах». Регламентируется температура, при которой система должна работать штатно.

— п. 25.1309 «Оборудование, системы и установки». Требования пункта применимы к любому оборудованию или системе, установленной на самолете. Пункт требует, чтобы система в случае неправильного функционирования не снижала безопасности полетов и при совокупности отказов не приводила к катастрофической ситуации, отказное состояние было крайне маловероятно, сложное отказное состояние было маловероятно.

— п. 25.1322 «Лампы аварийной и предупреждающей сигнализации и уведомляющие лампы». Регламентируется применение цвета сигнализации.

Рассмотренные пункты могут быть применены в действующей ревизии, так как требования регламентируются в общем виде и могут быть применены к различным системам или оборудованию.

Подраздел «Электрические системы и оборудование» Приводятся требования к мощности и системе генерирования, внешнему электропитанию, установке электрооборудования, распределению электропитания, защите электроцепей и испытанию электрической системы. Так как особых требований к электропитанию АВТ предъявляться не должно, то рассматриваемый подраздел может быть использован без изменений и дополнений.

Подраздел «Прочее оборудование», п. 25.1431 «Электронное оборудование». Представлены требования к электронному оборудованию. Особых требований к электронному оборудованию предъявляться не должно.

Дополнение 25F.8.7 «Компоновка кабины экипажа». Дополнительные требования к компоновке кабины экипажа предъявляться не должно.

Раздел G — Эксплуатационные ограничения и информация. В разделе рассматриваются требования к инструкциям по поддержанию летной годности, ограничениям по условиям эксплуатации, трафаретам и надписям, летному руководству. Требования регламентируются в общем виде и могут быть применены к различным системам или оборудованию.

Требования устойчивости к внешним воздействующим факторам (ВВФ), предъявляемые к бортовому оборудованию, определяются конструкцией изделий, условиями и режимами эксплуатации, зонами и условиями установки на воздушном судне. Выполнение требований к ВВФ должно быть подтверждено стендовыми квалифи-

кационными испытаниями, а сами требования должны содержаться в квалификационном базисе и техническом задании на ОКР.

Основным документом, регламентирующим как требования к ВВФ, так и методы испытаний на воздействие ВВФ, являются квалификационные требования КТ-160 «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний».

Квалификационные требования КТ-160 гармонизированы с документами SC135/RTCA DO-160D и WG14/EUROCAE ED-14D, что позволяет создать на их основе квалификационный базис оборудования как для квалификационных испытаний и получения СГКИ, так и для международной сертификации.

При планировании квалификационных испытаний следует также учесть возможные отличия на момент начала испытаний и применить более жесткие требования, если они будут указаны в отличающихся разделах международных стандартов SC135/RTCA DO-160D и WG14/EUROCAE ED-14D, чтобы избежать в дальнейшем проведения дополнительных испытаний.

Анализ требований по защите от воздействия внешних факторов показывает, что наиболее жесткие требования предъявляются к устанавливаемому в негерметичной нише АВТ и приводу уборки и выпуска АВТ.

Указанные составные части испытывают ударную нагрузку при уборке и выпуске, повышенную вибрацию, значительные перепады температуры и давления воздуха при взлете и посадке, могут подвергаться воздействию воды, пыли, песка.

Повышенные требования предъявляются также к блокам силовой электроники электрогенератора. Для них характерны коммутация значительных токов и вследствие этого генерация помех, необходимость располагать такие блоки как можно ближе к электрогенератору для сокращения времени реакции и уменьшения массы и длины силовой электропроводки.

Такие блоки, как правило, располагают в нишах шасси или технических отсеках ниже пола фюзеляжа. Расположение в нише шасси диктует повышенные требования к защите от воздействия перепадов давления и температуры, воздействия пыли, песка, воды, обледенения.

Наименее жесткие требования по ВВФ предъявляются к органам управления, управляющей электронике, устанавливаемым в кабине экипажа.

Эти требования должны использоваться при разработке квалификационного базиса системы, разработке технических условий на этапе ОКР, планировании и разработке методик квалификационных стендовых испытаний.

Требования к ВВФ существенно зависят от конкретного типа воздушного судна, на который устанавливается система, представляется целесообразным согласование квалификационного базиса системы в части ВВФ с разработчиками воздушных судов, поскольку измеренные на

воздушном судне при сертификации данные имеют приоритет перед изложенными в КТ-160 значениями.

Планирование и разработка методик испытаний на этапе ОКР должны быть проведены с учетом КТ-160 о проведении испытаний на комплексное воздействие ВВФ, а также подтверждение стойкости к отдельным ВВФ без испытаний, предъявлением доказательных результатов анализа конструкции, что позволит сократить время и затраты на проведение испытаний.

Один из основных компонентов блок управления генератором — содержит программное обеспечение, обеспечивающее управление каналом генерирования и встроенный контроль состояния системы, прием и обработку сигналов от систем самолета.

Наличие в составе системы программного обеспечения означает необходимость выполнения специфических требований к разработке программного обеспечения авиационного оборудования, изложенных в квалификационных требованиях КТ-178 «Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники».

Квалификационные требования устанавливают требования к ПО в соответствии с его уровнем и определяет критерии определения уровня ПО.

В соответствии с ними, ПО системы АВТ можно отнести к уровню А: ПО, ненормальная работа которого согласно оценке, полученной в процессе анализа безопасности системы, может вызвать или способствовать отказу функции системы, приводящему к катастрофическим отказным состояниям для воздушного судна.

КТ-178 разработаны на основе и гармонизированы с RTCA/DO-178B «Software considerations in airborne systems and equipment certification», что позволяет выполнить сертификационные требования в соответствии с международными стандартами.

КТ-178 описывает стадии жизненного цикла системы, ее программного обеспечения и документы жизненного цикла, требующиеся для сертификации в части ПО.

Поскольку блок управления генератором относится к бортовой электронной аппаратуре, к нему применяются требования квалификационных требований КТ-254 «Руководство по гарантии качества бортовой электронной аппаратуры».

КТ-254 разработан на основе и его требования гармонизированы с RTCA DO-254/EUROCAE ED-80 «Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware», что позволяет выполнить сертификационные требования в соответствии с международными стандартами.

Квалификационные требования КТ-254 регламентируют требования к гарантии разработки в соответствии с уровнем аппаратуры.

В соответствии с КТ-254, блок управления АВТ можно отнести к уровню А: «Аппаратура, ненормальное выполнение функций которой согласно оценке, полученной в процессе анализа безопасности аппаратуры, может вызвать или способствовать отказу функции системы, при-

водящему к катастрофическому отказному состоянию для воздушного судна».

Система АВТ должна выдавать важные для ряда систем сигналы о положении и состоянии АВТ:

- сигналы убранного/выпущенного/промежуточного положения АВТ,
- сигналы отказа АВТ, канала генерирования, привода уборки-выпуска, канала аварийного гидропитания;
- команды уборки/выпуска.

Кроме того, эти сигналы подлежат записи бортовым регистратором.

АВТ взаимодействует с системой электроснабжения самолета как источник электропитания переменного тока 115/200 В 400 Гц и потребитель электропитания для приводов выпуска АВТ в поток, с гидросистемой — как источник аварийного гидропитания, а при условии уборки от гидросистемы — и как потребитель гидропитания.

Для современных самолетов характерна организация взаимодействия систем не непосредственно, а через систему управления общебортовым оборудованием (СУОСО) и интегрированную систему сбора, контроля, обработки и регистрации (ИССКОР). В связи с переходом бортового авиационного оборудования на цифровые линии связи и интегрированную модульную авионику целесообразным представляется рассмотреть взаимодействие с системами самолета по цифровому интерфейсу ARINC-429.

Для целей обеспечения технического обслуживания и контроля работоспособности система АВТ должна взаимодействовать с бортовой системой технического обслуживания (БСТО) в соответствии с требованиями ARINC-624-1.

В соответствии с ARINC-624-1 должны быть реализованы:

- сообщения об отказах в блоках/модулях, входящих в состав системы;
- сообщения об отказах во внутренних линиях связи (с модулями/блоками входящими в состав системы);
- сообщения об отказах в линиях связи с бортовыми системами;
- сообщения об утрате функции в системе из-за отказа во взаимодействующей системе или получения от неё недостоверных данных;
- сообщения, передаваемые в систему предупреждения экипажа;
- сервисные сообщения (в случае необходимости реализации программ диагностики);
- сообщения, транслируемые в БСТО из энергонезависимой памяти.

Информация об отказах должна сохраняться в энергонезависимой памяти системы по последним 256 отказам в соответствии с требованиями ARINC624.

Для взаимодействия с БСТО в системе должен быть реализован встроенный контроль по ARINC-604, обеспечивающий:

- контроль при подаче питания;

- непрерывный контроль (мониторинг);
- инициированный контроль при проведении работ по техническому обслуживанию.

К общесистемным требованиям также относятся регламентируемые международными стандартами и влияющие на процессы планирования, управления требованиями, верификации и валидации, управления техническими рисками требования:

- надежности,
- отказобезопасности,
- долговечности,
- ремонтпригодности,
- эксплуатационной технологичности,
- транспортабельности,
- стандартизации и унификации,
- каталогизации,
- интегрированной логистической поддержки жизненного цикла,
- контролепригодности.

При использовании международных стандартов следует учитывать, что в настоящее время в рамках государственной «Программы стандартизации в авиационной промышленности на 2016–2020 годы» проводится работа по внедрению международных стандартов в российской системе стандартов ГОСТ Р и СТО САП.

Таким образом, при разработке и интеграции системы гибридной аварийной воздушной турбины гражданского пассажирского самолета с точки зрения системной инженерии необходимо:

- учитывать ключевую роль процессов управления требованиями и интерфейсами при разработке;
- учитывать влияние изменяющихся требований международных и отечественных стандартов как на технические характеристики, так и организацию процессов,
 - выполнять синтез структуры (архитектуры) системы аварийной гибридной ветровой турбины гражданского пассажирского самолета, исходя из функциональных и нормативных требований к аварийному электрическому и гидравлическому питанию, взаимодействия с бортовыми системами и экипажем самолета;
 - разрабатывать компоновку системы, исходя из выбора наилучшего состава технических решений в архитектуре и составе компонентов, обеспечивающую заданные требования и совместимость элементов системы друг с другом и взаимодействующими системами самолета.
 - выполнять интеграцию системы в состав самолета, учитывая нормативные и перспективные требования к механическим, электрическим и гидравлическим интерфейсам, верификации и валидации системы в составе самолета.

Литература:

1. Final Investigation Report 22 / ACCID / 2001 // Aviation safety network. URL: http://asndata.aviation-safety.net/reports/2001/20010824-1_A332_C-GITS.pdf (дата обращения: 6.11.2017).
2. GZ. 85.007/0001-FUS/2006. lugunfall mit dem Motorflugzeug Type Airbus A310 am 12. Juli 2000 am Flughafen Wien-Schwechat, Niederösterreich // Skybrary. URL: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/1712.pdf> (дата обращения: 6.11.2017).
3. NTSB/AAR-10/03 PB2010-910403. Loss of Thrust in Both Engines After Encountering a Flock of Birds and Subsequent Ditching on the Hudson River US Airways Flight 1549 Airbus A320 - 214, N106US Weehawken, New Jersey January 15, 2009 // Skybrary. URL: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/1205.pdf> (дата обращения: 6.11.2017).
4. RU2532318C1. Устройство перевода в рабочее положение ветродвигателя самолета / Тетерин В.Д., Горюхов В.Б., Смирнов А.А., Куваев В.В.
5. RU2402463C2. Аварийный источник энергоснабжения для воздушного судна, снабженный турбиной с приводом от набегающего потока воздуха и преобразователем энергии / Хунтеманн У.
6. RU1658546A1. Устройство для выпуска аварийной гидронасосной установки летательного аппарата / Патнер А.А.
7. US9327840B2. Ram air turbine with a speed engaged clutch / Magdy A. Kandil David Everett Russ Stephen George Mican, 2016.
8. US8931734B2. Ram air turbine release cable assembly / David Everett Russ Kanthi Gnanam Kannan, 2012.
9. US5685694A. Air driven turbine having a blade pitch changing mechanism including overspeed protection. Teddy L. Jones Jon B. Althof
10. US8641379 B2. Hybrid ram air turbine / David Everett Russ, Michael E. Larson, JR, 2010.
11. US7416392 B2. Stow abort mechanism for a ram air turbine / David E. Russ, 2008.
12. US7197870B2. Pressure/flow sensing stall recovery for a ram air turbine / David G. Bannon, 2007.
13. US9132922 B2. Ram air turbine / John F. Justak, 2015.
14. US20110033280 A1. Hybrid ram air turbine with inlet guide vanes / John F. Justak, 2011.
15. US20160090189 A1. Emergency Power Supply System, Aircraft Having Such An Emergency Power Supply System And A Method For Providing At Least Electric Power And Hydraulic Power In Case Of An Emergency In An Aircraft / Joerg WANGEMANN, Hauke-Peer Leudders, Sijmen Zandstra, Peer Drechsel, 2016.

16. EP2985472 A3. Stow lock pawl for a rat actuator / David G BANNON, 2016.
17. US9399522 B2. Ram air turbine actuator / David G BANNON, 2016.
18. US20130330121 A1. Electromechanical actuator and latch assembly for ram air turbine / Sasscer Gary, Schweighart Richard, 2013.
19. US2013327207. Electromechanical actuator damping arrangement for ram air turbine / Sasscer Gary, Schweighart Richard, 2013.
20. Tooley, M. Aircraft Electrical and Electronic Systems / M. Tooley, D. Wyatt. — Elsevier, 2009.
21. Moir, I. Civil Avionics Systems. Second Edition/ Ian Moir, Allan Seabridge, Malcolm Jukes. — Wiley, 2013.
22. Khurana, K. C. Aviation Management: Global Perspectives / K. C. Khurana. — New Delhi, Global India Publications, 2009.
23. System Architecture // SEBok. URL: http://sebokwiki.org/wiki/System_Architecture (дата обращения: 6.11.2017).
24. Ключков В.В. Современная организация создания авиатехники: монография / В.В. Ключков, В.Ю. Николенко. — М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. — 348 стр.
25. В. Ю. Николенко. Базовый курс системной инженерии: учебное пособие / В.Ю. Николенко. — М.: МФТИ, 2016. — 290 с.
26. Безруких П. П. Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие) / М.: — ИД «Энергия», 2010. — 320 с.
27. Wei Tong. Wind Power Generation and Wind Turbine Design / Wei Tong, — Witpress, Southhampton, Boston.

К вопросу определения скорости фильтрации и времени релаксации неравновесной жидкости

Гасанов Ильяс Раван оглы, старший инженер

Научно-исследовательский проектный институт «Нефтегаз» (SOCAR) (г. Баку, Азербайджан)

Наличие у жидкости релаксационных свойств определяет характер сопротивления при движении в пористой среде. Поскольку релаксирующая жидкость реагирует на изменение условий с некоторым запаздыванием, то в зависимости от скорости движения характер сопротивления будет изменяться. Когда течение достаточно медленное, соответственно медленно происходит деформация жидких частичек и жидкость успевает «реагировать» на эти изменения. С увеличением скорости движения время прохождения через сужения уменьшается, и жидкие частицы не успевают деформироваться, т.е. время релаксации уменьшается. Это приводит к увеличению сопротивления движения. В связи с вышесказанным определение времени релаксации, скорости фильтрации неравновесной жидкости и дебита имеет большое практическое значение, которое и рассматривается в данной статье.

Ключевые слова: жидкость, время релаксации, пористая среда, неравновесная жидкость

The presence of relaxation properties in the liquid determines the character of the resistance when moving in a porous medium. Since the relaxing liquid reacts to a change in conditions with some delay, depending on the speed of motion, the character of the resistance will change. When the flow is slow enough, the liquid particles deform slowly, and the liquid has time to «react» to these changes. As the speed of motion increases, the transit time through the constrictions decreases, and the liquid particles can't deform, so the relaxation time decreases. This leads to an increase in drag. In connection with the foregoing, the determination of the relaxation time, the rate of filtration of the nonequilibrium fluid and the production rate is of great practical importance, which is considered in this article.

Keywords: liquid, relaxation time, porous medium, nonequilibrium fluid

При исследовании фильтрации неравновесных жидкостей необходимо учитывать, что вязкие силы, обуславливающие сопротивление, являются решающим фактором лишь в области малых скоростей фильтрации и заметно снижаются с ее увеличением. При этом преобладающую роль начинают играть уже упругие силы, так как жидкость не успевает релаксировать при переходе из одной поры и другую. Это приводит к увеличению эффективной вязкости, так как фактор сопротивления с увеличением скорости возрастает быстрее, чем скорость фильтрации. Доказано, что уве-

личение относительного сопротивления при увеличении скорости фильтрации пропорционально величине $\left[1 + A \left(\frac{v\tau}{R}\right)\right]$,

где τ — время релаксации; R — характерный масштаб изменения сечения; A — постоянная порядка десяти [1]; v —

скорость фильтрации. Учитывая, что $\frac{R}{v} = T_{np}$, увеличение сопротивления, выраженное через эффективную вязкость жидкости, можно представить в виде:

$$\mu_{эф} = \mu \left[1 + A \left(\frac{\tau v}{R} \right)^2 \right] = [1 + AD^2], \tag{1}$$

где μ — вязкость жидкости; D — число Дебора, $D = \tau / T_{np}$ [2], равный отношению времени релаксации жидкости к характерному времени процесса.

Таким образом, помимо числа Re течение характеризуется дополнительно новым параметром — числом Дебора. При малых числах Дебора ($D \ll 1$) влиянием релаксационных свойств можно пренебречь. При $D \gg 1$ потери напора определяются не только вязкостью жидкости, но и параметром τ . Для количественного описания этого закон фильтрации записывается в форме Дарси, но с переменной вязкостью (эффективной):

$$v = \frac{k}{\mu_{эф}} \frac{dp}{dr} = \frac{k}{\mu \left(1 + a \frac{v^2 \tau^2 m}{k} \right)} \frac{dp}{dr}, \tag{2}$$

где a — постоянная одного порядка с A .

Последнее соотношение можно написать в виде:

$$a_3 v^3 + a_1 v - \frac{dp}{dr} = 0. \tag{3}$$

Откуда следует, что введение кубического слагаемого в аппроксимацию $v - \frac{dp}{dr}$ связано с необходимостью учета неравновесных свойств фильтрационного потока. Здесь $a_3 = \frac{\mu}{k^2} a \tau^2 m$; $a_1 = \frac{\mu}{k}$. Разделив обе части уравнения на a_3 , получаем:

$$v^3 + \frac{a_1}{a_3} v - \frac{1}{a_3} \frac{dp}{dr} = 0. \tag{4}$$

Пусть $\frac{a_1}{a_3} = p_1$, $-\frac{1}{a_3} \frac{dp}{dr} = q_1$, тогда получаем:

$$v^3 + p_1 v + q_1 = 0. \tag{5}$$

Подставляя в уравнение (5) $v = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{2\pi r h}$, получаем

$$\left(\frac{Q}{2\pi r h} \right)^3 + p_1 \cdot \frac{Q}{2\pi r h} - p_1 \cdot \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr} = 0 \text{ или}$$

$$\left(\frac{Q}{2\pi r h} \right)^3 \cdot \frac{dr}{r^3} + p_1 \cdot \frac{Q}{2\pi h} \frac{dr}{r} = p_1 \cdot \frac{k}{\mu} dp. \tag{6}$$

Интегрируя левую часть этого равенства от r_c до r_k , а правую часть от p_c до p_k , получаем:

$$\left(\frac{Q}{2\pi h} \ln \frac{r_k}{r_c} \right)^3 \cdot \frac{\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2}}{\ln^3 \frac{r_k}{r_c}} + p_1 \cdot \left(\frac{Q}{2\pi h} \ln \frac{r_k}{r_c} \right) - p_1 \cdot \frac{k}{\mu} \Delta p = 0. \tag{7}$$

Сделаем подстановку $\frac{Q \ln \frac{r_k}{r_c}}{2\pi h} = z$ и разделив обе части равенства на $\frac{1}{\ln^3 \frac{r_k}{r_c}} \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2} \right)$, мы получаем уравнение в виде:

$$z^3 + p' z + q' = 0, \tag{8}$$

где $p' = \frac{p_1 \cdot \ln^3 \frac{r_k}{r_c}}{\left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2} \right)}$ $q' = -p' \cdot \frac{k}{\mu} \Delta p.$

Используя формулу Кардано, находим решение этого уравнения:

$$z = \sqrt[3]{-\frac{q'}{2} + \sqrt{D}} + \sqrt[3]{-\frac{q'}{2} - \sqrt{D}}, \quad D = \left(\frac{q'}{2}\right)^2 + \left(\frac{p'}{3}\right)^3. \tag{9}$$

Преобразуя последнее выражение, имеем:

$$z = \frac{-(q' / p')}{\frac{1}{p'} \left(\sqrt[3]{\left(-\frac{q'}{2} + \sqrt{D}\right)^2} + \sqrt[3]{\left(\frac{q'}{2} + \sqrt{D}\right)^2} \right) + \frac{1}{3}}. \tag{10}$$

Учитывая, что $z = \frac{Q \ln \frac{r_k}{r_c}}{2\pi h}$ и η — знаменатель правой части выражения, получаем:

$$Q = \frac{2\pi k h \Delta p}{\eta \mu \ln \frac{r_k}{r_c}}. \tag{11}$$

При малых скоростях $\eta \approx 1$.

В наиболее общем виде его можно представить в виде $\eta(p) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i (p_{пл} - p)$. Для определения $\eta(p)$ строится зависимость Q/Q_1 от Δp при установившемся режиме фильтрации, где $Q_1 = \frac{2\pi k h \Delta p}{\mu \ln \frac{r_k}{r_c}}$. Полученная кривая

аппроксимируется многочленом $\eta(p) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i (p_{пл} - p)$. Следует отметить η можно аппроксимировать в виде функции $\eta = e^{\alpha(p_{пл} - p)}$.

Время релаксации можно определить по следующей формуле:

$$\tau = \sqrt{\frac{k}{a m p_1}}, \tag{12}$$

где $p_1 = \frac{\left(\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2}\right)}{\eta^3 - \eta^2 \cdot \ln^3 \frac{r_k}{r_c}}$ (13)

и $\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr} = \frac{1}{2p_1} \cdot \frac{Q^3}{8\pi^3 h^3} \cdot \frac{1}{r^2} + \frac{Q}{2\pi h} \cdot \frac{1}{r}$ (14)

Решая уравнения (13) и (14), получаем кубическое уравнение относительно p_1 в виде:

$$p_1^3 (\eta^3 - \eta^2) \ln^3 \frac{r_k}{r_c} - p_1^2 \cdot B_1^2 \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2} \right) - 2p_1 A_1 B_1 \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2} \right) - A_1^2 \cdot \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_k^2} \right) = 0, \tag{15}$$

где $A_1 = \frac{Q^3}{16\pi^3 h^3} \cdot \frac{1}{r^2}$, $B_1 = \frac{Q}{2\pi h} \cdot \frac{1}{r}$.

Решая это кубическое уравнение, находится зависимость $p_1 = p_1(r)$, где $r_c \leq r \leq r_k$.

Время релаксации при различных r определяется по формуле

$$\tau = \sqrt{\frac{k}{a m p_1}}, \tag{16}$$

а скорость фильтрации при этом определяется с помощью формулы

$$v^3 + p_1 v - p_1 \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr} = 0, \tag{17}$$

где $\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr}$ определяется по формуле (14).

Таким образом, проводя исследование методом установившихся отборов с помощью зависимости Q/Q_1 определяется η и подстановкой в (15) находится зависимость для $p_1 = p_1(r)$. Далее, подставляя это значение в (16) и (17), определяются $\tau = \tau(r)$ и $v = v(r)$.

Литература:

1. А. Х. Мирзаджанзаде, И. М. Аметов, А. Г. Ковалев. Физика нефтяного и газового пласта. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. — 280 с.
2. И. М. Аметов, Ю. Н. Байдуков, Л. М. Рузин, Ю. А. Спиридонов. — М.: Недра, 1985. — 205 с.

Актуальность внедрения микропроцессорной горочной централизации

Голицына Екатерина Сергеевна, преподаватель первой категории
Омский техникум железнодорожного транспорта

Неотъемлемой частью перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является технологическая работа, связанная с переработкой грузовых составов на специальных станциях; называемых сортировочными.

Для выполнения сортировочной работы широко используются различные специальные устройства, среди которых основными являются сортировочные горки. В настоящее время сортировочная горка — это самый сложный комплекс технических сооружений, систем и устройств, реализующий современные достижения в области технологии, управления транспортными объектами с широким использованием микропроцессорной техники и ЭВМ [1].

Сортировочные горки являются наиболее сложными и важными звеньями технологического процесса переработки составов, от эффективности которых существенно зависят показатели работы сортировочной станции в целом. Поэтому всем работникам необходимо иметь хорошую техническую подготовку. Роспуском составов и регулировкой скорости скатывания вагонов на сортировочных горках управляют дежурные по сортировочной горке (далее — дежурный по горке) и операторы горки с помощью комплекта постовых и напольных технических средств. Чтобы умело пользоваться и эффективно управлять техникой операторы горки должны знать особенности технологии работы горок, а также назначение и принципы действия технических устройств и использовать правильные приемы работы.

В зависимости от потребных размеров и структуры перерабатываемого вагонопотока в соответствии с планом формирования поездов на станциях проектируются основные и вспомогательные сортировочные устройства. Для выполнения функций основных сортировочных устройств сооружаются горки повышенной, большой, средней и малой мощности, работа которых основана на использовании силы тяжести вагонов при их скатывании с более высокого уровня.

Для выполнения функций вспомогательных сортировочных устройств на станциях могут проектироваться горки малой мощности и негорочные устройства — вытяжные пути со стрелочными горловинами на уклоне или горизонтальной площадке, где используется преимущественно сила тяги локомотива.

Тип и мощность сортировочных устройств устанавливается в зависимости от среднесуточных объемов переработки:

- горки повышенной мощности (ГПМ) — более 5500 вагонов в сутки;
- горки большой мощности (ГБМ) — более 3500 вагонов в сутки;
- горки средней мощности (ГСМ) — от 1500 до 3500 вагонов в сутки;
- горки малой мощности (ГММ) — от 250 до 1500 вагонов в сутки.

В соответствии с реорганизацией структуры управления перевозочным процессом сортировочные станции сети железных дорог России поделены на две категории: сетевые и региональные, утвержден их перечень. Несмотря на относительно небольшое число сортировочных станций на железных дорогах России, их значимость неуклонно возрастает. Об этом свидетельствует внимание ОАО «РЖД» к комплексной реконструкции сортировочных горок и станций.

Крупнейшая в Омске железнодорожная погрузочная станция — Комбинатская. Основные клиенты Комбинатской Западно-сибирской железной дороги представляют нефтехимический комплекс и стройиндустрию. Обслуживает главным образом, крупнейший Омский нефтеперерабатывающий завод, а также ТЭЦ-4, заводы синтетического каучука, строительных конструкций, подъемных машин, «Нептун», картонно-рубероидный, пластмасс, «Стройбетон» и другие. Всего ее услугами пользуется свыше 150 предприятий, ключевым из которых является Омский нефтеперерабатывающий завод. Ежедневно Омский нефтеперерабатывающий завод (ОНПЗ) отправляет по железной дороге свыше 30 тыс. тонн ГСМ. Общий объем погрузки — 650–680 вагонов в сутки. «Газпром нефть» проводит на Омском НПЗ масштабную модернизацию, внедряя передовые технологии нефтепереработки. Цель — сделать предприятие одним из мировых лидеров по эффективности и глубине переработки нефти [2].

Только за последние 5 лет вагонопоток, проходящий через горочный комплекс станции, увеличился с 1400 до 1600 вагонов в сутки, а в отдельные сутки до 1900 вагонов.

К 2020 году нефтеперерабатывающий комбинат планирует установить и запустить в действия (к дополни-

тельно используемым эстакадам, где осуществляют налив до полутора тысяч вагонов в сутки) дополнительные эстакады под налив порожних вагонов, тем самым увеличить погрузку до трёх тысяч вагонов в сутки, соответственно на участке Газовая — Московка возрастает грузоперевозка как порожних так и грузовых вагонов и переработка этих вагонов сортировочной горой и подачи вагонов под налив. Механизированная гора станции Комбинатская по классности относится к средней. Автоматизация горочного комплекса — это совместный проект ОАО «РЖД» и ПАО «Газпром нефть».

Согласно техническому проектированию механизированная гора станции Комбинатская оснащена и оборудована системой БАЦ в 1976 году и за время эксплуатации произошло техническое старение и износ оборудования как релейного так и напольного оборудования эксплуатируемых устройств.

Для увеличения пропускной способности и переработки, сортировочного процесса горки станции Комбинатская требуется:

1) усовершенствовать и модернизировать напольное, релейное оборудование применяемых в эксплуатации устройств,

2) автоматизировать систему регулировки скорости первой, второй тормозной позиции с последующей заменой вагонных замедлителей,

3) для обеспечения безопасности охраны труда на производственных местах, экономии средств для обслуживающего персонала участвующих в процессе роспуска состава, требуется установить в под горочном парке на под горочных путей, электрифицировать и механизировать вагонными замедлителями,

4) установить дополнительные ресиверы воздуха для бесперебойной работы вагонных замедлителей третьей тормозной позиции,

5) проложить один километр трубопровода для подачи воздуха к питающей аппаратуре вагонных замедлителей,

6) оборудовать первую и вторую гору системой автоматического задания роспуска состава,

7) укомплектовать первую и вторую гору весомером,

8) оборудовать первую, вторую и третью тормозную позицию радиолокационными измерителями скорости,

9) заменить и уложить кабель для ввода в эксплуатацию вновь вводимых устройств,

10) установить, ввести в действие новые светодиодные светофоры с маршрутными указателями,

11) установить три шкафа типа ШКН,

12) установить загородительные колонки для подачи вагонных замедлителей на местное управления,

13) заменить датчики педалей ДП 50—80—50 на ИДП, 14) установить приёмно-отправочную станцию дляправки документов.

Модернизация системы роспуска составов проект длительный и дорогостоящий. Реализовывается в несколько этапов.

В 2012 году введено и запущено в действие:

— Построен и введен в эксплуатацию новый горочный пост с переключением действующей аппаратуры,

— укладка двух километров кабеля от горочного поста до шкафов типа ШКН,

— переключения пульт — управления 1 и 2 оператора,

— ввод в действия шести модульных компрессорных типа БКК (блок — контейнер компрессорный), для бесперебойной работы питающих установок вагонных замедлителей,

— ввод в действие энергетического модуля бесперебойного питания компрессорных модулей,

— пневматическая почта, осуществляющая пересылку документов от поста ГАЦ на пост ЭЦ,

— заменена и установка четырёх ресиверов воздуха по В-10,

— усовершенствована трубопроводная система подачи воздуха смежным организациям,

— дистанции пути для обдувки и отчистки стрелок в зимний период работы устройств, пункты технического обслуживания вагонов ПТО, для заполнения тормозной системы поездов.

В 2014 году путевым хозяйством организована и проведена масштабная работа по подъёмке профиля пути:

— первого и второго пути надвига,

— спусковой части горы,

— путей подгорочного парка.

В соответствии со стратегическими целями развития ОАО «РЖД» поставлена задача резкого повышения производительности труда, сокращения эксплуатационных расходов, перехода на малолюдные технологии работы сортировочных станций с одновременным повышением безопасности прохождения технологических процессов формирования-расформирования составов на сортировочных станциях. Особое внимание обращается на необходимость концентрации сортировочной работы на крупных сортировочных станциях сетевого и регионального значения, на которых должны быть обеспечены высокопроизводительная переработка вагонов и выполнение жестких нормативов простоя вагонов.

Одним из решающих звеньев в цепи технологического процесса переработки вагонов на сортировочных станциях является процесс расформирования составов на сортировочных горках, который состоит из следующих операций:

1. Надвиг состава на горку, расцеп его на маршрутные группы — отцепы.

2. Управление маршрутами скатывания отцепов путем перевода стрелок.

3. Регулирование скорости движения отцепов путем торможения их на замедлителях тормозных позиций с целью обеспечения необходимых интервалов между скатывающимися отцепами и соединения их на путях сортировочного парка с допустимой скоростью.

Горочный комплекс состоит из следующих подсистем:

— микропроцессорная ГАЦ с ведением накопления вагонов в сортировочном парке (ГАЦ МН). Система ГАЦ

МН выполняет следующие задачи: — коррекцию программы роспуска; предварительное задание маршрутов; восстановление маршрутов при разделении отцепов; программный автовозврат стрелки; автоматическое предотвращение взреза при маневрах; контроль исполненных маршрутов; ведение накопления в сортировочном парке; контроль перестановок вагонов локомотива; формирование сортировочного листка повторного роспуска.

Роспуск под управлением ГАЦ МН может производиться в следующих режимах:

1. В автоматическом режиме, при котором запрашиваемый с автоматизированного рабочего места дежурного по горке (АРМ ДСПГ) сортировочный листок автоматически преобразуется в программу роспуска и загружается в ГАЦ МН для исполнения.

2. В маршрутном режиме, при котором набор программы производится по маршрутам, последовательно набранным для отцепов, последующие маршруты могут быть набраны как предварительно, так и во время роспуска.

В этих режимах перевод стрелок производится автоматически: предварительным переводом всех стрелок по маршруту в момент освобождения предыдущим отцепом измерительных участков ГАЦ МН,

— подсистема автоматизированного регулирования скоростей скатывания отцепов и управления прицельным торможением (АРС-УУПТ) с функциями контроля и диагностики процесса торможения (СКДТ),

— контрольно-диагностический комплекс станционных устройств горочной зоны (КДК СУ ГАЦ).

Высокая перерабатывающая способность горок сетевых сортировочных станций, при которой интервалы

между роспусками составляют не более 30 секунд, потребовала создания высоконадежных комплексов горочной автоматики со встроенными средствами диагностики напольных устройств и самодиагностики управляющего вычислительного комплекса (УВК). Для обеспечения непрерывности управления в подсистемах ГАЦ МН и АРС-УУПТ использован УВК с нагруженным резервом [3].

Программное обеспечение подсистем горочной автоматики работает под управлением операционной системы реального времени LINUX, которая обеспечивает многозадачный режим с поддержкой приоритетов. В прикладном программном обеспечении ГАЦ МН и АРС-УУПТ применены алгоритмы, позволяющие по данным функциональной диагностики, в том числе предотказной, исключать из контура управления отказавшие или нестабильно работающие напольные устройства путем внутренней реконфигурации подсистем. Это позволяет производить роспуски в автоматическом режиме без снижения количества перерабатываемых вагонов.

Практическая реализация в новых экономических условиях «Программы обновления и развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), реализуемой ОАО РЖД на сортировочных станциях сетевого и регионального значения, обращает основное внимание разработчиков на интенсификацию технологических процессов, снижение риска брака, резкое снижение затрат времени на обнаружение неисправности низовых устройств СЖАТ, а во многих случаях и предотвращение аварийных ситуаций за счёт всесторонней обработки и своевременного предоставления диагностической информации оперативному и обслуживающему персоналу.

Литература:

1. В. И. Шелухин Автоматизация и механизация сортировочных горок: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. — М.: Маршрут, 2005. — 240с
2. Главная страница — АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» — Омск onpz.gazprom-neft.ru
3. Монгольская горка: импульс для разбега. Пульт управления 2017 № 3 <http://www.pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=12>

Повышение энергетической эффективности работы насосных агрегатов

Завершинский Кирилл Юрьевич, студент;

Захаров Сергей Петрович, начальник цеха ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», научный руководитель
Высшая школа системного инжиниринга Московского физико-технического института

В работе рассматриваются методы повышения энергетической эффективности работы насосных агрегатов в условиях действующего производства на предприятии с полным металлургическим циклом.

Ключевые слова: насосные агрегаты, объединение коллекторов, удельное потребление электроэнергии

На производственной площадке ПАО «НЛМК» в городе Липецке на насосной станции 2 подъёма № 6 существуют группа насосных агрегатов подачи воды на

технологические нужды Конвертерного цеха № 1 и группа насосных агрегатов подачи воды в производственно-противопожарную сеть Новолипецкого металлургического

комбината. Эти насосные агрегаты работают в режиме со сниженным КПД в связи с тем, что их характеристики превышают требования потребителя, что ведет к повышенному удельному потреблению электроэнергии на 1 м³ перекачиваемой воды. Указанная ситуация сложилась в связи с постепенным развитием комбината и изменением требований основных металлургических агрегатов к давлению и расходу технической воды.

Описание проблемы

На насосной станции 2 подъёма № 6 установлены насосные агрегаты, подачи в производственно-противопо-

жарную сеть предприятия и в конвертерное отделение Конвертерного цеха № 1 (II и III группа соответственно), у каждой группы насосных агрегатов свой напорный коллектор (рис. 1).

Потребление воды конвертерным отделением (III группа насосных агрегатов) составляет 5200 м³/ч, а в производственно-противопожарную сеть (II группа) — 1600 м³/ч, таким образом, суммарное потребление воды по обеим группам — до 6800 м³/ч. При этом максимально возможная производительность всех одновременно работающих насосов составляет 8900 м³/ч.

В связи с тем, что работы одного насосного агрегата на любой из групп недостаточно для обеспечения потре-

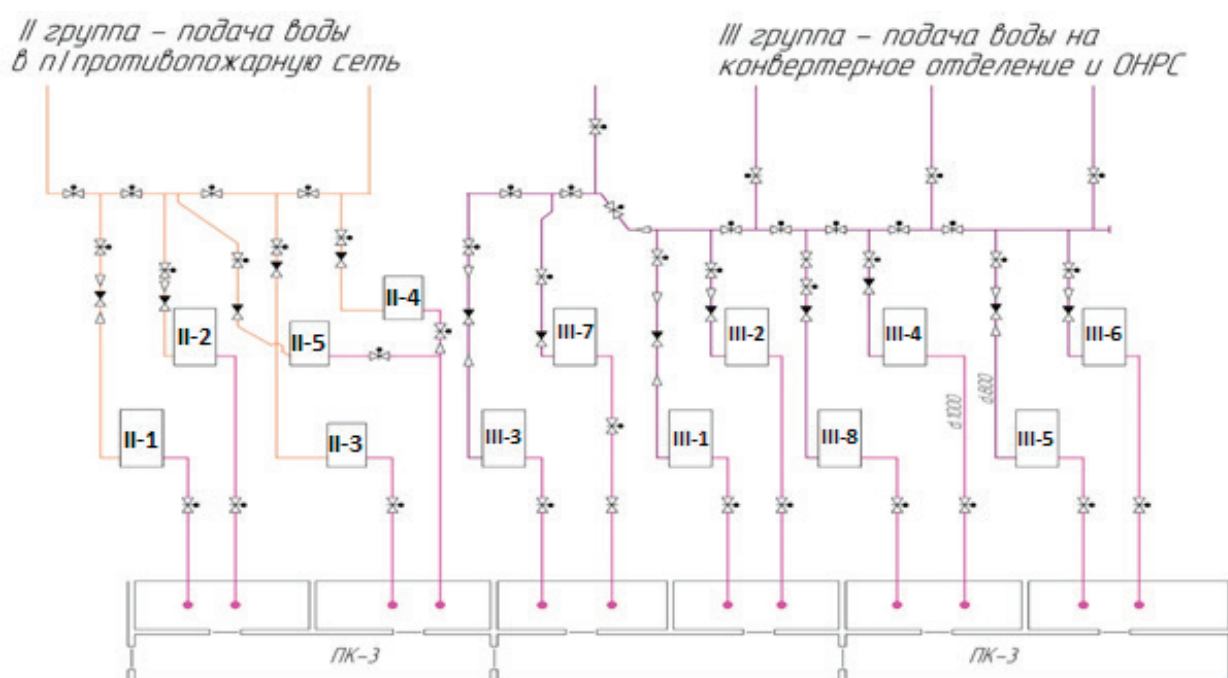


Рис. 1. Фрагмент исходной технологической схемы насосной станции

Таблица 1

№ группы	№ агрегата	Характеристика насосных агрегатов				Напор в коллекторах, м
		Марка насоса	Q номинальная, м ³ /ч	H, м	N электродвигателя, кВт	
II	II-1	Д1250-63	1250	63	315	70±3
	II-2	Д1250-63	1250	63	250	
	II-3	Д1250-63а	1100	52,5	250	
	II-4	Д1250-63	1250	63	250	
	II-5	Д1250-63	1250	63	250	
III	III-1	Д3200-75	3200	75	800	73±3
	III-2	Д3200-75	3200	75	800	
	III-3	20НДС	3400	71	800	
	III-4	Д1250-125	1250	125	500	
	III-5	Д3200-75	3200	75	800	
	III-6	Д3200-75	3200	75	800	
	III-7	Д3200-75	3200	75	1000	
	III-8	Д3200-75	3200	75	1000	

бителей технической водой, в штатном режиме одновременно включено 2 насоса Д3200–75 на III группе агрегатов и 2 насоса Д1250–63 на II группе агрегатов.

Состав и характеристика оборудования рассматриваемых групп насосных агрегатов указаны в таблице 1.

Учитывая, что фактическая производительность каждого насосного агрегата III группы (Д 3200–75) составляет $5200:2=2600\text{м}^3/\text{ч}$, легко видеть, что в этих условиях КПД агрегатов этой группы составляет около 85% (максимальный КПД составляет 90% при производительности $3200\text{м}^3/\text{ч}$), при этом потребляемая мощность каждого агрегата составляет 620кВт (рис. 2).

Фактическая производительность каждого насосного агрегата II группы (Д 1250–63) составляет $1600:2=800\text{м}^3/\text{ч}$, с КПД агрегатов этой группы около 77% (максимальный КПД 85% при производительности $1250\text{м}^3/\text{ч}$), и потребляемой мощностью каждого агрегата 200кВт (рис. 3).

Фактическая производительность каждого насосного агрегата II группы (Д 1250–63) составляет $1600:2=800\text{м}^3/\text{ч}$, с КПД агрегатов этой группы около 77% (максимальный КПД 85% при производительности $1250\text{м}^3/\text{ч}$), и потребляемой мощностью каждого агрегата 200кВт (рис. 3).

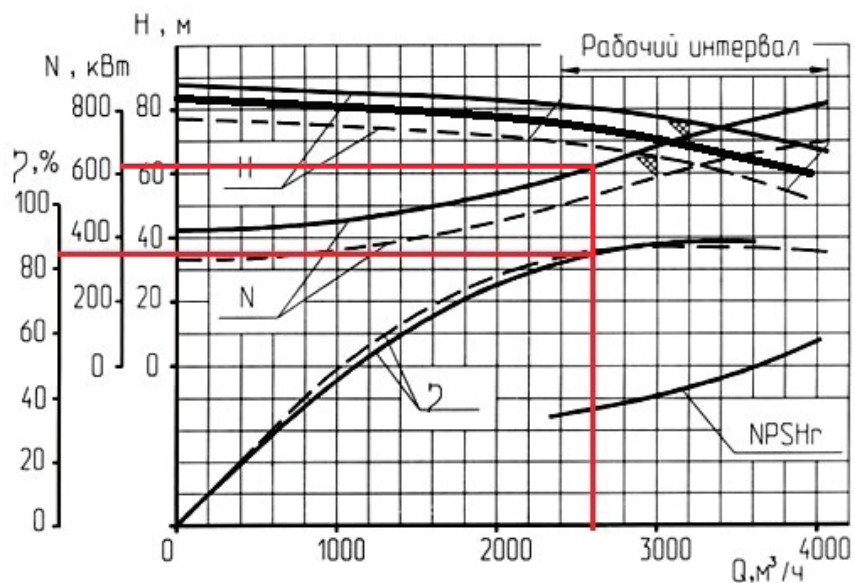


Рис. 2. Исходная характеристика насосного агрегата Д3200–75 (III группа)

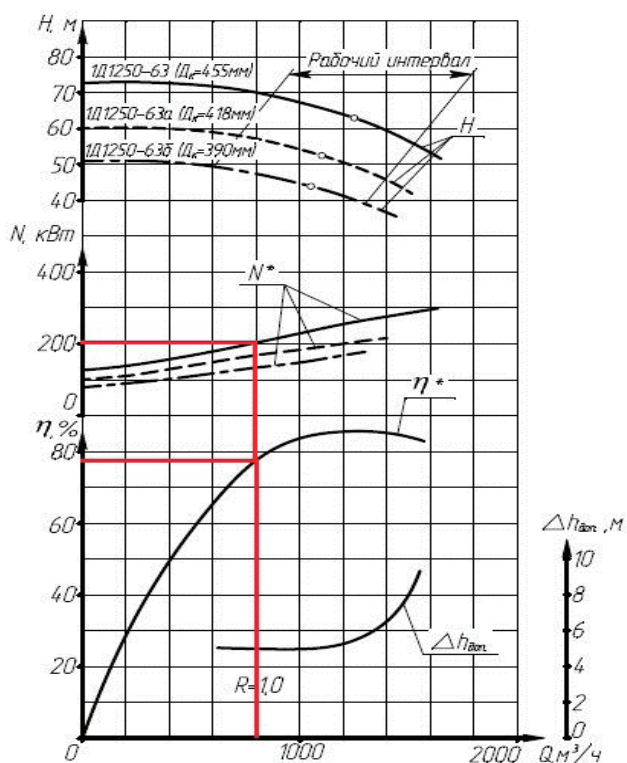


Рис. 3. Исходная характеристика насосного агрегата Д1250–63 (II группа)

Таким образом, насосные агрегаты обеих групп работают в режиме с неоптимальным для них КПД, что ведет к завышенному потреблению ими электроэнергии.

Решение проблемы

Одним из технических решений, направленных на повышение энергетической эффективности работы насосной станции 2 подъёма № 6, является установка частотных преобразователей на электродвигатели насосных агрегатов, однако подобное решение является весьма дорогостоящим в связи с высокой стоимостью оборудования.

Регулирование насосных агрегатов методом дросселирования (запорной арматурой на напорных трубопроводах насосных агрегатов) не приведёт к снижению удельного потребления электроэнергии, так как одним из недостатков этого метода является ухудшение энергетической эффективности вследствие работы агрегатов со сниженным КПД [1, с. 59–60].

Регулирование методом байпасирования также является энергозатратным в связи с необходимостью перекачивать дополнительный объём жидкости с напорных трубопроводов насосных агрегатов во всасывающие или в приёмную камеру.

Однако, учитывая, что обе группы насосных агрегатов работают при практически одинаковых значениях давления в сети, было реализовано техническое решение, предусматривающее соединение коллекторов указанных

групп насосных агрегатов через участок трубопровода с поворотным затвором Ду800 (рис. 4).

Это решение позволило отключить один из насосных агрегатов II группы (подачи воды в производственно-противопожарную сеть комбината) с сохранением стабильности водоснабжения потребителей. При этом произошло смещение рабочей точки насосных агрегатов III группы в сторону увеличения расхода и КПД (рис. 5), что привело к снижению удельного потребления электроэнергии насосными агрегатами. Изменения рабочей точки насосного агрегата II группы не произошло.

Предложенное мероприятие было реализовано на Новолипецком металлургическом комбинате 1 ноября 2016г, что привело к снижению удельного потребления электроэнергии на 0,02 кВт·ч/м³, то есть в среднем с 0,337 до 0,317 кВт·ч/м³ (рис. 6).

Таким образом, учитывая объём перекачанной технической воды за первые 6 месяцев после реализации, экономия средств на закупку электроэнергии составила 1,55 миллиона рублей. Затраты на реализацию мероприятия по объединению коллекторов составили 0,54 миллиона рублей, а, следовательно, срок окупаемости проекта составил около двух месяцев.

Заключение

В условиях крупного действующего производства и изменения требований потребителей к давлению и расходу технической воды одним из методов повышения КПД групп

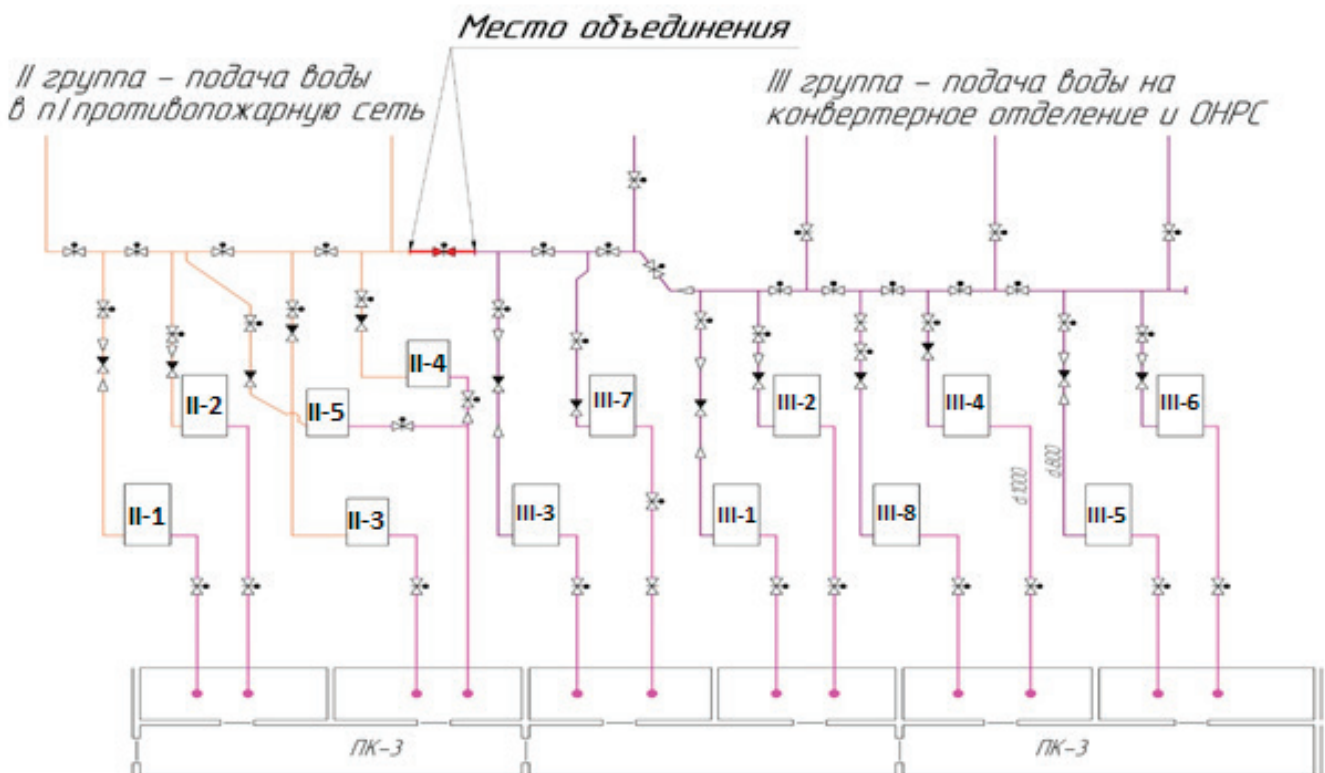


Рис. 4. Фрагмент предложенной технологической схемы насосной станции

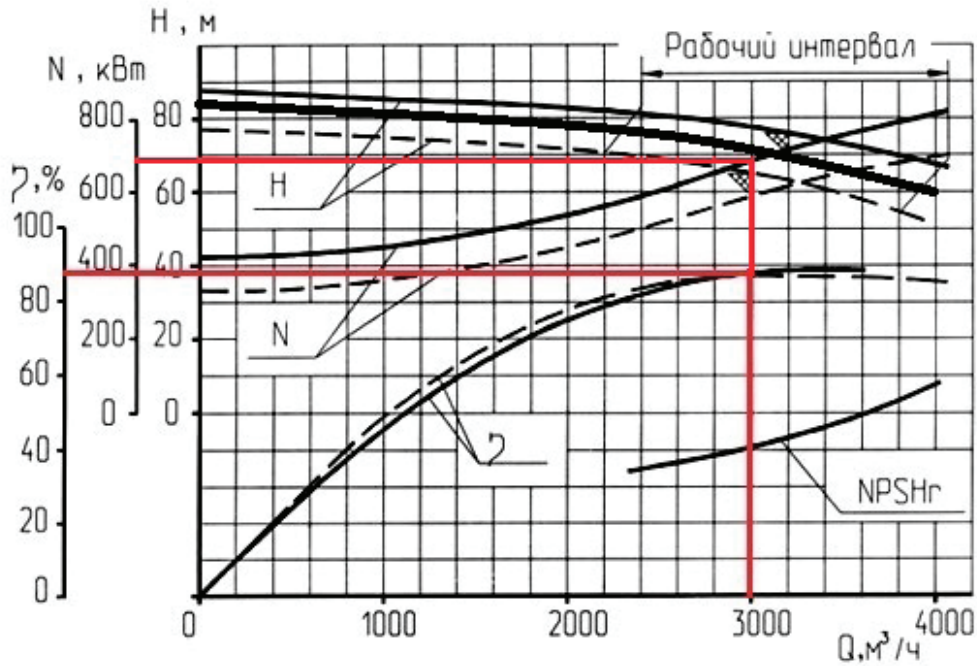


Рис. 5. Полученная характеристика насосного агрегата Д3200–75 (III группа)

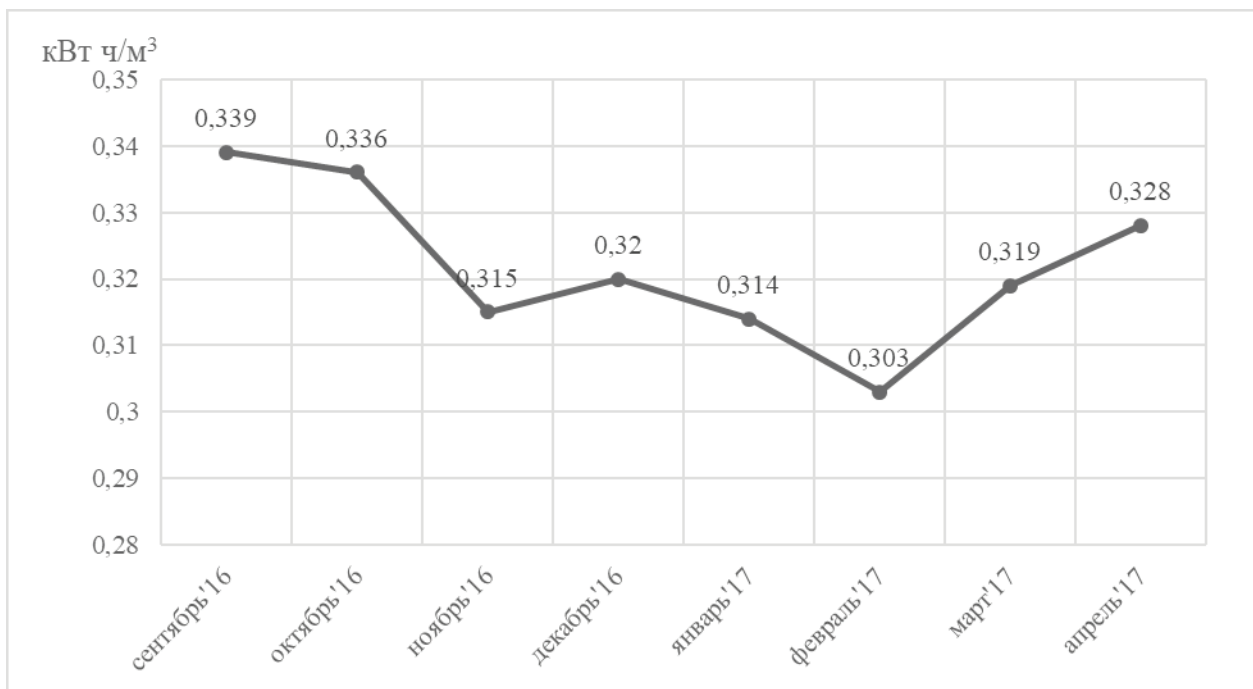


Рис. 6. Изменение удельного потребления электроэнергии насосных агрегатов II и III групп насосной станции 2 подъёма № 6 ПАО «НЛМК»

насосных агрегатов и снижения удельного потребления электроэнергии на 1 м³ перекачиваемой жидкости может стать объединение насосных агрегатов в более крупные группы через существующие напорные коллекторы. Этот

метод легко реализуем, не требует значительных капитальных затрат (как в случае с установкой частотных преобразователей на электродвигатели насосных агрегатов) и является весьма экономически эффективным.

Литература:

1. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции. — М.: Стройиздат, 1986—320 с.

Экономический анализ и расчет эффективности строительства подземного паркинга на примере объектов г. Ижевска Удмуртской Республики

Каинов Егор Алексеевич, студент;

Голубков Вадим Юрьевич, студент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Данная статья посвящена исследованию экономической эффективности строительства подземных парковок. Выполнен расчет экономической эффективности на примере объекта строительства в г. Ижевске Удмуртской Республики.

Ключевые слова: подземное строительство, подземный паркинг, экономическая эффективность

Власти продолжают целенаправленно бороться с незаконной парковкой, законодательство в этой области ужесточается, и людей, готовых рискнуть и припарковаться в неполюженном месте, становится все меньше. Поэтому создание новых парковочных мест просто необходимо. За последние 10 лет количество автомобилей в стране увеличилось почти в полтора раза. Сегодня в России зарегистрировано более 50 миллионов личных автотранспортных средств, и владельцам нужно где-то их парковать. Поэтому эксперты прогнозируют стабильный рост числа стоянок.

Нормативы обеспеченности жилья парковочными местами нередко устанавливаются на правительственном уровне. Например, в соответствии с постановлением Правительства Москвы № 769-ПП от 4.10.2005 г. «О внесении изменений в МГСН 1.01–99 о нормировании расчетных показателей требуемого количества машино-мест для объектов жилого, общественного и производственного назначения» при застройке территории жилыми домами II категории (30 кв. м общей площади на жителя) должно быть одно машино-место на квартиру, I категории (30–50 кв. м на человека) — не менее 1,7, а в домах высокой комфортности (свыше 50 кв. м на 1 человека) — не менее двух машино-мест на квартиру. Застройщики обязаны учитывать это правило. [1]

Впрочем, даже если бы необходимость обеспечить людей парковочными местами не была закреплена законодательно, правила рынка все равно расставили бы все по местам — сегодня у торгового центра или жилого комплекса без парковки практически нет шансов выделиться среди конкурентных объектов.

Цена строительства парковки — основной момент, влияющий на выбор проекта и технологии. Высокая стоимость подземных паркингов делает их строительство малодоступным большинству заказчиков. Минимальная стоимость квадратного метра подземной автостоянки начинается от 20000 рублей за квадратный метр и может доходить до 120 тысяч. Кроме геологических изысканий и большого объема земляных работ нужно будет смонтировать дорогостоящие системы пожаротушения и вентиляции, а также при необходимости перенести уже существующие коммуникации. Поэтому все зависит от нескольких факторов

Первый и самый главный: цена на землю. Если приобрести большую площадь земли и оборудовать на ней од-

нуровневые или многоуровневые наземные парковочные места оказывается дешевле по экономически-техническому расчету, то так и следует сделать, в иных случаях, а это при достаточно дорогой цене не землю, рационально будет строить подземный паркинг. К примеру, в центре Ижевска есть участки земли чья стоимость может достигать 900000 рублей за 1 м². Как раз по такой цене осуществляется продажа земельного участка, 15 м², ул. Красная 69 в г. Ижевске Удмуртской Республики. При такой стоимости оказывается сверхвыгодной любая подземная парковка или любое подземное и многоэтажное строительство. Но начинать рассматривать строительства подземных зданий и сооружений уже имеет смысл начиная со стоимости земельного участка в 20000 рублей за м² [2].

Для расчета, даже приблизительного, затрат на строительство паркинга, или гаража-стоянки манежного хранения автомобилей, прежде всего, необходимо знать общий строительный объем, который определяется, приведенной площадью одного машино-места $S_{пр}$ по формуле (1):

$$S_{пр} = S_{мм} + S_{вв}/MM + (S_p + S_{ам} + S_{тп} + S_{вп})/MM; \quad (1)$$

где $S_{пр}$ — приведенная площадь одного машино-места, $S_{мм}$ — площадь одного машино-места, S_p — площадь рампы, $S_{вв}$ — площадь проездов (въездов-выездов), $S_{ам}$ — площадь автомойки, $S_{тп}$ — площадь технических помещений, $S_{вп}$ — площадь комнат охраны и других вспомогательных помещений, MM — общее количество машино-мест.

Например, при размерах машино-места 2,7мх5,8м, $S_{мм}$ равняется 15,66м², $S_{вв}/MM$ — величина постоянная, т.к. определяется шириной машино-места и шириной проезда, и равняется ориентировочно 8,91м², т.е. приведенная площадь машино-места, при принятых размерах собственно машино-места, не может быть меньше, чем 24,57 м².

Остальные показатели: S_p — определяется рельефом местности (застройки), типом паркинга; $S_{ам}$ — определяется количеством машино-мест (на каждые 100 машино-мест — 1 пост мойки автомобилей); $S_{тп}$, $S_{вп}$ — определяются, в основном, типом паркинга (открытый, надземный закрытый не отапливаемый, надземный отапливаемый, подземный) и принятой системой его эксплуатации. Как правило, приведенная площадь машино-места колеблется в пределах 27–35 м².

Если принять $S_{пр} \approx 30$ м², то общая площадь паркинга на 200 машино-мест составит 6000м². Соответственно,

объем монолитного железобетонного каркаса (колонны, балки, перекрытия) здания составит около 2000 м³.

При ценах 2009 года на материалы и производство соответствующих работ 350–400 US\$/м³ стоимость только каркаса здания составит, как минимум 700000 US\$, т.е. 3500 US\$ на одно машиноместо.

Стоимость каркаса здания паркинга составляет, как правило, от 20% до 60% от общей стоимости строительства всего гаражного комплекса в зависимости от типа паркинга.

Таким образом, зная строительный объем по каркасу здания, можно оценить общие затраты на строительство паркинга.

Вторым фактором является доступность земельных площадей для приобретения, например, в центре города, где уже все застроено и возможной оказывается часто лишь точечная застройка на привлекающих и подходящих участках земли (пример — ТЦ «Сигма» в г. Ижевске).

Третьим фактором, но наименее применимым для Удмуртской Республики, является фактор наличия в прилегающих областях уже построенных и действующих подземных зданий, сооружений и транспортных коммуникаций: подземные дороги, парковки, метро, жилые здания, коммерческие зоны и т.д. За частую очень выгодным является открытая возможность для соединения с другими транспортными узлами.

Рассмотрим реальный пример города Ижевск — жилой комплекс на ул.Холмогорова в г. Ижевске: жилой дом № 2. Согласно сметам, сведенным в таблицу 1, стоимость квадратного метра подземного паркинга округленно равняется 45000 рублей. Чтобы строительство такой подземной парковки было выгодно, достаточно, чтобы это число было меньше или равно сумме стоимости квадратного метра земельного участка в прилегающих областях и стоимости строительства и оборудования простого наземного паркинга, удовлетворяющего необходимости в машиноместах, учитывая будущее население этого дома (жилого комплекса) [3,4]. То есть для эффективности строительства подземного паркинга должно выполняться неравенство (2):

$$P \leq Z + H; \tag{2}$$

где, P — стоимость строительства подземной парковки, Z — стоимость приобретения земельного участка под строительство наземной парковки, H — стоимость строительства наземной парковки.

Это вполне реально, учитывая пример, приведенный выше по тексту. Также стоит отметить, что места в подземном паркинге можно продавать по отдельному предложению, учитывая многочисленные преимущества над простой наземной.

Таблица 1. Расчет стоимости строительства объекта «Многоквартирный жилой дом № 2 по ул. Холмогорова с подземным паркингом на 86 машино-мест»

№ п/п	Вид работ	Стоимость	Стоимость
		всего в руб.	1 м2
1	2	3	4
Общестроительные работы			
1	Снос зданий	2 050 000,00	111,61
2	Монтаж забора	165 000,00	8,98
3	КТП-630	490 000,00	26,68
4	Временное электроснабжение	179 212,50	9,76
5	Монтаж эл.оборудования в КТП для времен. эл.снабжения	57 129,00	3,11
6	Устройство шпунтовой стенки по оси 1/1 автостоянка	1 249 998,00	68,06
7	Устройство проезда через автостоянку. Автостоянка	126 745,00	6,9
8	Устройство проезда через автостоянку. Площадка	91 999,00	5,01
9	Таксация	348 487,00	18,97
10	Перенос ограждения	31 260,56	1,7
11	Устройство временного ограждения	85 478,00	8,94
12	Устройство временного ограждения, перенос	37 524,00	3,93
13	Планировка строительной площадки	63 252,72	3,44
14	Временная дорога из плит для шпунтовой стенки автостоянка	96 069,00	5,23
15	Устройство подпорной стенки (откосы)	623 554,00	33,95
16	Подпорная стенка ПС1, ПС3	1 135 594,40	61,83
17	Засыпка пазух котлована песком	783 889,00	42,68
18	Земляные работы	26 052,04	1,42
19	Разработка грунта с вывозом на 17км, устройство	33 310 147,65	1813,59
20	свайного основания, срубка оголовков свай,		
21	Бетонная подготовка, гидроизоляция		
22	перебазировка, основание под кран, доп забивка (аренда копровой установки) (см 5, 5А)		

23	Каркас монолитный: ростверки, лестницы, балки, перекрытия, стены и пилоны (см 12)	157 736 072,15	8 588,02
24	Монолитный каркас подземной автостоянки (см 17а)	17 765 566,29	967,25
25	Монолитная плита автостоянки (ст-сть ар-ры) (см 13а) автостоянка (735 м3)	10 937 681,42	595,51
26	Силовые полы автостоянки (см 16а)	7 052 521,93	383,98
27	Кирпичная кладка (см 20)	84 148 157,00	4 581,49
28	Деф. шов (см 45)	156 626,96	8,53
29	Кирпичная кладка (см 22а) автостоянка	3 622 942,82	197,25
30	Кирпичная кладка перегородок в багажном отделении (см 53а) автостоянка	272 703,00	14,85
31	Входные группы, силовой пол (см21)	9 883 933,83	538,14
32	Устройство гидроизоляции под входными группами ВГ-1,2 (см 49)	105 894,56	5,77
33	Входные группы автостоянки (см46а)	985 250,30	53,64
34	Устройство кровли (см 48)	5 143 694,00	280,05
35	Устройство кровли над лестничными клетками и въездом в автостоянку (см51а)	467 546,80	25,46
36	Окна ПВХ, двери ПВХ (см 28) 3111м2	16 294 387,11	887,16
37	5238 руб/м2		
38	Витражи алюминиевые (см47)	13 241 201,04	720,92
39	Двери металлические квартирные (СМ 41)	3 027 138,00	164,81
40	Двери металлические спец двери (СМ 52)	1 696 140,16	92,35
41	Стальные двери автостоянка	170 000,00	9,26
42	Ворота автостоянка	144 000,00	7,84
43	Отделка автостоянки	6 421 482,00	349,62
44	Наружная отделка (см 41)	531 107,00	28,92
45	Наружная отделка ОКРАСКА ПОЯСКОВ (см 50)	498 366,16	27,13
Разные работы			
46	Лестницы металлические, ограждения лестничных маршей, поручни		
47	Мусоропровод (см 39)	1 352 741,00	73,65
48	Подкрановые пути(фундаменты), перебазировка крана, монтаж, демонтаж (см42)	1 053 133,55	57,34
49	Подпорные стены под кран (см 43)	181 472,00	9,88
ИТОГО общестроительные работы		4 657 942 252,45	25 366,58
Спец. работы			
50	ХВС, ГВС, пожарный водопровод, ПВНС (см 25)	21 198 450,00	1 154,16
51	Внутренняя канализация (см 25)		
52	ХВС, ГВС, пожарный водопровод автостоянка (см 25)	1 094 927,00	59,61
53	Отопление (см 24)	19 672 801,00	1 071,09
54	Отопление автостоянка (см 24а)	1 048 339,00	57,08
55	ИТП (см 32)	2 270 000,00	123,59
56	Вентиляция (см35)	4 971 872,00	270,7
57	Вентиляция автостоянка (см34а) 5359руб/м2 автост.	8 863 187,00	482,56
58	Силовое оборудование с АСКУЭ (см 23)	13 815 124,94	752,17
59	Прокладка гофротрубы (см40)	2 736 864,00	149,01
60	Эл.освещение (см 23)	4 752 096,42	258,73
61	Силовое оборудование с АСКУЭ (см 23) автостоянка	985 161,94	53,64
62	Эл.освещение АВТОСТОЯНКА	1 429 985,36	77,86
63	Слаботочные системы (домофон)	0	-
64	АПС, автоматизация дымоудаления (см 27)	3 449 227,00	187,79
65	АПС, автоматизация дымоудаления, система пожаротушения (см 26а 1,2)	5 547 903,00	302,06
66	АПС, автоматизация дымоудаления, система пожаротушения (см 26а3)	1 400 094,00	76,23
67	Монтаж, ПНР, ТО лифтов, стоимость оборудования, монтаж и обор-ние диспетчерской связи с ПНР (см 30)	18 398 436,00	1 001,71
68	ИТОГО по спецработам	111 634 468,66	6 077,99
69	ИТОГО коробка	577 428 721,11	31 444,57
70	в том числе автостоянка 86 машино-мест	74 772 904,36	3 994,83
71	Итого без автостоянки	302 655 816,75	27 449,74
72	площадь автостоянки 1653,62 м2	869 452,38	45 217,71

Таблица 2. Укрупненный расчёт стоимости устройства наземной парковки площадью 1653м²

Вид работ	Стоимость с НДС, рублей
Демонтаж существующих сооружений	2 479 500
Земляные работы (вертикальная планировка, автоперевозки грунта)	176 000
Устройство асфальтобетонных проездов с бордюрами (весь конструктив)	3 719 250
Устройство пешеходных тротуаров	443 960
Газон, зеленые насаждения	270 000
Ограждения	353 000
Организация движения	74 300
Итого стоимость	7 516 010
Площадь, м ² :	1653
Стоимость руб. за 1 м ² :	4 546,89

Анализируя таблицы 1 и 2 в соответствии с неравенством (2), а также учитывая стоимость земельного участка равную 46000 руб/м², выходит, что строительство подземной автостоянки экономически выгодно.

Таким образом, необходимо сделать вывод о том, что целесообразность и экономическая эффективность строительства подземной парковки напрямую зависит от стоимости земли.

Литература:

1. Вопросы экономики использования подземного пространства городов: Сб. науч. тр. — М.: Знание, 2007.
2. Объявления о продаже земельных участков [Электронный ресурс]: Поисковый портал по недвижимости «БИ-БОСС» — Режим доступа <https://www.beboss.ru/> (дата обращения 18.04.2017).
3. Услуги и Прайс-Док. [Электронный ресурс]: Сайт строительной компании «ТрансСтрой» — Режим доступа <http://www.asfaltirovshiki.ru/> (дата обращения 18.04.2017).
4. Виды работ, прайс-лист, наши работы, технология [Электронный ресурс]: Портал компании «СтройДор» — Режим доступа <https://www.asfaltkroshka.com/> (дата обращения 18.04.2017).

Технологии, стандарты, преимущества и особенности применения роботизированной сварки

Каримов Алмас Ермакович, магистрант;
 Боченин Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент
 Карагандинский государственный технический университет (Казахстан)

Роботизированная сварка представляет собой полностью автоматизированный процесс, который реализуется за счёт использования специальных роботов-манипуляторов, сварочного оборудования, оснастки и его рабочего пространства. Основные преимущества сварки роботом заключаются в первоклассном качестве готовых изделий и высокой производительности сварочного производства. Как и у любого современного и высокотехнологичного производства, в области сварки роботом существует масса важных особенностей, знание которых позволит достичь наилучшего результата и запустить действительно безопасный, высокоэффективный сварочный процесс [1]. Об основных особенностях технологии сварки роботом и пойдёт речь в данной статье.

Как уже отмечалось, главным достоинством роботизированной сварки является её высокая точность: так, совре-

менные роботы для сварки имеют технические характеристики, предоставляющие возможность добиться точности позиционирования сварочной горелки с минимальными допусками порядка 0.03–0.05 мм, что является достаточным для подавляющего большинства сварочных задач.

Однако необходимо отметить некоторый недостаток робота, который заключается в том, что, в отличие от человека, при недостаточно точном позиционировании детали он не может самостоятельно изменить траекторию и найти правильную точку для сварки, и в этом случае погрешность позиционирования и сборки заготовок не должна превышать ±0.5 мм [2].

Чтобы достичь данной точности позиционирования используются методы коррекции сварочной траектории, например, использовать лазерную систему слежения за швом. Коррекция траекторий дает возможность при со-

хранении качества обеспечить высокую точность сварного изделия, но, с другой стороны, при её использовании ожидается падение производительности процесса вплоть до 30 % времени изготовления.

Благодаря использованию технологической оснастки, технологический процесс сварки с применением роботов позволяет сократить потери времени на коррекцию сварочной горелки.

Наряду с этим, сварочная оснастка должна фиксировать свариваемую заготовку на устройстве позиционирования и предоставлять роботам свободный доступ к местам сварки. Нет необходимости использования сварочной оснастки в качестве инструмента правки геометрии свариваемой заготовки до её попадания на линию последующей автоматизированной сварки. Исключением может служить использование гидравлических зажимов. Суть применения гидравлических зажимов заключается не только в фиксации, но и в обеспечении определённой геометрии заготовки при сварке.

Поскольку сварочные роботы — это современное, высокоточное и высокотехнологичное оборудование, то и заготовка, поступающая на операцию роботизированной сварки, должна удовлетворять высоким требованиям точности и качества, что выражается в необходимости использования соответствующего оборудования на всех этапах, предшествующих сварке [2]. Использование современных станков плазменной и лазерной резки с ЧПУ является отличным решением для раскроя листов металла под последующую обработку автоматизированной сваркой.

Кроме достойного качества сборки заготовки и правильного её позиционирования, обязательным условием точной сборки, сварки роботом является калибровка узлов самого робота. В общем случае, калибровка роботизированного комплекса включает в себя три этапа: калибровку осей, включая внешние, настройку координат инструмента, настройку координат окружения [3].

Калибровка осей и настройка координат окружения являются обязательными. Калибровку осей, как правило, производят единожды перед первым запуском системы и регулярно проверяют во время планового техобслуживания. Калибровка инструмента необходима для установки связи между инструментальной и базовой системами координат робота-манипулятора, что, в свою очередь, требуется для корректного движения горелки по заданной траектории, а также для точной работы системы коррекции этих траекторий. Координаты окружения необходимы для создания виртуальной модели комплекса в САМ-системе, позволяющей создавать сварочные программы для робота [3].

Выбор метода сварки

Метод роботизированной сварки и, соответственно, сварочное оборудование, выбирается исходя из условий производственной задачи. Поскольку контактная и электродуговая сварка считаются наиболее универсальными и доступными, именно им и будет посвящён наш обзор.

Дуговая сварка представляет собой процесс получения необходимой для нагрева и расплавки металла теплоты за счёт дугового разряда, который возникает между электродом и свариваемым металлом.

Роботизированный комплекс для сварки электродуговым методом использует непокрытую электродную проволоку, а также флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Благодаря тому, что часть слоя флюса, общая толщина которого составляет 30–35 мм, расплавляется, вокруг дуги образуется газовая полость и происходит глубокое проплавление металла заготовки. При сварке под флюсом на поверхности расплавленного металла, помимо сварочной ванны, образуется и ванна жидкого шлака, поэтому при их застывании сварной шов оказывается покрыт твёрдой шлаковой коркой.

Ещё одна разновидность электродуговой сварки — сварка в среде защитных газов, при которой расплавленный металл электрической дуги и сварочной ванны защищается от воздействия атмосферного воздуха одноатомными аргоном или гелием, нейтральными двухатомными азотом или водородом, или же углекислым газом.

Преимущества сварки в среде защитных газов перед сваркой под флюсом заключается в получении более чистого и визуально более красивого сварного шва без шлаковых включений. Кроме того, дуговая сварка в среде защитных газов считается более производительной и эффективной, по сравнению с обычной дуговой.

При контактной точечной сварке детали соединяются друг с другом не по прямой, а точно — в одном или нескольких местах одновременно. Прочность сварного соединения при этом обуславливается размером и структурой сварной точки, которые, в свою очередь, зависят от характеристик контактной поверхности электрода, силы и времени протекания тока через заготовку, усилия сжатия и качества поверхностей деталей.

Организация рабочего пространства

Требует к себе повышенного внимания размещение и планировка комплекса для сварки роботом. Необходимо предусмотреть специальные буферные зоны для изделий после сварки. Выбирая место для расположения сварочного комплекса, важно помнить, что стандартные требования к территории включают в себя качественный бетонный пол, толщина которого не должна быть менее 300 мм, с перепадами, не превышающими 5 мм на 1000 мм. На территории расположения роботизированного сварочного комплекса желательно спроектировать подводу осушенного воздуха, а при проектировании электропитания необходимо предусмотреть использование стабилизаторов.

Контроль сварочного цикла

Для того чтобы иметь возможность осуществлять контроль над сварочным циклом, важно представлять себе весь набор операций сварочного комплекса и знать,

сколько по времени делятся эти операции. Этот набор данных удобно организовать в виде циклограммы, которая позволит выявить узкие места в работе сварочного комплекса и понять, насколько удачно та или иная операция вписывается в производственный процесс.

Ещё на этапе проектирования роботизированного комплекса необходимо рассчитать оптимальную схему его работы, которая сводила бы к минимуму простой роботов и согласовывалась с реальной нагрузкой комплекса, то есть с тем количеством заготовок, которые приходят с предыдущих производственных узлов.

Таким образом, несмотря на трудоемкость организации рабочего места сварочного робота, его настройки, значительной потребности в обучении персонала, программирующего и обслуживающего робота, необходимо отме-

тить следующие основные преимущества современных сварочных роботов перед человеком:

- увеличенная производительность и скорость сварки (фактор времени дуги достигает 60–80%);
- уменьшение числа рабочих мест (один оператор сварочного робота заменяет 2–4 сварщиков);
- высокое качество сварных швов;
- улучшение условий труда (оператору нет необходимости стоять в непосредственной близости от дуги);
- полная безопасность операторов сварки благодаря минимизации вредного воздействия ядовитых испарений расплавленного металла, радиации и удара электрическим током;
- сокращение ошибок производства, а значит, минимизация брака и переработки.

Литература:

1. Сварка и резка металлов, М.Д. Банов, Ю.В. Казаков 2006 г — 400 с.
2. Роботизированная сварка. <http://vektor-grupp.ru/articles/1114/>
3. Роботизированная сварка: особенности применения. http://robo-weld.com/technology/welding_method/robotizirovannaya_svarka_osobennosti_primeneniya.html

Сжиженный природный газ: перспективы развития

Мысак Наталья Богдановна, магистрант;
Марченко Максим Вадимович, магистрант
Тюменский индустриальный университет

Ключевые слова: сжиженный природный газ, экономическая целесообразность, запасы газа, транспортировка, технологии производства, жидкое топливо, коммерческие проекты, капитальные затраты, ОАО «ЛУКОЙЛ»

Природный газ — полезное ископаемое, которое является одним из важнейших энергоносителей. В структуре потребления газ занимает третье место после нефти и угля.

Основными областями применения природного газа являются промышленность и производство электроэнергии, а также коммунально-бытовой сектор и транспорт. Природный газ широко применяется в качестве горючего в жилых, частных и многоквартирных домах для отопления, подогрева воды и приготовления пищи; как топливо для машин котельных и различной техники. В настоящее время газ активно используется и в химической промышленности. Он является исходным сырьём для получения различных органических веществ, например, производство пластмасс.

Все большую значимость приобретает природный газ, так как он еще является ресурсом с наименьшим уровнем вредных выбросов, цена на который в перспективе будет увеличиваться, так как потребность в нем постоянно растет.

Еще несколько десятилетий назад мировые доказанные запасы нефти почти в два раза превышали запасы природного газа. На сегодняшний день ситуация изменилась. Разведанные запасы природного газа практически сравнялись по своим показателям с «черным золотом» и продолжают стремительно расти [4].

Анализируя динамику доказанных запасов газа на ОАО «ЛУКОЙЛ» за последнее десятилетие, можно говорить, что доля газа в составе углеводорода возросла более чем на 3%, а доказанные запасы газа снизились на 2805 млрд фут³.

Исходя из опыта, ожидаемые запасы открытых месторождений, как правило, оказываются меньше, чем удаётся извлечь реально. Это связано с разными причинами, самые явные из них связаны с применением более дорогих технологий, например, третичными методами добычи углеводородов зачастую можно повысить коэффициент извлечения полезных ископаемых на 5–10%, а в некоторых случаях даже возобновить разработку месторождений, закрытых после использования традиционных технологий.

Таблица 1. Доказанные запасы газа ОАО «ЛУКОЙЛ» за 2005–2016 гг.

Год	Запасы газа, млрд фут ³
2005	25 298
2006	26 597
2007	27 921
2008	29 253
2009	22 850
2010	23 615
2011	23 169
2012	23 487
2013	23 642
2014	23 946
2015	23 838
2016	23 493

По перспективным проектам обеспечение прироста добычи углеводородов и их стабилизация в традиционных регионах является приоритетной задачей ОАО «ЛУКОЙЛ». Продолжится стабилизация добычи и в традиционных регионах за счет еще большего вовлечения запасов в разработку.

Сжиженным природным газом (СПГ) в отличие от природного газа в «чистом виде», имеет следующие преимущества:

- сжижение природного газа увеличивает его плотность в 600 раз, что сокращает объем при транспортировке и хранении;
- появляется возможность создания запасов и их использования по мере необходимости;
- нетоксичен, хранится под небольшим избыточным давлением при температуре около 112 К (–161 °С) в емкости с теплоизоляцией;
- возможность транспортировки на большие расстояния.

В первой половине XX века, после открытия крупных месторождений в США, расположенных вдали от крупных городов, стали серьезно задумываться о сжижении природного газа. Тогда и начались исследования по сжижению газа для его перевозки по железным дорогам и в наливных тарах, транспортировка газа по дальним магистральным трубопроводам в то время казалась не реальной идеей.

В 1941 г. в Кливленде (США, штат Огайо) был построен завод сжижения газа для покрытия суточных «пиковых» нагрузок его потребления в зимнее время. Завод прекратил свое существование, не проработав и четырех лет, когда произошла страшная катастрофа, повлекшая за собой смерть более сотни человек и еще около полутора тысяч раненых. Произошел взрыв резервуара, с утечкой большого объема сжиженного газа, который впоследствии испарился и вспыхнул. Бушующий пожар не могли потушить четыре дня. Он причинил огромный материальный ущерб.



Рис. 1. Доказанные запасы газа ОАО «ЛУКОЙЛ» за 2005–2016 гг., млн барр.н.э.

В Советском Союзе на Московском заводе в 1954 г. ввели в эксплуатацию установку, рассчитанную на производство 25 тысяч тонн сжиженного природного газа в год. Тогда было проведено много исследований по применению СПГ в качестве топлива для автомобильных двигателей, которые оказались весьма успешными. Однако после открытия крупных месторождений нефти проблема использования сжиженного природного газа потеряла свою актуальность.

По некоторым оценкам, в отдаленных газовых месторождениях содержится до половины общих мировых открытых запасов газа. Хотя сжижение газа делает способ транспортирования его на большие расстояния более надежным, сжиженный природный газ (СПГ) остается все еще дорогим и обычно требует значительных капитальных вложений и долгосрочных обязательств, как со стороны покупателей, так и со стороны производителей. Исследования показывают, что технология строительства трубопроводов за последние 20 лет продвинулась дальше, чем технология сжижения природного газа, в некоторых случаях подтвердив экономическую целесообразность увеличения протяженности трубопроводов с 3000 км до 8000 км. К этому можно добавить, что использование высокопрочной стали предполагает большее снижение стоимости трубопроводов.

В последнее время стали чаще говорить о переходе на технологию производства жидкого топлива из газа, особенно на отдаленных или истощенных месторождениях и в изолированных регионах. Эта технология не новая. Процесс превращения природного газа в средние дистилляты, такие, как дизельное топливо, керосин, а также

в нефть и бензин, основан на технологии Фишера-Тропша, которая создана еще в 20-е годы. Хотя не все согласны, что эта технология достигла такого состояния, когда ее можно считать экономически конкурентоспособной, появилось стремление вывести ее на передовую линию.

Технология производства жидкого топлива из газа может обеспечить ключевую связь между прошлым и будущим. Эта технология предусматривает использование хорошо зарекомендовавшего себя оборудования и сложившейся инфраструктуры производства и распределения, кроме того, она восприимчива к изменениям рыночных условий.

С одной стороны, в мире имеются огромные запасы газа, ожидающие освоения, а с другой стороны, контроль за окружающей средой продолжает ужесточаться в ответ на непрекращающееся социальное и политическое давление. Эта мощная комбинация факторов увеличивает возможности для разработки технологии производства жидкого топлива из газа.

Множество компаний, включая нефтяные и газовые корпорации, в настоящее время пытаются найти пути упрощения процессов получения жидкого топлива и снижения его стоимости, чтобы сделать эту технологию более конкурентоспособной. На сегодняшний день во всем мире нефтегазодобывающие предприятия занимаются разработкой полномасштабных коммерческих проектов. Нет сомнения в том что, снижение капитальных затрат и повышение эффективности в ближайшем будущем улучшат общие экономические показатели технологии производства жидкого топлива из газа и помогут ей выдержать конкуренцию даже в современных условиях снижения цен на нефть.

Литература:

1. Кравченко Т.П. Ресурсоведение нефти и газа: учеб. пособие / Т.П. Кравченко. — М.: ГЕОС, 2014. — 196 с.
2. Лазарев Л. Я. Сжиженный природный газ — топливо и энергоноситель. М.: НПКФ «ЭКИП», 2006 г.
3. Мысак Н. Б., Марченко М.В. Оценка углеводородного потенциала ОАО «ЛУКОЙЛ» // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). — М.: Буки-Веди, 2017.
4. ПАОЛукойл[Электронныйресурс]/Основныефакты.Режимдоступа:http://www.lukoil.ru/static_6_5id_2160_.html.
5. Перспективы и опыт применения СПГ на объектах народного хозяйства. М.: ИРЦ Газпром, 2004 г.

Физические особенности и технология выделения гидрокарбонатов C_5-C_7 из состава природного газа

Овезов Мухамметрахим Овезмухаммедович, старший преподаватель
Международный университет нефти и газа (г. Ашхабад, Туркменистан)

В данной научной статье изложена методика по оптимизации химических параметров технологического процесса очистки природного газа для улучшения его экспортных показателей. C_5-C_7 углеводороды природного газа оказывают большое влияние на качество товарного газа, конденсируясь и образуя при низких температурах кристаллогидраты. Кроме того, их присутствие негативно влияет на процессы абсорбционной очистки газа от кислых газов и водяных паров, образуя с абсорбентами эмульсии, вызывающие вспенивание среды. Всё это связано с физическими особенностями C_5-C_7 углеводородов. Существует прямо про-

порциональная зависимость между критической температурой и молярной массой C_5-C_7 *n*-алканов: $t_{кр} = 2,5 M + 12,68$ ($R^2 = 0,986$). Существует обратно пропорциональная зависимость между критическим давлением и молярной массой C_5-C_7 *n*-алканов: $p_{кр} = -0,02 M + 4,79$ ($R^2 = 0,995$). Существует обратно пропорциональная зависимость между критическим давлением и критической температурой C_5-C_7 *n*-алканов: $t_{кр} = -121,6 p_{кр} + 598,4$ ($R^2 = 0,971$). Температуры кипения C_5-C_7 метил нафтеннов, образующихся за счет присоединения метиловой группы к нафтенному кольцу, ниже, чем у нафтеннов с равным числом атомов углерода в молекулах, например, циклогексан кипит при $80,8^\circ\text{C}$, метилциклопентан при $71,9^\circ\text{C}$. Эти особенности свойств C_5-C_7 углеводородов должны учитываться при переработке природного газа в товарный газ.

*In this article describes a technique for optimizing the chemical parameters of the natural gas purification process to improve its export performance. C_5-C_7 hydrocarbons of natural gas have a great influence on the quality of the commodity gas, condensing and forming at low temperatures crystalline hydrates. In addition, their presence adversely affects the absorption of gas from acid gases and water vapor, forming emulsions with absorbents that cause foaming of the medium. All this is connected with the physical peculiarities of C_5-C_7 hydrocarbons. There is a directly proportional relationship between the critical temperature and the molar mass of C_5-C_7 *n*-alkanes: $t_{cr} = 2,5 M + 12,68$ ($R^2 = 0,986$). There is an inverse relationship between the critical pressure and the molar mass of C_5-C_7 *n*-alkanes: $p_{cr} = -0,02 M + 4,79$ ($R^2 = 0,995$). There is an inverse relationship between the critical pressure and the critical temperature of C_5-C_7 *n*-alkanes: $t_{cr} = -121,6 p_{cr} + 598,4$ ($R^2 = 0,971$). The boiling points of C_5-C_7 methyl naphthenes formed by the addition of a methyl group to the naphthenic ring are lower than that of naphthenes with an equal number of carbon atoms in molecules, for example, cyclohexane boils at $80,8^\circ\text{C}$, methylcyclopentane at $71,9^\circ\text{C}$. These features of the properties of C_5-C_7 hydrocarbons should be taken into account when processing natural gas in commercial gas.*

В настоящее время выдвигаются большие требования к качеству товарного газа, поэтому приходится повышать оптимизацию химической технологии переработки природного газа. Как известно из методик переработки нефтегазовых ресурсов природный газ в первую очередь очищается в сепараторах. Здесь в нем конденсируются и отделяются более тяжелые гидрокарбонаты C_8+ и водяные пары (то есть, конденсат C_8+). Тогда гидрокарбонаты C_5-C_7 не отделяясь в стадии сепарации, переходят на следующие стадии процесса очистки газа. В переработке сульфидные газы после сепарации очищаются от кислых газов (H_2S , CO_2) при помощи этаноламина. После этого гидрокарбонаты C_5-C_7 в составе газа отделяются методом масляной абсорбции (то есть, конденсаты C_5-C_7). Газ, очищенный от гидрокарбонатов C_5-C_7 , очищается от остаточных водяных паров при помощи диэтиленгликоля и в товарном виде пропускается на магистральные газопроводы [1].

Если газ перед осушкой недостаточно очищен от гидрокарбонатов C_5-C_7 , тогда гидрокарбонаты C_5-C_7 вступают в физический связь с диэтиленгликолем, и создают в абсорбере вспенивающую эмульсию. Вспенивающее явление нарушает рабочий порядок абсорбера и снижает уровень очистки газа. Доказательство этому является меняющаяся характеристика показателей количества абсорбированной воды в диапазоне $0,4-0,5$ м³/час. Такое состояние является причиной того, что одна часть гидрокарбонатов C_5-C_7 не конденсировавшись, выходят вместе с газом, а другая вместе с абсорбентом создает эмульсию.

Данное состояние имеет место и в абсорбере, предназначенного для очистки природного газа от кислых газов (H_2S , CO_2), потому что гидрокарбонаты C_5-C_7 вместе с этаноламинами способны создать эмульсию и вспени-

ваться. Для снижения уровня конденсации гидрокарбонатов C_5-C_7 предлагается повысить входную температуру абсорбента $5-10^\circ\text{C}$ от температуры газа, выходящего из абсорбера. В производственных условиях с выходом абсорбционной теплоты данное предложение не дает результата и температура абсорбента, входящего в абсорбер меняется в диапазоне $45-61^\circ\text{C}$, а температура газа, выходящего из абсорбера соответственно $49-63^\circ\text{C}$. Это означает что гидрокарбонаты C_5-C_7 не конденсировавшись, выходят с газом или они вместе с абсорбентом создают эмульсию [2].

Жидкие гидрокарбонаты способны испаряться в открытых средах и в давлении $101,3$ кПа. С повышением температуры и снижением давления процесс испарения может усилиться. Существует относительно прямая зависимость между температурой кипения и молярной массой алкановых гидрокарбонатов C_5-C_7 выходящих вместе с газом: $t_f = 2,19 M - 126$ ($R^2 = 0,971$).

Температура кипения гидрокарбонатов в каком-то степени зависят от строения их молекул. Температура кипения снижается при переходе строения молекулы из одномерного пространства в двухмерную. Поэтому, есть разница между температурами кипения обычных алканов и изоалканов. Например, *n*-пентан кипит в температуре $36,1^\circ\text{C}$, изопентан $27,9^\circ\text{C}$; *n*-гексан $68,7^\circ\text{C}$ и соответственно изогексан $60,3^\circ\text{C}$.

В закрытых средах давления насыщенных паров алканов зависят от температуры и их молярной массы: чем больше молярная масса алкана и ниже температура, тем и давление насыщенных паров будет столько же низкой.

Существует обратно пропорциональная зависимость между критическими давлениями и молярной массой жидких *n*-алканов C_5-C_7 : $p_{кр} = -0,02 M + 4,79$ ($R^2 = 0,995$).

Существует прямо пропорциональная зависимость между критическими температурами и молярной массой n -алканов C_5-C_7 : $t_{кр} = 2,5 M + 12,68$ ($R^3 = 0,986$).

С увеличением молярной массы n -алкановых гидрокарбонатов C_5-C_7 увеличивается показатель критической температуры, а показатель критического давления снижается. Здесь имеет место обратно пропорциональная зависимость между критической температурой и критическим давлением: $t = -121,6 p + 598,4$ ($R^2 = 0,971$).

Также можно сказать что есть относительно прямая зависимость между температурой кипения и молярной массой нафтеновых гидрокарбонатов C_5-C_7 : $t_r = 1,556 M - 57$ ($R^2 = 0,907$).

Температура кипения метилнафтенов, образовавшихся при соединении боковых метиловых групп к нафтеновому кольцу, имеет низкие показатели по сравнению с соответствующими нафтенами. Например, кольцевой гексан кипит при температуре $80,8^\circ\text{C}$, а метило кольцевой пентан $71,9^\circ\text{C}$.

Такая разница между нафтенами и алкилнафтенами, равных по числу карбоновых атомов в молекулах, более отчетливо видна при их температурах кристаллизации. Например, кольцевой гексан уже кристаллизуется при температуре $-6,5^\circ\text{C}$, а для преобразования метило кольцевого пентана в твердый кристалл его приходится охлаждать до температуры $-142,7^\circ\text{C}$ [3].

Кольцевание алканов сильно влияет на их физико-химические свойства. Например, температура кипения пентана $36,1^\circ\text{C}$, а у кольцевого пентана $49,3^\circ\text{C}$. Температура кристаллизации пентана $-129,7^\circ\text{C}$, а у кольцевого пентана $-94,4^\circ\text{C}$. Если гексан кипит при температуре $68,7^\circ\text{C}$, то кольцевой гексан кипит при температуре $68,7^\circ\text{C}$. Гексан кристаллизуется при температуре $-95,3^\circ\text{C}$, а для

перехода кольцевого гексана в кристалльное состояние достаточно его охладит до температуры $-6,5^\circ\text{C}$.

Свойство растворимости в воде гидрокарбонатов возрастает по следующему порядку: алканы < нафтены < арены.

Растворимость алканов в воде невелика: $0,008-0,0018$ мг/дм³. Ограниченная растворимость ареновых гидрокарбонатов в воде достигает $1,5$ г/дм³. Арены хорошо растворяются в этиленгликолях. Легкие гидрокарбонаты по сравнению с тяжелыми гидрокарбонатами намного лучше растворяются в воде.

Таким образом, на основе физических свойств гидрокарбонатов были получены следующие выводы:

Вывод — 1: При наличии гидрокарбонатов C_5-C_7 в газовом состоянии и на высокой температуре, переход газа в жидкое состояние (конденсация) со снижением температуры, а также их растворение в тяжелых гидрокарбонатах — является оптимальными условиями для охлаждения, сепарирования или выделения при помощи метода абсорбции гидрокарбонатов C_5-C_7 из состава газа. Одновременно наличие способности сорбирования гидрокарбонатов в органических абсорбентах, предназначенных для очистки газа от кислых газов и водяных паров, создает трудности для исправного функционирования газоочистительных абсорберов.

Вывод — 2: В силу действия таких факторов как — кристаллизация гидрокарбонатов C_5-C_7 в минусовых температурах, создание совместно с водой кристаллогидратов, возможность создания негативного эффекта при экспортировании и использовании товарного газа, увеличение экспортных нормативов по поводу ревизии качества газа — является очевидным существенная важность создания оптимальной химической технологии предназначенного для заблаговременного извлечения соответствующих гидрокарбонатов и других нежелательных соединений.

Литература:

1. Галанин И. А., Шестерикова Р. Е., Басарыгин Ю. М. Оценка эффективности технологии получения абсорбента для очистки газа от сероводорода // Строительство газовых и газоконденсатных скважин: Сб. науч. статей ВНИИгаза и СевКавНИПИгаза. 1997 г.
2. Шестерикова Р. Е., Галанин И. А., Мурин В. И. Энергетические затраты в установках очистки газа от кислых компонентов // Повышение эффективности подготовки и комплексной переработки газа: Сборник научных трудов ВНИПИ-газ. — Баку. 1983 г.
3. Подлегаев Н. И., Афанасьев А. И., Петкина Н. П. и др. Применение физических абсорбентов для очистки природного газа // Обзорная информация. Сер. Подготовка и переработка гага и газового конденсата. Вып. 2. М.: ВНИИЭгаз-пром, 1988 г.

Угрозы применения малоразмерных БЛА и определение наиболее эффективного способа борьбы с ними

Самойлов Павел Владимирович, студент;

Иванов Константин Александрович, кандидат физико-математических наук, научный руководитель
Высшая школа системного инжиниринга Московского физико-технического института

Целью данной работы является исследование угрозы применения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), исходя из опыта ведения боевых действий последних локальных конфликтов,

оценка возможностей поражения малоразмерных БЛА современными комплексами противовоздушной обороны (ПВО), а также определение наиболее эффективного метода борьбы с ними.

Работа содержит:

- 1) описание тактики применения малоразмерных БЛА в составе группировок войск;
- 2) описание преимуществ и недостатков малоразмерных БЛА;
- 3) оценка возможностей поражения малоразмерных БЛА зенитным ракетным комплексом (ЗРК) «Тор», «Стрела-10МЗ», зенитным ракетно-пушечным комплексом (ЗРПК) «Панцирь-С1».
- 4) анализ предложенных мероприятий по организации поражения малоразмерных БЛА;
- 5) определение наиболее эффективного способа борьбы с малоразмерными БЛА.

Результатом проведенного исследования являются предложения по составу комплекса ПВО от малоразмерных БЛА.

Дальнейшее развитие работы будет заключаться в детальной проработке состава комплекса, проведении оценки эффективности поражения малоразмерных БЛА, а также проведении технико-экономической эффективности предложенных технических решений.

Ключевые слова: малоразмерные БЛА, ПВО, ЗРК «Тор», «Стрела-10МЗ», ЗРПК «Панцирь-С1», осколочное поле, боевая часть, сверхкороткоимпульсная радиолокационная станция X-диапазона, тепловизионный прибор, сверхконтрастная камера видимого диапазона, лазерный дальномер

Введение

В настоящее время спектр задач, стоящих перед системами ПВО, значительно расширился из-за появления новых угроз как от высокоточного оружия, так и от групповых малоразмерных БЛА. Если же задача защиты от противорадиолокационных, управляемых ракет и авиабомб частично может быть решена, хотя и не на самом эффективном экономическом уровне, то борьба с малоразмерными БЛА является новым видом противодействия.

Воздушная разведка является одной из самых важных и опасных боевых задач. Противник скрывает и защищает свои объекты комплексом организационных и технических мер, нередко прикрывая зенитными средствами. Данная ситуация наиболее характерна на начальном этапе боевых действий, когда ПВО противника находится на боевом дежурстве, а у наступающей стороны отсутствует превосходство в воздухе. Поэтому на этом этапе боевых действий применение БЛА является наиболее оправданным.

Малоразмерные разведывательные БЛА в силу небольшой дальности действия и малого времени работы являются относительно недорогими, а информация, которую они способны добыть, окупает затраты на их разработку, производство и эксплуатацию. При использовании пилотируемой авиации для разведки даже ценная разведывательная информация не оправдывает невосполнимые потери летного состава. Профессиональный летчик ценнее любого БЛА [1].

Именно поэтому самый многочисленный и наиболее развитый тип БЛА — малоразмерные разведывательные БЛА (рисунок 1). Вооруженные конфликты последних лет (Персидский залив, Ближний Восток, Афганистан) ярко продемонстрировали, что применение таких БЛА резко повышает эффективность боевых операций.

Тактика применения, преимущества и недостатки малоразмерных БЛА

Тактика ведения боевых действий на территории Сирии показала высокую эффективность применения малоразмерных БЛА отдельными военнослужащими из состава тактических разведгрупп. Информация с координатами расположения стратегически важных объектов противника оперативно передавалась в штаб командования сводной группировки войск с целью наведения и последующей корректировки (рисунок 2) высокоточного вооружения (крылатых ракет, управляемых бомб, корректируемых артиллерийских снарядов и др.).

Основным преимуществом малоразмерных БЛА является их малая заметность в радиолокационном и оптическом диапазонах. Это обусловлено малыми размерами и широким применением в конструкции БЛА легких композитных материалов. Бесшумность БЛА обеспечивается электрическими двигателями.

Основными недостатками малоразмерных БЛА являются: хрупкая конструкция; подверженность линий пе-

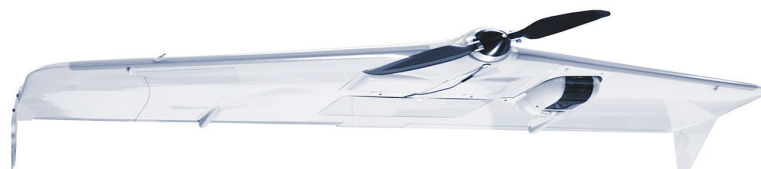


Рис. 1. Малоразмерный разведывательный БЛА ZALA 421-08M



Рис. 2. Оценка разведывательным БЛА результатов поражения позиций противника ТОС-1А «Солнцепек»

редач данных между БЛА и оператором воздействию помех; имеющиеся ограничения по массе и составу полезной нагрузки; сравнительно небольшая дальность действия дистанционного управления при отсутствии дополнительных средств ретрансляции.

Одним из перспективных направлений является использование стаи из нескольких БЛА (рисунок 3). Путём объединения в группы и четкого распределения ролей такие БЛА смогут эффективно преодолевать ПВО и выполнять различные боевые задания.

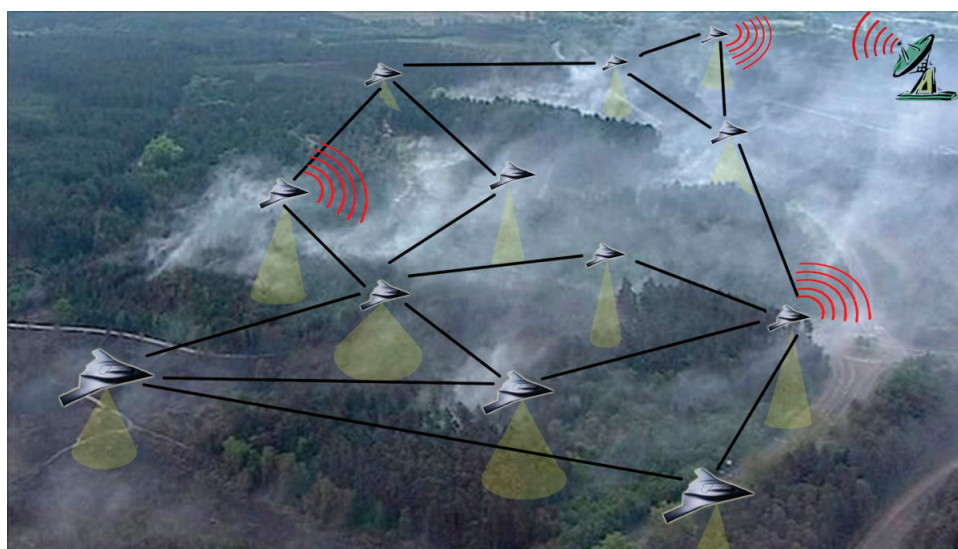


Рис. 3. Схема применения стаи разведывательных БЛА

Оценка возможностей поражения малоразмерных БЛА комплексами ПВО

Учитывая, что в настоящий момент малоразмерные БЛА получили широкое распространение не только в армиях государств, но и у террористических группировок, задача борьбы с малоразмерными БЛА становится первостепенной.

Современные комплексы ПВО имеют в своем составе радиолокационную станцию (РЛС) обнаружения целей,

а также радиолокационные и оптико-электронные системы сопровождения целей и наведения ракет.

В настоящее время на вооружении Российской армии находятся комплексы противовоздушной обороны ближней и малой дальности, обладающие определенными возможностями поражения БЛА. К таким комплексам относятся зенитный ракетный ЗРК «Тор», «Стрела-10МЗ», ЗРПК «Панцирь-С1».

Однако, в случае работы по малоразмерным воздушным целям комплексы ПВО сталкиваются с пробле-

мами, обусловленными спецификой построения и боевого применения БЛА.

Результаты полигонных облетов показали, что РЛС обнаружения целей комплекса «Тор» (рисунок 4) обеспечивает обнаружение малоразмерных БЛА на дальностях 3–4 км.

Практический опыт экспериментальных стрельб по малоразмерным мишеням — аналогам БЛА («Пчела», РУМ-2МБ и «Рейс») — свидетельствует о низкой эффективности их поражения. Основными причинами являются несовершенство системы управления подрывом боевой части зенитной управляемой ракеты (ЗУР), а также большие ошибки сопровождения цели и наведения ЗУР.

Результаты полигонных испытаний ЗРПК «Панцирь-С1» (рисунок 5) показывают, что стрельба ракетным вооружением по малоразмерным БЛА практически невозможна. Причиной тому является малая дальность обнаружения малоразмерных БЛА РЛС обнаружения и целеуказания, которая составляет 3–5 км, что практически совпадает с ближней границей зоны поражения ЗУР.

Применение пушечного вооружения принципиально возможно, но по причине малых размеров БЛА, вероятность поражения будет невелика.

Оценка возможностей поражения малоразмерных БЛА ЗРПК «Стрела-10М3» показывает, что комплекс обеспечивает поражение малоразмерных целей только в дневное время.



Рис. 4. Боевая машина ЗРК «Тор» на полигоне «Капустин Яр»



Рис. 5. Боевая машина ЗРПК «Панцирь-С1»

Эффективность поражения ЗРК «Стрела-10М3» в данном случае определяется дальностью обнаружения цели расчетом и дальностью захвата на сопровождение цели головки самонаведения (ГСН) ЗУР.

Статистика полигонных испытаний ЗРК «Стрела-10М3» (рисунок 6) показала, что средняя дальность обнаружения малоразмерных БЛА в дневное время при ясной погоде составляет от 1,3 до 4,5 км. Такие характеристики не позволяют эффективно бороться с ними. Ис-

пользование оператором встроенного оптического визира в ограниченном секторе поиска (при наличии точного целеуказания) позволяет увеличить дальность обнаружения малоразмерной цели в 1,5–2,1 раза.

Расчетные дальности захвата ГСН ЗУР малоразмерных БЛА фотоконтрастным каналом по аналогичным причинам будут невысокими и составлять 2,8–3,5 км, а захват цели инфракрасным каналом вообще невозможен из-за ее крайне слабого теплового излучения [2].



Рис. 6. Боевая машина ЗРК «Стрела-10М3»

Таким образом, результаты испытаний привели к крайне неутешительному выводу о целесообразности применения комплексов ПВО, стоящих на вооружении Российской армии, против малоразмерных БЛА.

Следует подчеркнуть основные факторы, являющиеся причиной низкой эффективности борьбы с малоразмерными БЛА:

- небольшая габариты (размах крыла от 0,95 до 1,6 м, длина не более 1 м) и, как следствие, малая уязвимость конструкций несущих поверхностей от огневого воздействия средств ПВО;
- малые величины эффективной площади рассеяния ($0,001 - 0,1 \text{ м}^2$) и тепловой контрастности;
- малые скорости полета (10–30 м/с);
- возможность полета на предельно малых высотах (до 200 м) [3].

Определение наиболее эффективного способа борьбы с малоразмерными БЛА

Низкие значения показателей эффективности поражения малоразмерных БЛА активными зенитными средствами обуславливают необходимость разработки

и проведения комплекса специальных мероприятий по организации их поражения активными средствами, а также проведения ряда мероприятий по противодействию системам разведки и огневого подавления, имеющихся на борту БЛА.

Такой комплекс мероприятий может включать:

- модернизацию существующих образцов зенитного вооружения в интересах повышения эффективности борьбы с малоразмерными целями;
- применение специализированных систем радиоэлектронного противодействия БЛА;
- разработку перспективных образцов зенитного вооружения, предназначенных для обнаружения и поражения малоразмерных воздушных целей, включая БЛА.

Для определения наиболее эффективного способа борьбы с малоразмерными БЛА проведем оценку вышперечисленных мероприятий по соотношению «стоимость – эффективность».

Модернизация существующих образцов зенитного вооружения (ЗРК «Тор», «Стрела-10М3», ЗРПК «Панцирь-С1»), предназначенных для обнаружения и поражения таких средств воздушного нападения, как самолеты, вертолеты и крылатые ракеты, потребует су-

существенной доработки радиолокационных средств обнаружения, а также боевых частей ЗУР и снарядов в части увеличения площади и плотности осколочного поля.

Учитывая, что обнаружение малоразмерных целей РЛС комплексов ПВО, стоящих на вооружении, обеспечивается, в основном, программным методом снижения скоростного порога селекции движущихся целей, в этом случае на экране обзора РЛС комплекса появляются, так называемые «ложные цели», вызванные переотражением электромагнитного излучения РЛС от зданий и поверхности ландшафта.

Для решения задачи обнаружения малоразмерной цели необходимо выполнить целый ряд противоречивых требований к радиолокационным средствам комплекса:

- широкий динамический диапазон приемных трактов (для отсутствия перегрузок в принимаемых сигналах);
- высокую чувствительность приемного тракта;
- высокую пространственную разрешающую способность;
- крайне низкий уровень боковых лепестков функции селекции;
- высокий темп обзора пространства;
- значительный уровень подавления фоновых отражений от зданий и поверхности.

Следует отметить, что два последних требования противоречат друг другу (требование высокого темпа обзора ограничивает время накопления сигнала). Без эффективной селекции фоновых отражений в традиционных алгоритмах обнаружения цели необходимо повышать уровень порогов обнаружения, что делает не обнаруживаемыми малоразмерные цели [4].

Успешное внедрение технических решений вышеуказанных требований в конструкцию РЛС комплексов ПВО

теоретически возможно, пусть и со значительными финансовыми затратами, но увеличение плотности осколочного поля существующих ЗУР существенно снизит энергетику поражающих элементов, что, в свою очередь, снизит эффективность поражения крупноразмерных целей (самолеты, вертолеты, крылатые ракеты).

Применение смешанного боекомплекта, состоящего из разных типов ЗУР (штатных и измененных под задачи борьбы с малоразмерными БЛА) снизит эффективность отражения комплексом ПВО массированных налетов средств воздушного нападения одного типа (крупная цель или малоразмерная цель).

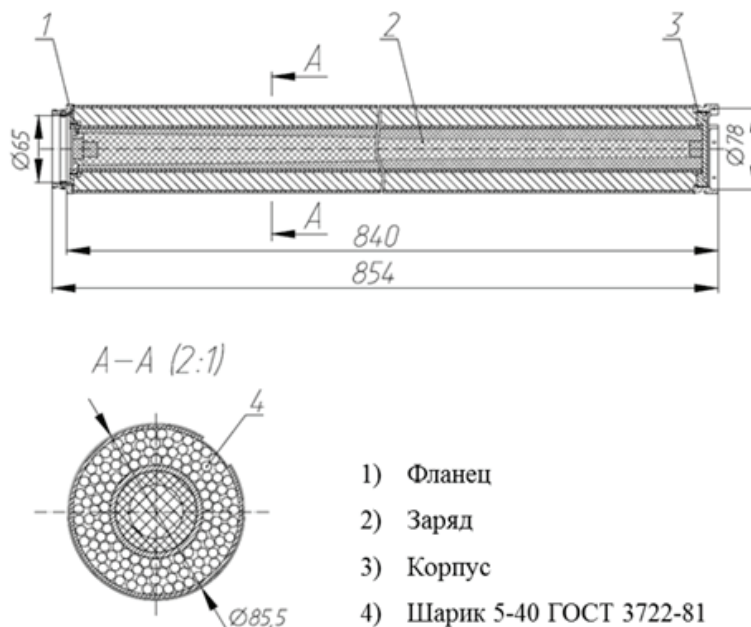
Также следует добавить, что себестоимость изготовления ЗУР с боевой частью, адаптированной под задачи борьбы с малоразмерными БЛА (рисунок 7), может быть существенно дороже, чем сам БЛА.

В некоторых случаях физическое уничтожение БЛА — не самый лучший вариант.

В городских условиях, тем более на многолюдном массовом мероприятии, осколки пораженного БЛА могут причинить ущерб сопоставимый с ущербом от самодельного взрывного устройства.

В этом случае меры противодействия БЛА могут быть следующими:

- дистанционное глушение частот управления БЛА;
- глушение GSNS (Global Satellite Navigation System — глобальная спутниковая навигационная система);
- направленное электромагнитное излучение регулируемой мощности для выведения из строя аппаратуры БЛА с дистанции от 100 метров до нескольких километров;
- подбор частот радиосигнала между оператором и БЛА с целью осуществления перехвата управления.



- 1) Фланец
- 2) Заряд
- 3) Корпус
- 4) Шарик 5-40 ГОСТ 3722-81

Рис. 7. Боевая часть ЗУР направленного действия с увеличенной плотностью осколочного поля

Учитывая коммерческий успех и высокую эффективность таких систем против БЛА, следует принять во внимание тот факт, что применение средств радиоэлектронной борьбы в составе группировки войск, оснащенной комплексами ПВО ближнего, среднего и дальнего радиуса действия, может оказывать негативное влияние на работу радиоэлектронной аппаратуры комплексов, а именно РЛС, спутниковой навигационной системы и средств радиосвязи.

Наиболее эффективным по соотношению «стоимость—эффективность» является разработка комплекса ПВО применительно к решению специфических задач обнаружения и поражения малоразмерных воздушных целей, включая БЛА.

Такой комплекс может иметь в своем составе сверхкороткоимпульсную РЛС X-диапазона, обеспечивающую обнаружение малоразмерных БЛА с эффективной площадью рассеивания от 0,001 до 0,1 м² на дальностях 3–5 км.

Для обеспечения визуального контроля малоразмерных целей и более точного наведения ракеты в составе комплекса может быть применена оптико-электронная система слежения, имеющая в своем составе тепловизионный прибор, лазерный дальномер и сверхконтрастную камеру видимого диапазона, позволяющие получить максимальный объем информации о цели в оптическом диапазоне.

Литература:

1. Беспилотные летательные аппараты (БЛА) зарубежных стран. Разработка и основные модели. [Электронный ресурс] // Портал «Современная армия», 07.04.2012. URL: <http://www.modernarmy.ru/article/152.html>
2. Ерёмин Г. В., Гаврилов А. Д., Назарчук И. И. Малоразмерные беспилотники — новая проблема для ПВО [Электронный ресурс] // Арсенал Отечества: журнал 2014. №5. URL: <http://arsenal-otechestva.ru/component/content/article?id=267:5-2014.html>
3. Куликов Л., Растопчин В., Бондаренко Н. Беспилотные авиационные системы военного назначения: проблемы и перспективы развития. // Аэрокосмическое обозрение, 2004, № 1. — С. 7
4. Ананенков А. Е., Марин Д. В., Нуждин В. М., Расторгуев В. В., Соколов П. В. К вопросу о наблюдении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. // Труды МАИ, 2016, Выпуск № 91. — С. 5.

Для отражения массированных налетов БЛА ракета комплекса может быть оснащена боевой частью с повышенной плотностью осколочного поля, а для использования в городских условиях — раскрывающейся сетью с парашютной системой для безопасного приземления вражеского БЛА.

Заключение

Борьба с БЛА является новым видом противодействия. Самый многочисленный и наиболее развитый тип беспилотных летательных аппаратов — малоразмерные разведывательные БЛА.

Низкие значения показателей эффективности поражения малоразмерных БЛА активными зенитными средствами обуславливают необходимость разработки и проведения комплекса специальных мероприятий по организации их поражения активными средствами, а также проведения ряда мероприятий по противодействию системам разведки и огневого подавления, имеющихся на борту БЛА.

Наиболее эффективным по соотношению «стоимость—эффективность» является разработка комплекса ПВО применительно к решению специфических задач обнаружения и поражения малоразмерных воздушных целей, включая БЛА.

Защита процессорной техники на энергопроизводящих системах в условиях современных электростанций

Черкашин Андрей Олегович, ведущий разработчик мобильного ПО
Onfleet, Inc. (г. Сан-Франциско, США)

Современное термодинамическое оборудование требует новейшие инновационные решения не только в части устройства и конструкции, но в первую очередь в управлении и контроле над всеми процессами, включая — процессы горения и термостабилизации.

Это требование становится особенно важным в случае применения в качестве топлива на энергопроизводящих

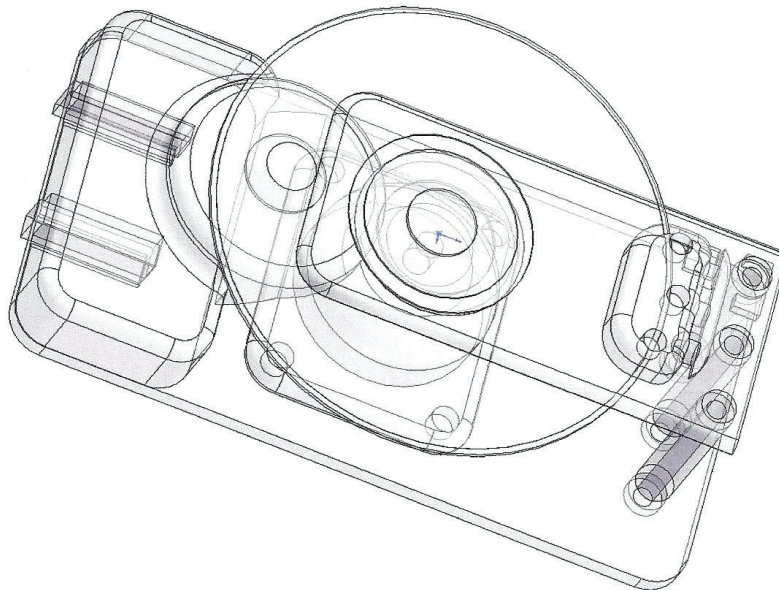
агрегатах различного рода топливных смесей и композиций, как например — топливных эмульсий.

На фото представлен, в качестве примера, пульт управления энергоблоком мощностью в 20 мегаватт, который использует в качестве топлива топливную эмульсию из дизельного топлива и воды (причём содержание воды в эмульсии составляет 50%).



В этом случае вопросы параметров подачи топлива и пропорциональное управление и контроль подачи воздуха требуют исключительной мобильности системы управления и контроля.

При этом все операции управления и контроля требуют существенного увеличения объёмов памяти на оптических аккумуляторах памяти, — оптических дисках — накопителях информации.



В рамках настоящей статьи автор хотел бы подробнее остановиться на анализе концептуальной базы для инновационных носителей информации.

Для того, чтобы обеспечить возможность встраивания такого накопителя информации в систему, ёмкость такого носителя должно многократно увеличиться.

Предлагается предварительный анализ такой системы.

Первый по важности сектор контроля и управления — это контроль и анализ всех входящих в процесс материалов и их сочетаний.

Как известно, на входе в процесс регулируются и контролируются следующие рабочие параметры:

- расход топлива;
- давление впрыска топлива;
- удельный расход топлива;
- стехиометрическое количество воздуха по отношению к расходу топлива
- дополнительное количество воздуха по отношению к общему расходу топлива.

Так как от количества воздуха прежде всего зависит эффективность энергетического оборудования, то эта зависимость контролируется и предельно точно регулируется в течении всего рабочего цикла и требует значительной мощности управляющих процессоров и компьютеров.

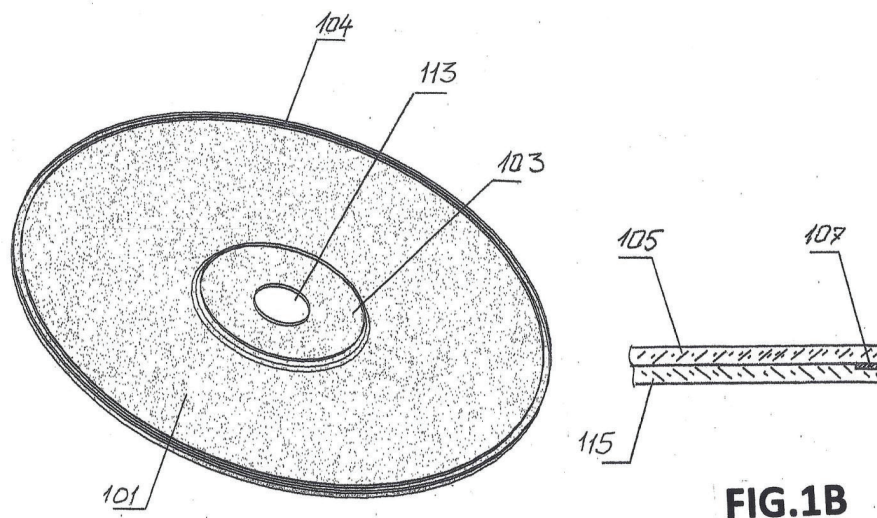


FIG.1A

FIG.1B

Как видно из модели, диск имеет практически те же размеры и элементы, как и стандартный диск с той разницей, что по периферии диска расположено кодирующее кольцо 107.

Такое расположение кодирующего элемента имеет несколько существенных преимуществ.

Прежде всего оно не создаёт никаких технологических проблем при изготовлении диска, так как, стандартная технология и технологический процесс изготовления предусматривают склеивание диска из двух половин, что позволяет в стандартном процессе изготовления, при использовании стандартного технологического оборудования и оснастки, ввести в диск кольцо 107 не меняя процесса и оборудования.

Для изготовления кольца 107 и для его приклеивания существуют много технологических вариантов и процесс модификации дисков сводится только к выбору из существующих вариантов наиболее оптимального и подходящего.

Кроме того, внедрение в систему многослойных дисков, также не должно встретить каких-либо серьёзных технологических проблем.

Заранее условимся, что наружный диаметр диска останется без изменений.

Расположение и геометрия кодирующего кольца 104 также остаются без существенных изменений и позволяют в принципе внедрить в технологический процесс изготовления многослойных дисков метод так называемой послойной полимеризации и послойного форматирования.

Но эффект может быть увеличен многократно, если после полимеризации каждого слоя, форматирование выполнять прессованием.

Это позволит сократить время форматирования приблизительно в 1000 раз и резко поднять точность форматирования.

Такого рода экспериментальные диски уже изготавливались и прошли серию испытаний в Японии.

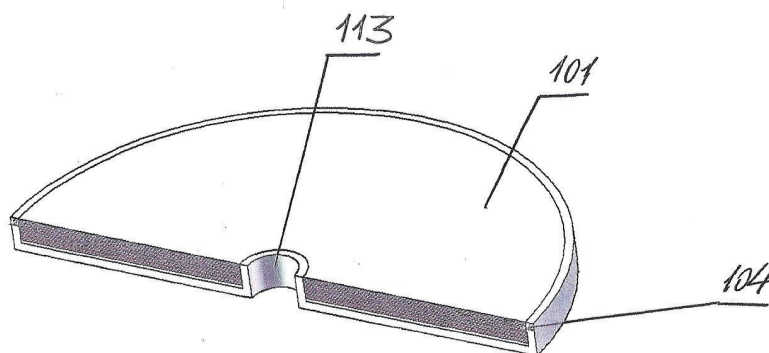


FIG.1C

На экспериментальных дисках было выполнено 100 слоёв и результаты испытаний превзошли все ожидания.

Поскольку многослойные диски, выполненные из монолитного оптического материала, требовали для форматирования и для последующей эксплуатации очень мощных лазерных диодов, диски с послойной полимери-

зацией вообще не требуют оптического форматирования, а для эксплуатации — требуют диоды меньшей мощности.

Уменьшение мощности диодов резко снижает тепловые нагрузки на систему, что в совокупности исключительно положительно сказывается на надёжности и долговечности системы.

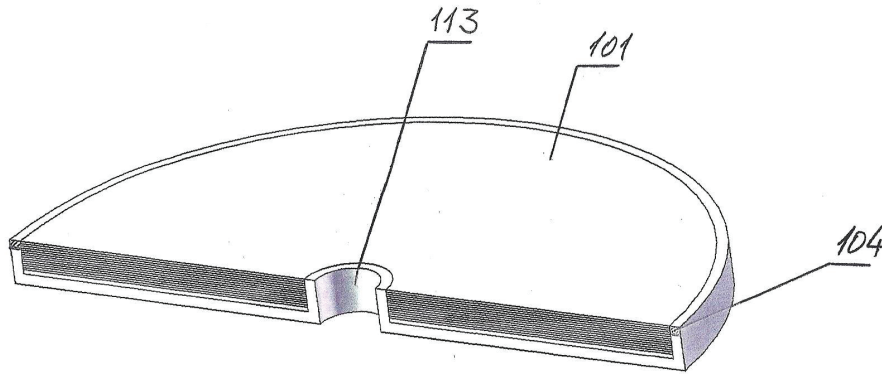


FIG.1D

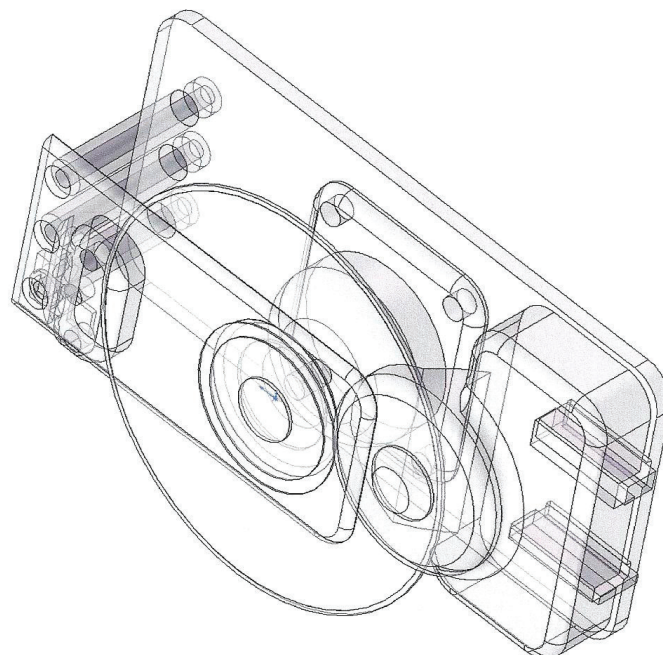
Известно много случаев, когда стандартные диски от механических повреждений и от тепловой нагрузки деформируются и дают сбой в работе.

Форматирование при помощи прессования в новом процессе позволяют ввести в диск механическое напряжение, которое улучшает геометрию и общие прочностные характеристики, что также положительно сказывается на точности считывания информации.

Исходя из общей концепции кодирования — декодирования информации, содержащейся в кодирующих кольцах

дисков, драйв процессоров и компьютеров должен содержать как системы сенсорного считывания кодирующих сигналов, связанные с системами считывания информации, при этом для обеспечения полной стабильности процесса эти системы должны быть статически и динамически сбалансированы и надёжны.

Вместе с тем, структура (особенно небольших) промышленных энергетических компаний не предусматривает возможности содержания специальных подразделений, сопровождающих и обслуживающих процессоры

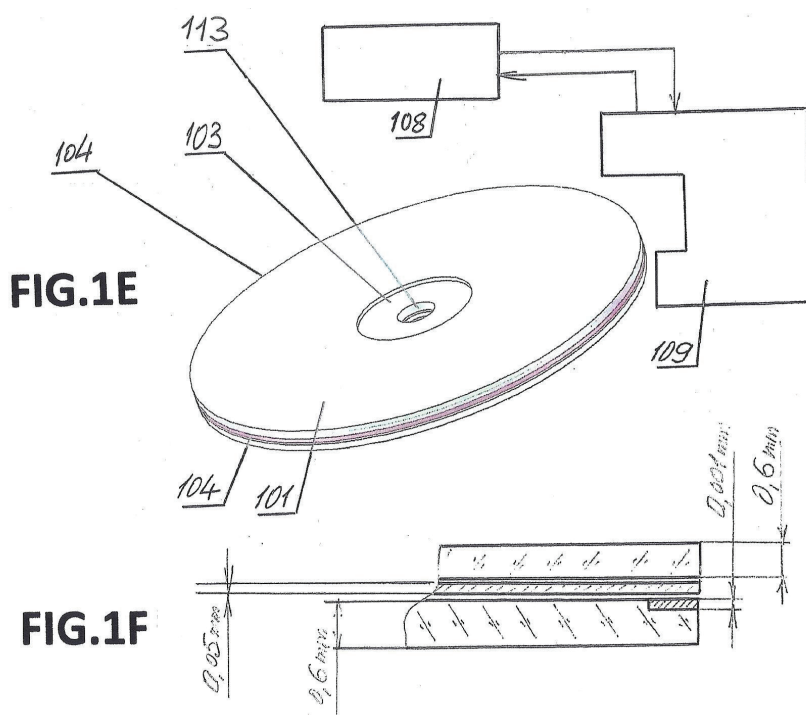


и аналогичную технику, входящих в системы производства электроэнергии.

Особенно это может быть связано с тем, что обеспечив общую кибер-безопасность оборудования, эти подразделения должны обеспечивать и общую работоспособность оборудования и всех его новых компонентов, в том числе и для кодирования — декодирования носителей информации.

Возможно усиление мер безопасности используя дополнительное корпоративное программное обеспечение, производящее кодирование данных при записи на диск и декодирование при чтении диска. В таком случае даже

если злоумышленник сможет завладеть диском или данными с диска — он не сможет ими воспользоваться так как данные на диске будут тоже закодированными. Для данного метода можно использовать RSA или другие криптосистемы, широко используемые во многих системах защиты данных, и неоднократно доказавшим свою эффективность. Открытая часть ключа может распространяться вместе с данными на диске. Закрытая часть ключа должна быть скрыта в программном обеспечении рабочей станции, используемом для чтения диска и последующего декодирования информации.



На представленной модели показаны расчётные геометрические и размерные характеристики системы, предположительно способной оперировать с дисками с ёмкостью в 1 терабит.

Как видно из сечения диска, его размеры остаются в пределах размеров обычных дисков, при том, что в диске размещено кодирующее кольцо толщиной в 1 микрон.

Ввиду того, что кодирующее кольцо может быть изготовлено из электролитически осаждённого металла (например, никеля) такое кольцо играет и существенную упрочняющую роль.

Особенно важны прочностные характеристики диска для предотвращения геометрических деформаций.

Так как информация размещена на 100 и более слоях, микронное искажение может вызвать ошибки или, по крайней мере, неточности в прочтении информации.

Для обычных дисков, которые не влияют на уникальные процессы все геометрические отклонения от правильной формы не играют существенной роли, но для промышленных энергетических систем, в системах управления и контроля которых, даже обычное замедление функци-

онирования системы управления и контроля может привести к аварии и значительным материальным потерям.

Ввиду того, что мини-соленоид, который играет роль сенсора имеет достаточно низкую стоимость, при формировании всего комплекса было принято решение в системе считывания иметь по крайней мере 3 сенсора.

Такая система гораздо более надёжная и, что особенно важно для энергетического оборудования, обладает более высоким быстродействием и ускоренной реакцией на любые, даже минимальные изменения в всех входных и выходных факторах, которые принимаются во внимание при формировании алгоритма управления и контроля энергетическим оборудованием.

Энергетическое оборудование по причинам своей высокой стоимости, имеет довольно длительный срок использования, что не соизмеримо с такими же сроками использования компьютерной и процессорной техники.

Поэтому долговечность этой техники является одним из важнейших факторов, принимаемых во внимание при анализе необходимости модернизации основного технологического оборудования электростанций.

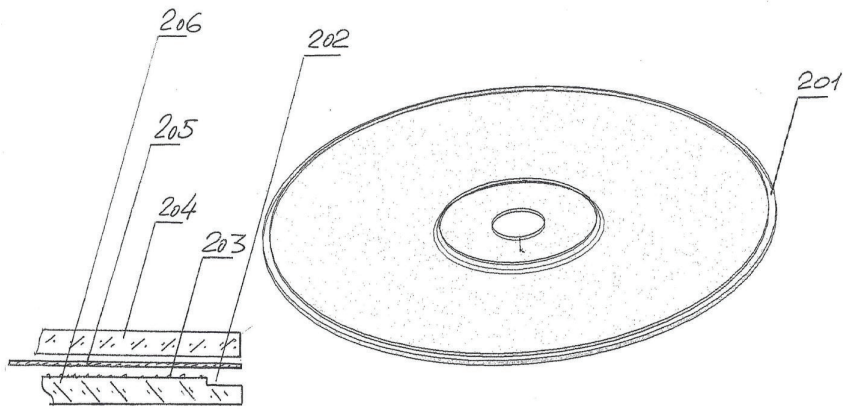
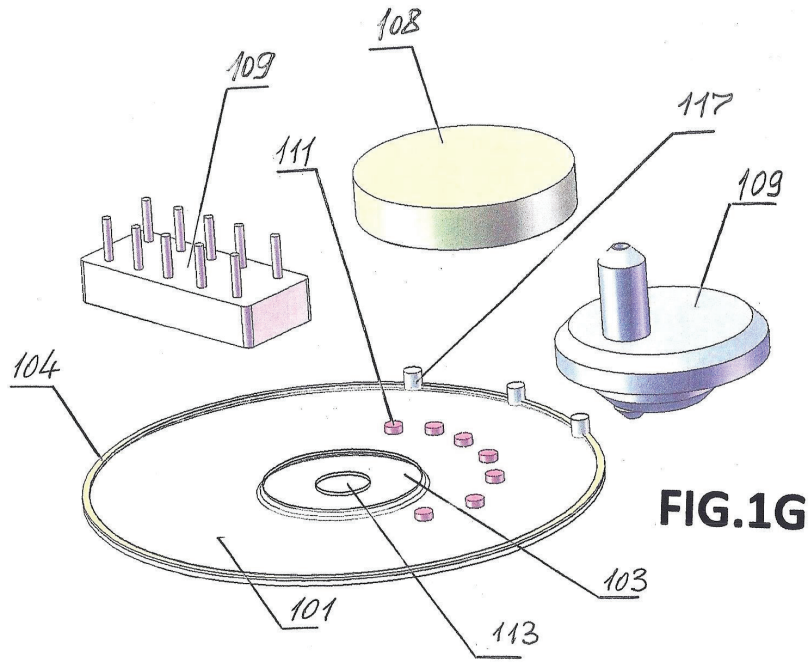


FIG.2B

FIG.2A

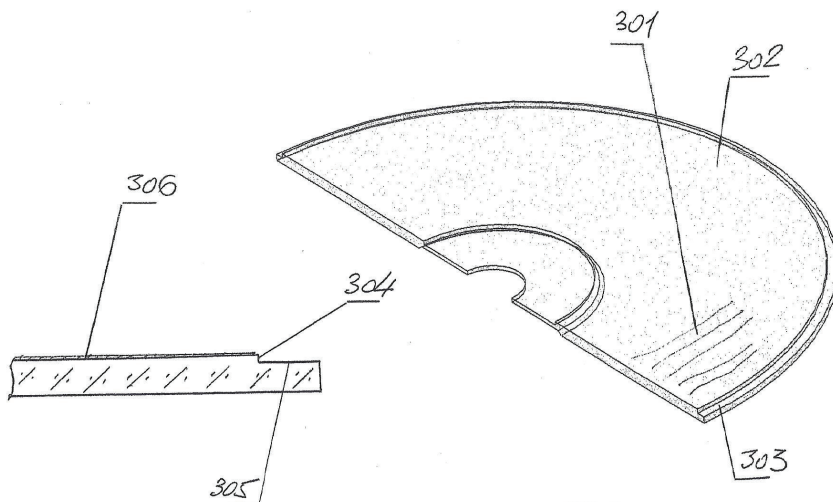


FIG.3B

FIG.3A

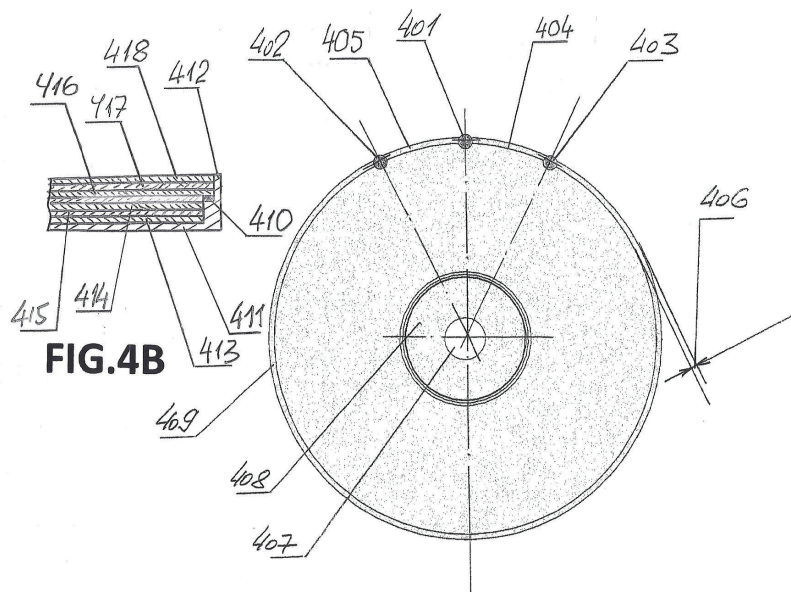


FIG.4A

Все конструктивные решения, принятые в дизайне оптических дисков с кодированием информации в принципе не снижают общую долговечность систем управления и контроля, но необходимость резервирования ресурсов долговечности распространяется и на считывающие устройства, что в свою очередь заставляет пересмотреть дизайнерские и принципиальные схемно-кинематические решения драйверов, при этом заложив в них и потенциал для дальнейшего усовершенствования и модернизации, связанных с вводом в оборот многослойных оптических дисков с ёмкостью информации в терабит и более.

Решение по использованию системы из трёх импедансно-резонансных сенсоров, — 501, 502, 503 для считывания результатов измерения толщины кодирующего диска — кольца 504, в значительной степени повышают надёжность и быстродействие в сочетании с динамической и кинематической стабильностью всей системы, что в свою очередь при минимальных затратах на дополнительное техническое обслуживание обеспечивает для модернизи-

рованной энергетической установки также и высокий уровень комплексной коммерческой эффективности.

Но не смотря на потенциал коммерческой эффективности такое решение, при всей своей простоте, позволяет и в корне изменить взаимодействие всех компонентов системы, при сохранении дизайнерской лаконичности и укреплении всех эксплуатационных характеристик, в первую очередь — надёжности, стабильности и оперативной точности.

Как следствие из принятого решения модернизировать систему следует необходимость системно модернизировать и драйверы, причём для этого применить новейшие методы считывания информации, при условии её предельной концентрации, в том числе и в трёхмерной конструкции оптического диска.

Для анализа рассмотрим два варианта принципиальной конструкции и конфигурации драйва, построенных на существующих кинематических принципах и на инновационных технических решениях.

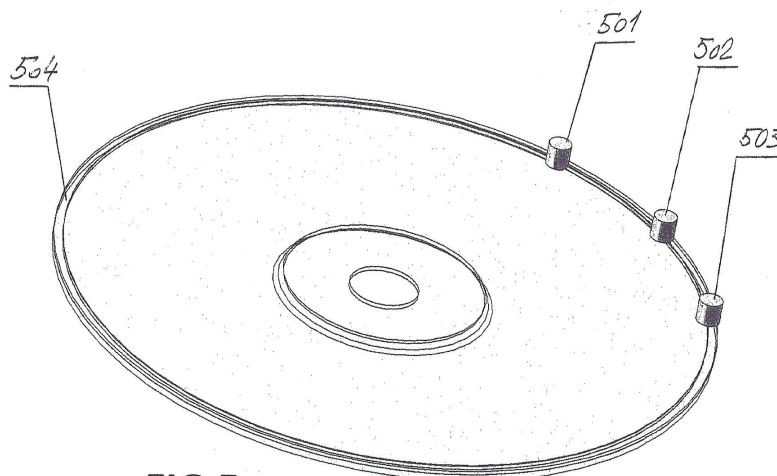
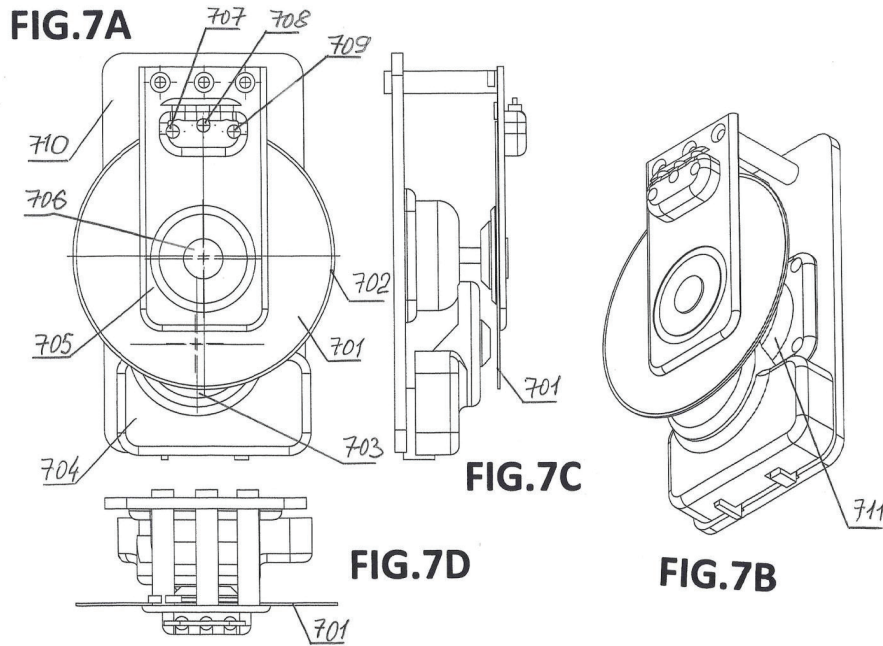


FIG.5

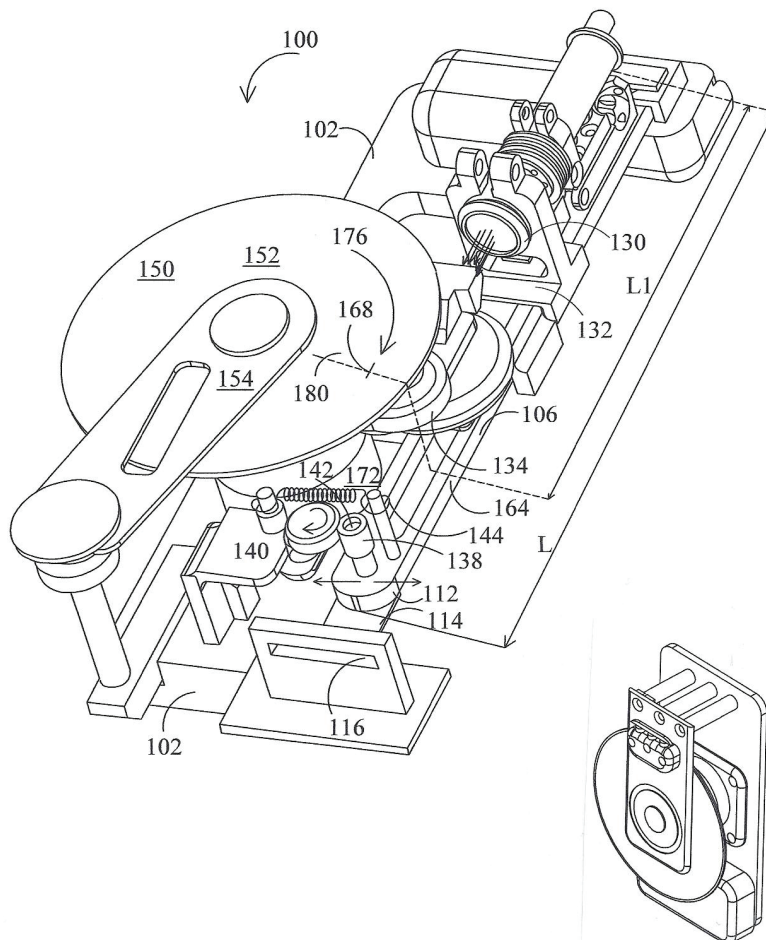


В традиционной версии очень важно определиться с позицией и размещением трёх импедансно-резонансных сенсоров, — 707, 708 и 709.

Как видно из диаграмм симметричное размещение указанных сенсоров позволяет при сохранении уровня сложности, обеспечить гораздо более высокий уровень симме-

тричности основных механизмов драйвера, что в конечном счёте должно обеспечить повышение надёжности и долговечности, упрощение конструктивных и схемных решений.

Применение многослойных дисков, вне зависимости от их методов производства, — выполнения диска монолитным с форматированием при помощи более мощного лазерного



диода или выполнения диска с послойной полимеризацией и с печатанием на каждом слое формирующих символов и оптических меток, приводят к необходимости глубокой модификации драйвера, изменив в первую очередь основные кинематические принципы взаимодействия основных механизмов позиционирования лазерной головки с механиз-

мами синхронного вращения многослойного диска. Представленные на следующих моделях конструкции драйвера с качающимся механизмом подачи в зону действия лазерного диода и его механизмов стабилизации и синхронизации показывают реальность такой модернизации для использования в энергетическом оборудовании.

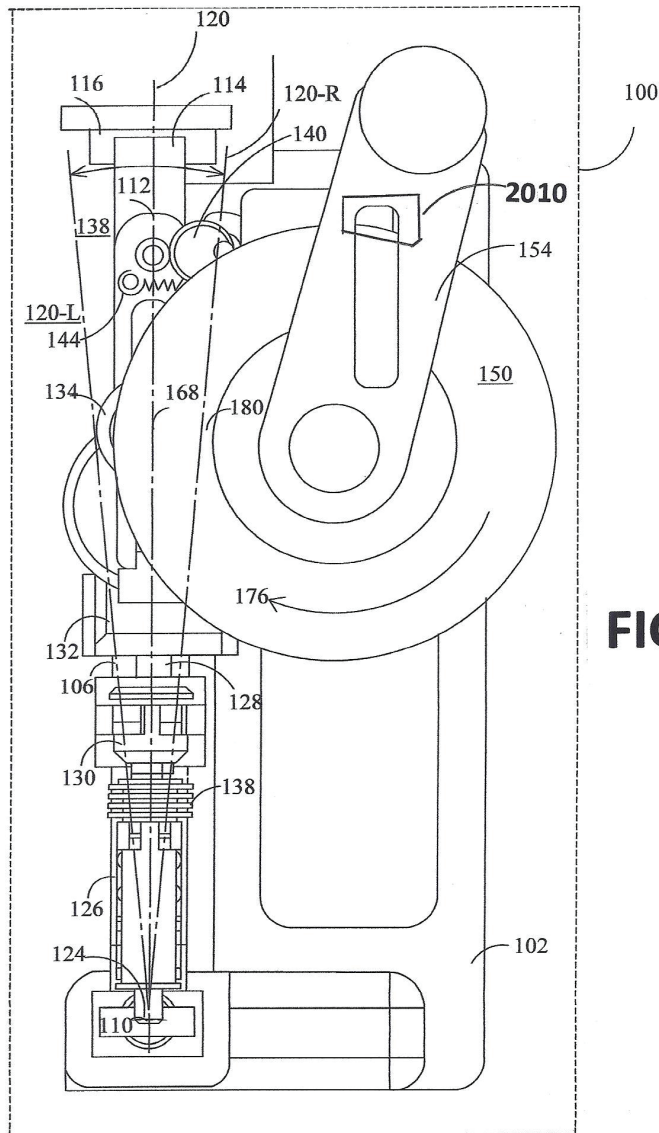


FIG.9B

Приложение 1

United States Patent Application	20090245066
Kind Code	A1
Katsuura; Kanji; et al.	October 1, 2009

OPTICAL DATA CARRIER, AND METHOD FOR READING/RECORDING DATA THEREIN

Abstract

An optical data carrier is presented. The data carrier comprises: at least one recording layer composed of a material having a fluorescent property variable on occurrence of multi-photon absorption resulting from an optical beam, said recording layer having a thickness for forming a plurality of recording planes therein; at least one non-recording layer formed on at least one of upper and lower surfaces of said recording layer and differing in fluorescent property from said recording layer; and at least one reference layer having a reflecting surface being an interface between the recording layer and the non-recording layer.

Приложение 2

United States Patent Application	20080285396
Kind Code	A1
Salomon; Yair; et al.	November 20, 2008

Method and Apparatus of Formatting a Three Dimensional Optical Information Carrier

Abstract

A method of formatting at least one optical information carrier is provided. The method is aimed at creating a plurality of formatting marks that are to be sequentially addressed when reading recording information in the carrier. The method comprises recording the plurality of formatting marks within the carrier volume in an interleaved order, thereby reducing delays in recording locally adjacent formatting marks thus reducing the entire carrier formatting time.

Приложение 3

United States Patent Application	20080182060
Kind Code	A1
Livshits; David; et al.	July 31, 2008

Manufacturing of Multi-Plate For Improved Optical Storage

Abstract

In accordance with the invention a new optical data carrier and methods for its production are provided. The optical data carrier of the invention is characterized in that different plates have different concentrations.

Приложение 4

United States Patent Application	20060250934
Kind Code	A1
Livshits; David; et al.	November 9, 2006

Three dimensional optical information carrier and a method of manufacturing thereof

Abstract

A three dimensional optical information carrier is presented. The information carrier comprises formatting marks disposed on the nodes of a three dimensional lattice formed by the intersection of equiangular spaced radial planes, equidistantly spaced cylindrical spiral tracks and virtual recording planes.

Приложение 5

United States Patent Application	20070288947
Kind Code	A1
Livshits; David	December 13, 2007

SWING ARM OPTICAL DISC DRIVE

Abstract

Disclosed is a swing type optical disc drive. The drive includes a disc rotating on a disc support and a swing arm pivoted at one of its ends and having a distal end communicating with an encoder. The pivot point and a point on distal end define a swing axis of the arm. The disc further includes an optical system mounted on the arm such that optical axis of the system is parallel with the swing axis and both axes lie in the same plane. A cam actuator imparts a swinging motion to the arm. The swinging motion of the arm positions the plane with the optical axis and the arm axes such that the plane is always tangent to a reading/recording track of the disc.

МЕДИЦИНА

Evaluation of renoprotective efficiency of eprosartan and lercanidipine in nephropathy due to diabetes mellitus

Abdullaev Sherzod Saydullaevich, doctor of medicine sciences, assistant;
Sharapov Olimkhon Nadirkhanovich, assistant;
Asomov Muzaffar Ilhomovich, graduate student
Tashkent pediatric medical institute (Uzbekistan)

In 43 patients (23 males u 20 females) with diabetic nephropathy were studied comparative organoprotective efficiency of eprosartan and lercanidipine. More denominated nephroprotective effect was shown in eprosartan in contrast with lercanidipine under the comparable hypotensive effect of these preparations.

The prevalence of type 2 diabetes has escalated in recent years, mainly as a result of changes in lifestyle and increasing obesity [1]. This has serious public health implications: Life expectancy of men and women who receive a diagnosis of type 2 diabetes at age 40 is reduced by 11.6 and 14.3 yr, respectively [2]. Death is usually due to cardiovascular disease, especially if nephropathy is already present [3]. In type 2 diabetes, hypertension is a frequent comorbidity, often being present when diabetes is diagnosed [4]. According to the World Health Organization, more than 180 million people worldwide suffer from diabetes, in 2025, likely to increase these numbers twice [5]. In the nephrological diseases structure of the U. S. and developed countries of Europe, diabetic nephropathy has the highest incidence of chronic renal failure and need for dialysis treatment [6].

Aggressive BP control to prevent the onset of nephropathy, or its progression if already present, is emphasized in recent guidelines [7]. Many classes of antihypertensive agents are available, and their use will overcome the GFR decline and development of ESRD [8].

Since hypertension and microalbuminuria increased initially increased risk of cardiovascular complications in diabetic patients, the proper control of blood pressure and albuminuria in these patients is crucial to improve prognosis [9].

Studies on the relationship of circadian rhythm of blood pressure (BP) and the degree of renal dysfunction in patients with DN are not numerous, and the results are contradictory. Furthermore, the role of metabolic disorders, that affect on the function of the heart and kidneys are not fully understood.

Therefore, the aim of our study was to evaluate hypotensive and renoprotective efficiency of eprosartan and lercanidipine in patients with diabetic nephropathy.

Material and methods

Our study included a total of 43 patients (23 male and 20 female), including patients fulfilling the clinical criteria for diagnosing diabetic nephropathy (DN). Mean age was 48 ± 6 years. The criteria for selection of patients was presence of hypertension (a norm accepted by WHO 120/80–139/89 mm Hg.). We excluded patients with non-diabetic CKD, severe infectious or neoplastic disease before or during the study, chronic liver disease, pregnant women, estimated survival of less than 3 years, or patient refusal to participate. The duration of the study was 12 weeks.

Patients treated with antihypertensive drugs regularly, for 5–7 days before treatment stopped taking them (during the «wash-out»). Before starting treatment, patients were randomized into two comparable groups. Patients in Group 1 ($n = 22$) were allocated to the angiotensin receptor blocker II — eprosartan at a dose of 600 mg/day. In group 2 ($n = 21$) patients received calcium antagonist — lercanidipine at a dose of 10 mg/day. The control group consisted of 15 healthy volunteers, comparable with major groups by age and sex.

Renal function was estimated using sCr (in $\mu\text{mol/l}$ using the modified Jaffe method) and glomerular filtration rate (GFR) using the abbreviated MDRD formula [10]. In addition, of the patients were determined daily amount of urinary albumin. Each patient was determined albumin/creatinine ratio (ACR) in the morning urine sample as an index, with high sensitivity and specificity reflecting the daily urinary albumin excretion [11].

At baseline and after 12 weeks the patients received blood pressure (BP) monitoring (BPM) using the device «Kardio-technika-4000AD» (Inkart, St. Petersburg), by the oscillometric method. Measurements were carried out every 15

minutes during the day and every 30 minutes — in the night. Estimates the average systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), mean hemodynamic blood pressure (MBP) and degree of the night reduction of MBP [12].

We also measured kalemia (mEq/l), baseline glycaemia (mg/dl), glycosylated hemoglobin (HbA1c, %), haemogram, lipid profile, C-reactive protein (CRP), and uric acid (mg/dl). Characteristics of the patients are shown in Table. 1.

Table. 1. Clinical and laboratory characteristics of patients with DN

Indicator	1 group (n = 22)	2-group (n = 21)
Gender (M / F)	12/10	11/10
Age	54,5 ± 6,2	52,1 ± 5,3
Duration of diabetes, years	15,2±3,6	14,5±5,3
Duration of hypertension, years	12,1± 4,4	11,6 ±3,7
Glucose, mmol/L	10,2 ± 4,2	9,8 ± 4,7
Creatinine, mkmol/l	161,3 ± 28,4	169,2 ± 27,6
GFR ml/min/1,73m ²	44,7 ± 8,2	41,1 ± 9,4
Albuminuria, mg/g creatinine	382,3±32,4	389,6±35,6
BMI, kg/m ²	32,4±5,8	31,9±6,3
Serum potassium, mEq/L	4,9 ± 0,8	4,6 ± 0,9
Total cholesterol, mmol/L	6,4±1,2	6,7±1,4
SBP, mm Hg.	163,4±8,2	166,2±7,9
DBP, mm Hg.	95,2±4,7	97,5±5,2

Note: GFR — glomerular filtration rate, BMI — body mass index, SBP — systolic blood pressure, DBP — diastolic blood pressure.

Statistical analysis

Statistical analysis of the results based on a personal computer using the Excel package of Microsoft Excel 2007 and STATISTICA_6. We used Student's t-tests to compare means for numerical variables between the two phases of the study period (baseline and final). We used Fisher's exact test to compare categorical variables and Spearman's rank correlation coefficient to examine the relationship between different quantitative variables. We compared the results from before and after treatment using the Wilcoxon test for paired samples. We considered a P-value <0.05 to be statistically significant.

Results and discussion

According to our study, eprosartan pronounced a significantly hypotensive effect in patients with DN and stage I — II degree AH, somewhat more to that of the application of equivalent doses of lercanidipine. Thus, according to BP, in the first group of patients treated with eprosartan, after 12 weeks of treatment, the mean 24-hour SBP decreased by an average of 19,3 ± 1,6 mmHg (Mean SBP in the first group after 12 weeks of therapy — 144,5 ± 5,3 mm Hg) (p <0.05); reduction in mean 24-hour diastolic blood pressure at 12 weeks was 8,5 ± 0,6 mm Hg (mean DBP — 87,6 ± 4,5) (p <0.05). In the second group of patients treated with lercanidipine, after 12 weeks of treatment, SBP decreased by 17,4 ± 1,4 mmHg (Mean SBP in the second group after 12 weeks of therapy — 148,7 ± 6,1 mm Hg) (P <0.05); reduction in diastolic blood pressure after 12 weeks — 7,6 ± 0,4 mm Hg

(Mean diastolic blood pressure in the second group after 12 weeks of therapy — 89,8 ± 4,9 mm Hg) (p <0.05).

Thus, there was a significant decrease in blood pressure in all groups, some more positive dynamics was observed in the group of patients treated with eprosartan compared with equivalent doses of lercanidipine.

According to the results of the quantitative determination of microalbuminuria (MAU) in the morning urine sample we compared renal protection efficacy of eprosartan and lercanidipine. At baseline, there were no statistically significant differences between groups in urinary albumin excretion. After the 12-week treatment in patients of group 1, treated with eprosartan, microalbuminuria was significantly reduced by 29.4% (mean MAU in group 1 after 12 weeks of therapy was 269,6 ± 21,5 mg/g). In group 2 patients, treated with lercanidipine, after 12 weeks of treatment, the level of microalbuminuria decreased by 16.2% (the average level of MAU in Group 2 after 12 weeks of therapy — 321,3 ± 25,8 mg/g) (p < 0.05).

The study demonstrated no significant differences in the antihypertensive effectiveness of drugs from the group of angiotensin II receptor blockers (eprosartan) and calcium antagonists (lercanidipine) in equivalent doses, but the renoprotective effects of eprosartan, according to the our results were more obvious than that of lercanidipine.

The renoprotective effects of angiotensin II AT1 receptor blockade (ARB) in patients with DN appear to be primarily based on blocking the angiotensin II activity in renal tissue, since this enzyme is very active in the renal cortex of diabetic patients, where we can detect upregulation of the expression of renin and AT1 receptors. [13]

Conclusions

1. According to our study, eprosartan has shown significantly hypotensive effect in patients with DN and Stage I–II degree of hypertension in comparison with the baseline data, some better to that of the equivalent doses of lercanidipine.

2. In all the groups of the patients, there was a significant reduction in mic-roalbuminuria, but the renal protection effect was more pronounced in the eprosartan group, although the differences in the dynamics of SBP and DBP in these groups were less valuable. This indicates a more expressed renal protection effect of eprosartan versus lercanidipine at comparable antihypertensive effects of equivalent doses of these drugs.

References:

1. Mensah GA, Mokdad AH, Ford E, Narayan KM, Vinicor F, Deedwania PC. Obesity, metabolic syndrome, and type 2 diabetes: Emerging epidemics and their cardio-vascular implications // *Cardiol Clin.* — 2004. — Vol.22. — P. 485–504.
2. Narayan KM, Boyle JP, Thompson TJ, Williamson DF. Lifetime risk for diabetes mellitus in the United States// *JAMA.* — 2003. — Vol.290. — P. 1884–1890.
3. Folan LA, Tuttle KR. Diabetic nephropathy; Implications for renal and cardiovascular outcomes// *Minerva Med.* — 2004. — Vol. 95. — P. 385–394.
4. American Diabetes Association: Hypertension management in adults with diabetes// *Diabetes Care* 27 [Suppl 1]. — 2004. — P. 65–67.
5. Reutens A. T., Prentice L., Atkins R. The Epidemiology of Diabetic Kidney Disease. The Epidemiology of Diabetes Mellitus. 2nd Edition // Chichester. — 2008. — P. 499–518.
6. National Institutes of Health, National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. International comparisons, in 2007 Annual Data Report // *Atlas of Chronic Kidney Disease and End-Stage Renal Disease in the United States.* — 2007. — P. 239–254.
7. Ritz E, Orth SR. Nephropathy in patients with type 2 diabetes mellitus // *N Engl J Med.* — 2000. — Vol.341 (15). — P. 1127–1133.
8. Hovind P, Tarnow L, Parving HH. Remission and regression of diabetic nephropathy // *Curr Hypertens Rep.* — 2004. — Vol. 6. — P. 382.
9. Parving H. et al. Prevalence and risk factors for microalbuminuria in a referred cohort of type II diabetic patients: a global perspective // *Kidney Int.* — 2006. — Vol. 69 (11). — P. 2057–2063.
10. Levey A. S., Bosch J. P., Lewis J. B. A more accurate method to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine; a new prediction equation // *Ann Intern Med.* — 1999. — Vol. 130(8). — P. 461–470.
11. www.kidney.org/professionals/KDOQI/guidelines_ckd/p5_lab_g5.htm
12. Butkevich A., Phillips R. A., Sheinart K. F., Tuhim S. The effects of various definitions of dipping and daytime and nighttime on characterization of 24h profiles of blood pressure // *Blood Press. Monit.* — 2000. — Vol. 5. — P. 19–22.
13. Carey R. Cardiovascular and renal regulation by the angiotensin Type 2 receptor: The AT2 receptor comes of age // *Hypertension.* — 2005. — Vol. 45. — P. 840–844.

Состояние эндотелия сонных артерий при артериальной гипертонии

Игамбердиева Раъно Шухратходжаевна, ассистент;
 Каримджанова Гузал Акмалджановна, ассистент;
 Мирзаева Барно Миркамаловна, ассистент
 Ташкентский педиатрический медицинский институт (Узбекистан)

Цель исследования: изучение состояния эндотелия сонной артерии у больных артериальной гипертонией в зависимости от течения заболевания. Обследовано 60 больных с артериальной гипертензией II–III степени, в возрасте 40–60 лет. Обследованные больные были рандомизированы на основе общепринятых критериев на 2 группы: I группу больных составили 31 больных с АГ II–III степени, II группу составили 29 больных с АГ II–III степени и с сахарным диабетом 2 типа. III группу составили 20 добровольцев — относительно здоровых лиц без АГ и СД. Было проведено дуплексное сканирование экстракраниального отдела сонных артерий (СА) на аппарате Philips-SD800 с помощью линейного датчика 7,5 Гц, с оценкой состояния сосудистой стенки, наличия атеросклеротического поражения, скорости кровотока в исследуемом сосудистом регионе. При АГ имеет место ремоделирование сосудов головного мозга, которое выражается в первую очередь в уве-

личении диаметра общей сонной и внутренней сонной артерий в сравнении с контрольной группой, толщины ТИМ сонных артерий, зависящие от степени повышения АД, наиболее выраженные у пациентов с СД.

Endothelial state of carotid artery at arterial hypertension

Igamberdieva R. Sh,
Karimdjanova G. A.,
Mirzaeva B. M.

Tashkent pediatric medical institute

Objective: To determine the characteristics of hemodynamic changes of the carotid artery in hypertensive patients depending on the disease. 60 patients with hypertension II–III degree, aged 40–60 years. Surveyed patients were randomized on the basis of generally accepted criteria to 2 groups: I group patients were 31 patients with hypertension degree II–III, II group consisted of 29 patients with hypertension II–III degree and type 2 diabetes. Group III consisted of 20 volunteers — relatively healthy individuals without hypertension and diabetes. duplex scanning of extracranial carotid arteries were held (CA) on Philips-SD800 device with a linear probe of 7.5 Hz, assessing the state of the vascular wall, the presence of atherosclerotic lesions, blood flow velocity in the investigated vascular region. When AH occurs cerebral vascular remodeling, which is expressed primarily in increasing the diameter of the common carotid and internal carotid arteries as compared to the control group, the thickness of IMT of carotid arteries, depending on the degree of increase in blood pressure, most pronounced in patients with diabetes.

В настоящее время артериальная гипертензия (АГ) является одним из важных факторов риска сердечно-сосудистых осложнений. На всех этапах своего становления, независимо от пола и возраста, АГ выступает мощным, но потенциально устранимым фактором риска, оказывающим существенное влияние на показатели заболеваемости и смертности при цереброваскулярных болезнях [1].

АГ является ведущей причиной развития цереброваскулярной патологии, ежегодно в России возникает около 400 тыс. инсультов, что в четыре раза чаще, чем в США и странах Западной Европы [13]. Проблеме нарушения мозгового кровообращения при АГ посвящено значительное количество исследований. В основном это работы, характеризующие клиническую картину острых и хронических нарушений мозгового кровообращения. Однако, несмотря на накопленный научный материал в изучении патогенеза нарушений мозгового кровообращения при АГ многие вопросы остаются нерешенными. Прогрессирование АГ обуславливает увеличение цереброваскулярного и сердечно-сосудистого риска посредством усиления поражения органов-мишеней [3]. В настоящее время не получен ответ на вопрос, играют ли изменения структуры артериальной стенки первичную роль в возникновении АГ или же они являются ее следствием [15, 17]. В связи с этим *целью исследования* явилось изучения состояния эндотелия сонной артерии у больных артериальной гипертензией в зависимости от течения заболевания.

Материалы и методы исследования

Для реализации поставленной задачи было обследовано 60 больных с артериальной гипертензией II–III сте-

пени, в возрасте 40–60 лет. Обследование тематических больных проводили на базе городской клинической больницы № 7 г. Ташкента. Верификация диагноза осуществлялась на основании классификации ВОЗ/МОАГ/ВНОК (1999, 2004); ОНК-VI [5]. Все обследованные больные были рандомизированы на основе общепринятых критериев на 2 группы: I группу больных составили 31 больных с АГ II–III степени, II группу составили 29 больных с АГ II–III степени и с сахарным диабетом (СД) 2 типа. III группу составили 20 добровольцев — относительно здоровых лиц без АГ и СД.

Средний возраст больных в I группе составил $46,9 \pm 5,35$ лет и $52,47 \pm 6,03$ года у больных II группы. Длительность заболевания у больных I группы составило $4,05 \pm 2,15$ лет и у больных II группы $6,71 \pm 4,6$ лет. Давность сахарного диабета у больных 2 группы составила $2,9 \pm 1,72$ лет. Группу сравнения составили 20 практически здоровых лиц обоего пола в возрасте от 32 до 54 лет (средний возраст $41,9 \pm 3,42$ лет).

Обследованные больные находились на стационарном лечении в отделениях кардиологии городской клинической больницы № 7 г. Ташкента. Всем обследованным больным проводились общеклинические и лабораторно-инструментальные методы исследования. Всем больным ГБ и лицам контрольной группы было проведено дуплексное сканирование экстракраниального отдела сонных артерий (СА) на аппарате Philips-SD800 с помощью линейного датчика 7,5 Гц, с оценкой состояния сосудистой стенки, наличия атеросклеротического поражения, скорости кровотока в исследуемом сосудистом регионе. Исследование проводили после 5-минутной адаптации обследуемого. Позицию датчика не меняли на протяжении всего исследования.

Исследование проводили после 5-минутной адаптации обследуемого. Позицию датчика не меняли на протяжении всего исследования. Вычисляли следующие количественные (линейные и объемные) параметры кровотока в сонной артерии: пиковая систолическая скорость кровотока (Vs); максимальная конечная диастолическая скорость кровотока (Vd); индекс цереброваскулярной реактивности (ICVR); индекс пульсации (Pi); индекс резистентности (Ri). Изучение морфоструктуры комплекса «интимы-медии» проводили согласно рекомендациям Международного консенсуса по толщине комплекса «интима-медия» [16,17]. Количественную оценку толщины интимо-медиального слоя (ТИМ) выполняли на дистальном участке общей сонной артерии (ОСА) в 1–1,5 см от бифуркации, вне зоны атеросклеротической бляшки по ее задней стенке, усредняя три максимальных измерения. Курсор устанавливался на границе «просвет артерия–интима сосуда» и на границе «медия-адвентиция». Изображение синхронизировали с диастолой. Наличие структурных изменений сонных артерий (СА) документировали на основании выявления начальных атеросклеротических изменений КИМ ОСА в виде его утолщения более 0,09 см и/или атеросклеротических бляшек/стенозов.

Статистическую обработку полученных результатов исследования проводили на персональном компьютере типа IBM PC/AT с использованием пакета стандартной электронной программы «biostatic for Windows, версия 6,0». Параметры описывались в виде $M \pm \delta$. При распределении значений групповые сравнения количественных переменных проводили с использованием вариационного статистического критерия Стьюдента (t).

Результаты исследования

При анализе состояния кровотока в экстракраниальных артериях было выявлено, что кинетические характеристики потока крови у больных АГ неосложненного течения сопоставимы с показателями здоровых лиц. Суммарная объемная мозговая перфузия у больных АГ была статистически незначимо ниже, чем у здоровых лиц (рис. 1.). Анализ характеристик доплерографии наружных сонных артерий выявил, что скорость кровотока в систолу (VS) — жестко регулируемый показатель, который возрастал в зависимости от возрастания уровня АД, что подтверждает не адекватность механизмов ауторегуляции у пациентов 1 группы с АГ (способность поддерживать мозговой кровоток на постоянном уровне независимо от изменений системной гемодинамики). В частности, было установлено достоверно высокие цифры скорости систолического кровотока у больных 1 группы в отличие от данных КГ ($p < 0,05$). Также установлено статистически недостоверное повышение скорости кровотока в диастолу (VD) и снижение индекса циркуляторного сопротивления (RI), который отражает возрастание периферического сопротивления кровотоку в 1 группе исследования ($p > 0,05$).

Индекс пульсации (PI), характеризующий упруго-эластические свойства артерий в 1 группе с АГ был статистически значимо изменен на 11,3% в отличие от данных КГ ($p < 0,05$). Индекс цереброваскулярной реактивности (ICVR), позволяющий судить о выраженности адаптационных реакций и степени компенсаторных возможностей гемодинамики головного мозга, был статистически значимо снижен на 10,7% у больных АГ по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$). Вероятно, данные изменения

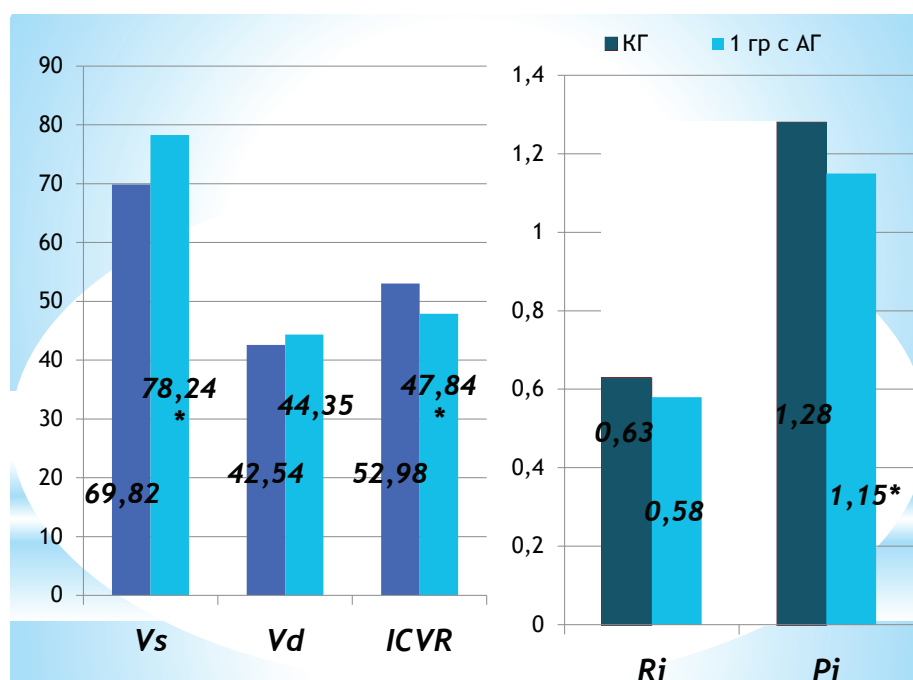


Рис. 1. Характеристика показателей функционального состояния кровотока сонных артерий у больных АГ и КГ

Примечание: * — $p < 0,05$ по отношению к КГ

обусловлены тяжестью АГ, что при длительно существующем повышении АД приводит к изменению состояния

сосудистой стенки артерий и формированию скрытых нарушений кровотока в магистральных артериях головы.

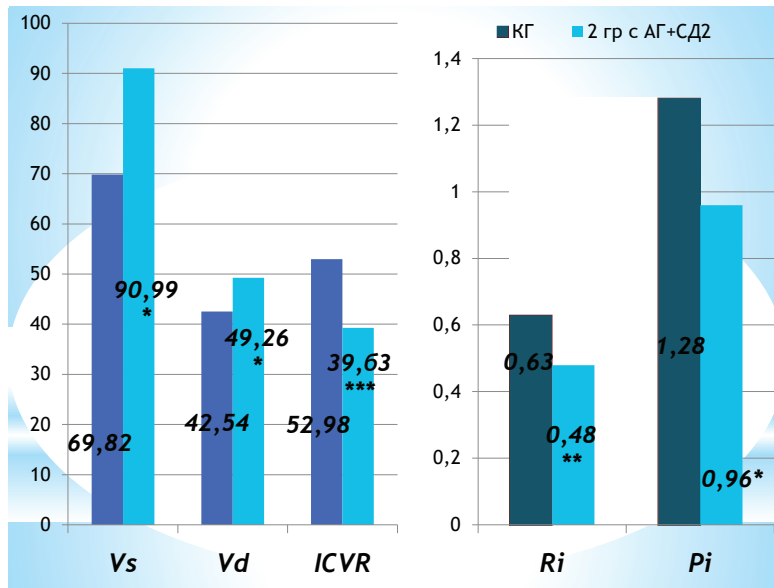


Рис. 2. Характеристика показателей функционального состояния кровотока сонных артерий у больных КГ и АГ+СД2

Примечание: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, — $p < 0,001$ по отношению к КГ

Анализ состояния кровотока в сонных артериях между контрольной группы и 2 группы было выявлено, что суммарная объемная мозговая перфузия у больных АГ и СД₂ была статистически значимо ниже, чем у здоровых лиц (рис. 2.). Анализ характеристик доплерографии сонных артерий выявил, что скорость кровотока в систолу (VS) достоверно был выше на 30,3% в группе больных с АГ и СД по отношению к данным контрольной группы, что также указывает на не адекватность механизмов ауторегуляции ($p < 0,05$). Было установлено достоверно высокие

цифры скорости диастолического кровотока на 16,7% у больных 2 группы в отличии от данных КГ ($p < 0,05$).

Выявлено статистически значимое снижение индекса циркуляторного сопротивления (RI) на 31,2%, который отражает возрастание периферического сопротивления кровотоку во 2 группе исследования ($p < 0,01$). Индекс пульсации (PI), характеризующий упруго-эластические свойства артерий во 2 группе был также статистически значимо изменен на 33,3% по отношению к КГ ($p < 0,05$). Индекс цереброваскулярной реактивности

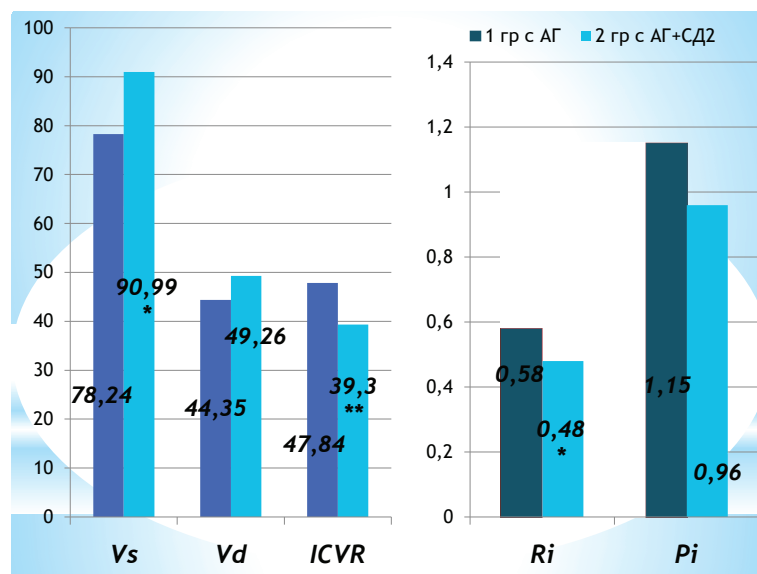


Рис. 3. Характеристика показателей функционального состояния кровотока сонных артерий у больных АГ и СД2.

Примечание: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$ по отношению к 1 группе

(ICVR), позволяющий судить о выраженности адаптационных реакций и степени компенсаторных возможностей гемодинамики головного мозга, был статистически значимо снижен на 34,8% у больных АГ по сравнению с контрольной группой ($p < 0,01$).

Таким образом, высокие цифры АД, а также наличие СД приводят к возникновению гиперперфузии по основным артериям головного мозга, что в свою очередь способствует возникновению вазоспазма различной тяжести и, возможно, пролиферации гладкомышечного матрикса сосудистой стенки.

Анализ результатов оценки показателей кровотока экстракраниальных сосудов у больных АГ и СД, выявил также статистически значимые нарушения функционального состояния сонных артерий (рис. 3.). В частности, у больных с АГ и СД выявлено статистически достоверное возрастание скорости систолического кровотока на 16,3% в отличие от пациентов с АГ без осложнений ($p < 0,05$). У больных 1 группы также было выявлено достоверно низкие показатели индекса сопротивления — RI и индекса цереброваскулярной реактивности (ICVR) на 20,8 и 20,5% соответственно ($p < 0,05$).

В результате проведенного исследования морфофункциональных параметров сонных артерий, выявлены атеросклеротические изменения ОСА (утолщение ТИМ более 0,9 мм) у 24 (82,7%) больных СД 2 и у 18 (58,4%) пациентов с АГ без нарушения углеводного обмена.

Однако у больных СД2 достоверно чаще регистрировалось диффузное увеличение ТИМ $\geq 1,3$ мм — 44 (45,8%) больных против 6 (20%) человек из группы сравнения, что свидетельствует о более выраженном атеросклерозе ОСА при СД. Как представлено в рис. 4., межгрупповых различий медианных значений индекса растяжимости стенки

ОСА у больных группы АГ и КГ не выявлено ($p > 0,05$). Однако, было установлено существенное различие индекса растяжимости между данными КГ и 2-й группы исследования были существенно ниже, чем у больных КГ ($p < 0,05$). Это является следствием того, что у больных АГ, ассоциированной с сахарным диабетом, в более ранние сроки, чем у больных АГ без нарушений углеводного обмена, нарушаются упругоэластичные свойства сосудистой стенки, что обуславливает сравнительно меньшую степень пассивного растяжения сосуда в ходе его ремоделирования у диабетических пациентов.

Анализ структурных параметров сонных артерий у пациентов с АГ выявил достоверное увеличение толщины комплекса интимы-медиа (ТИМ) ОСА у больных с АГ (1 группа) на 45,5% справа и на 35,3% слева в отличие от данных КГ ($p < 0,05$). В группе больных с АГ+СД2 также отмечается достоверно значимые изменения ТИМ ОСА по сравнению с данными здоровых лиц ($p < 0,01$).

В частности, подтверждением значимых атеросклеротических изменений ОСА служило и достоверное увеличение ТИМ у больных СД2 с АГ — $1,16 \pm 0,07$ мм, по сравнению с больными, имеющими только АГ $0,96 \pm 0,08$ мм ($p < 0,01$) (рис. 5.). Увеличение толщины комплекса интимы-медиа общей сонной артерии также сопровождалось увеличением диаметра сосуда. Было установлено статистически значимое увеличение диаметра сонных артерий у больных с АГ слева на 19,7% ($p < 0,01$), а также у больных с АГ+СД на 19,2% ($p < 0,05$) справа ($p < 0,05$) и слева на 21,8% ($p > 0,01$).

Таким образом, для АГ характерно выраженное снижение реактивности мозговых сосудов и функционального (перфузионного) резерва мозгового кровообращения уже на ранних стадиях развития заболевания,

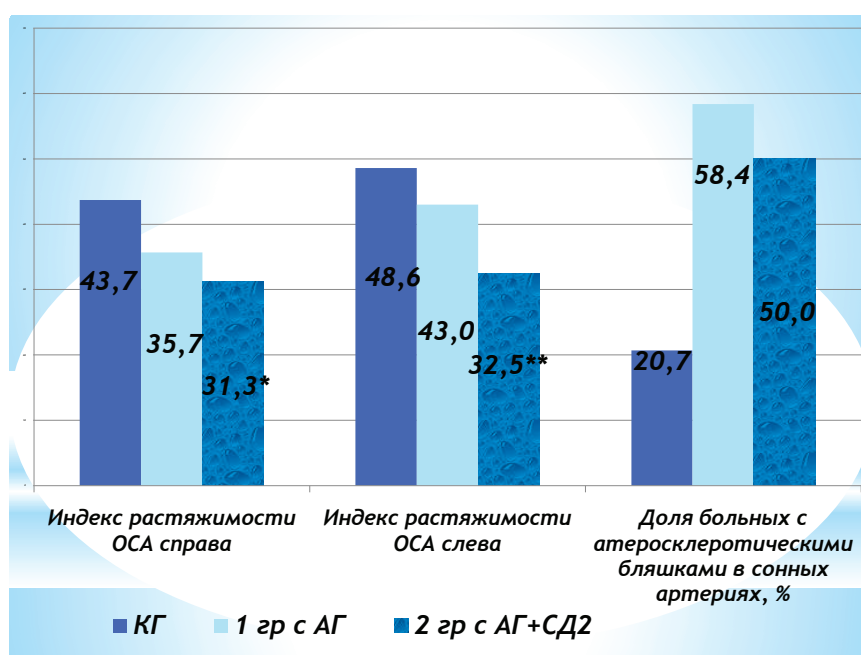


Рис. 4. Морфофункциональные показатели каротидных артерий у больных АГ и СД2.

Примечание: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$ по отношению к КГ

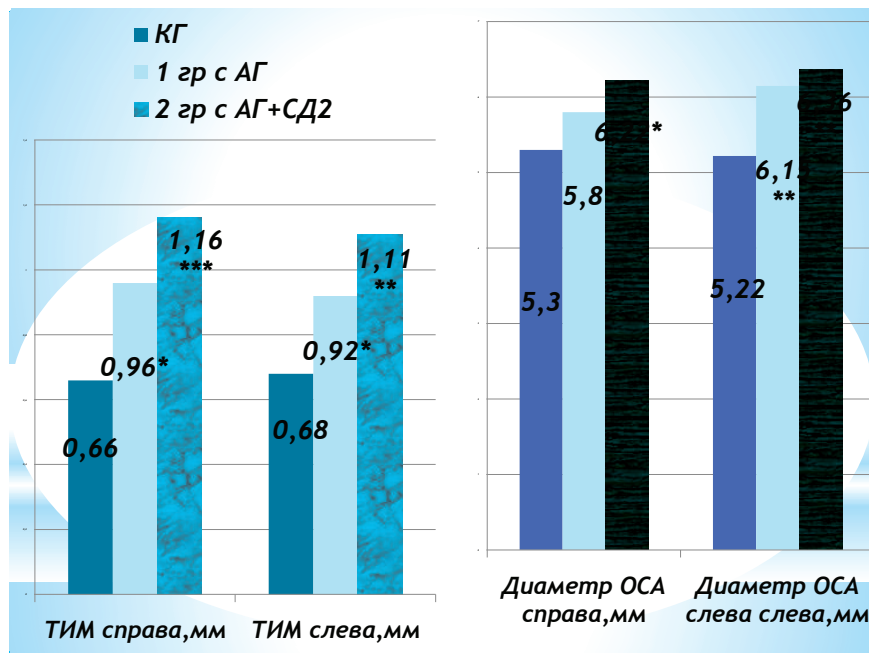


Рис. 5. Морфофункциональные показатели каротидных артерий.

Примечание: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$ по отношению к КГ

коллатеральный резерв мозгового кровообращения страдает в меньшей степени.

Обсуждение

Нарушение механизма ауторегуляции мозгового кровообращения при АГ проявляется наличием нехарактерной для здоровых коррелятивной связи между величиной артериального давления и скоростью кровотока в средней мозговой артерии [2,7]. Показатель состоятельности мозговой ауторегуляции наиболее чувствительно характеризует степень нарушения ауторегуляции мозгового кровообращения на различных стадиях развития гипертонической болезни. Формирование АГ тесно ассоциируется с прогрессирующим ремоделированием сердца и сосудов, а также ускорением развития системного атеросклероза. Результаты исследования позволили установить, что при АГ имеет место ремоделирование сосудов головного мозга, которое выражается в первую очередь в увеличении диаметра общей сонной артерии (ОСА) и внутренней сонной артерии (ВСА) и толщины интима-медиа (ТИМ) ОСА в сравнении с контрольной группой ($p < 0,05$).

У больных СД2 в сочетании с АГ атеросклеротические изменения ОСА более выражены по сравнению с пациентами, имеющими только АГ. Для оценки характера ремоделирования артерий крупного калибра и состояния механических свойств сосудистой стенки мы изучили у больных группы АГ+СД значения ТИМ и индекса растяжимости ОСА в сравнении с таковыми у сопоставимых по клиническим данным больных группы АГ.

Известно, что СД является важным фактором риска развития ишемического инсульта среди цереброваску-

лярных заболеваний [16]. Различные изменения сосудистой системы головного мозга у пациентов с СД могут быть причинами развития острой и хронической ишемии головного мозга. Нарушение механизма ауторегуляции мозгового кровообращения при АГ проявляется наличием нехарактерной для здоровых коррелятивной связи между величиной артериального давления и скоростью кровотока в средней мозговой артерии. Показатель состоятельности мозговой ауторегуляции наиболее чувствительно характеризует степень нарушения ауторегуляции мозгового кровообращения на различных стадиях развития гипертонической болезни.

Таким образом, выявлено, что для больных артериальной гипертонией, характерно выраженное снижение реактивности мозговых сосудов и функционального (перфузионного) резерва мозгового кровообращения уже на ранних стадиях развития заболевания, коллатеральный резерв мозгового кровообращения страдает в меньшей степени. У пациентов АГ с наличием СД2 выявляется более выраженное повышение скорости кровотока в диастолу и снижение индекса пульсации и индекса цереброваскулярной реактивности, что свидетельствует о нарушениях тонуса и реактивности сосудов мозга и должно трактоваться как снижение адаптационно-компенсаторных возможностей мозговых артерий. При АГ имеет место ремоделирование сосудов головного мозга, которое выражается в первую очередь в увеличении диаметра общей сонной и внутренней сонной артерий в сравнении с контрольной группой, толщины ТИМ сонных артерий, зависящие от степени повышения АД, наиболее выраженное у пациентов с транзиторной ишемической атакой.

Выводы

1. При АГ имеет место ремоделирование сосудов головного мозга, которое выражается в первую очередь в увеличении диаметра общей сонной и внутренней сонной артерий в сравнении с контрольной группой, толщины ТИМ сонных артерий, зависящие от степени повышения АД.

2. Для больных артериальной гипертонией характерно снижение реактивности мозговых сосудов и функ-

ционального (перфузионного) резерва мозгового кровообращения.

3. У пациентов АГ с СД выявляется более выраженное повышение скорости кровотока в диастолу и снижение индекса пульсации и индекса цереброваскулярной реактивности, что свидетельствует о нарушениях тонуса и реактивности сосудов мозга и должно трактоваться как снижение адаптационно-компенсаторных возможностей мозговых артерий.

Литература:

1. Агеев Ф. Т., Фомин И. В., Мареев В. Ю., Беленков Ю. Н. Распространенность артериальной гипертонии в Европейской части Российской Федерации. Данные исследования ЭПОХА, 2003 // Кардиология. 2004. — № 11. — С. 50–53.
2. Алмазов В. А., Алмазов В. А., Арабидзе Г. Г. Профилактика, диагностика и лечение первичной артериальной гипертонии в Российской Федерации // Клинич. фармакология и терапия. 2000. — Т. 9, № 3. — С. 5–30.
3. Багмет А. Д. Ремоделирование сосудов в норме и при патологии // Кардиология. 2002. — № 3. — С. 40–43.
4. Барсуков А. В., Горячева А. А. Клиническое значение признака кинетики кровообращения у пациентов с артериальной гипертензией // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2005. — Т. 4, № 2. — С. 25–34.
5. Бритов А. Н., Быстрова М. М. Новые рекомендации Объединенного национального комитета по предупреждению, диагностике и лечению артериальной гипертонии (США): от JNC VI к JNC VII. // Кардиология. — 2003. — № 11. — С. 93–97.
6. Верещагин Н. В., Суслина З. А., Максимова М. Ю. Артериальная гипертония и цереброваскулярная патология: современный взгляд на проблему // Кардиология. 2004. — № 3. — С. 4–8.
7. Камчатнов П. Р. Дисциркуляторная энцефалопатия некоторые вопросы клиники и терапии // Рус. мед. журн.: РМЖ — 2004. — Т. 12, № 24. — С. 1414–1418.
8. Кобалава Ж. Д., Котовская Ю. В., Хирманов В. Н. Артериальное давление в исследовательской и клинической практике / под ред. В. С. Моисеева, Р. С. Карпова. М.: Реафарм. — 2004. — 384 с.
9. Кобалава Ж. Д., Котовская Ю. В., Виллевалде С. В. Рекомендации по артериальной гипертонии 2007: текст, контекст и размышления // Кардиология. 2008. — № 2. — С. 72–87.
10. Лелюк В. Г., Лелюк С. Э. Ультразвуковая ангиология. Изд. 2-е. — М.: Реальное время, 2003. — 343 с.
11. Ультразвуковая доплеровская диагностика в клинике / под ред. Ю. М. Никитина, А. И. Труханова. Москва-Иваново: МИК, 2004. — 491 с.
12. Чазова И. Е., Ратова Л. Г., Атауллаханова Д. М. Лечение пациента с артериальной гипертензией и гипертрофией левого желудочка // Consilium medicum. 2006. Прил. 1. — С. 3–6.
13. Baumbach G. L., Ghoneim S. Vascular remodeling in hypertension // Scanning Microsc. 1993. — Vol. 7. — P. 137–142.
14. Guidelines for the Management of Arterial Hypertension // J. Hypertension. 2007. — Vol. 25. — P. 105–1187.
15. Hojer-Pedersen, E. Effect of acetazolamide on cerebral blood flow in subacute and chronic cerebrovascular disease // Stroke. 1987. — Vol. 18. — P. 887–891.
16. 198. Human cerebral venous on flow pathway depends on posture and cerebral venous pressure / J. Oisols, Van S. S. Liesbont, K. Van Kusden et al. // J. Physiol. 2004. — Vol. 560, № 1. — P. 317–327.
17. Standing up to the challenge of standing a siphon does not support cerebral blood flow in humans // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. — 2004 Vol. 287. — P. 911–914.

Анализ гемостазиограммы в ближайшем послеоперационном периоде у пациентов, относящихся к группе высокого риска развития тромбозмемболических осложнений в зависимости от проведения их профилактики

Супрунюк Вероника Валерьевна, студент;
Мельник Дмитрий Юрьевич, студент;
Цыганкова Дарья Анатольевна, студент;
Харужик Андрей Сергеевич, студент;
Жуковская Антонина Николаевна, студент;
Зайцева Екатерина Владимировна, студент;
Пискарёва Анна Сергеевна, студент;
Примак Александр Михайлович, студент
Белорусский государственный медицинский университет (г. Минск)

Ключевые слова: гемостазиограмма, тромбозмемболия, осложнение

Тромбозмемболические осложнения в ближайшем послеоперационном периоде остаются актуальной проблемой практического здравоохранения. Из-за их распространенности, а также связанными с ними смертностью и инвалидизацией населения, из-за колоссальных экономических расходов на профилактику и лечение больных, тромбозмемболические осложнения являются большой социальной проблемой. Профилактика тромбоза глубоких вен обходится во много раз дешевле, чем лечение его и порождаемых им осложнений — ТЭЛА, посттромботической болезни нижних конечностей и постэмболической лёгочной гипертензии. Многоцентровые исследования последних десятилетий свидетельствуют о том, что профилактика с применением низкомолекулярного гепарина является наиболее эффективное, безопасной и экономичной.

Пациенты нейрохирургического профиля относятся к группе высокого риска развития венозных тромбозмемболических осложнений. В реальной клинической практике в связи с высоким риском развития геморрагических осложнений они не получают в первые дни после операции антикоагулянты, которые в настоящее время представляют собой наиболее простой и эффективный способ профилактики ВТЭО у хирургических больных, что может значительно увеличить риск развития у них тромбозмемболических осложнений.

Цель: изучить у пациентов, относящихся к группе высокого риска развития тромбозмемболических осложнений, состояния гемостаза в ближайшем послеоперационном периоде в зависимости от проведения гепаринопрофилактики.

Материалы и методы. Нами было обследовано 39 (24 женщин: 15 мужчин) пациентов распределенных на две клинические группы. Средний возраст $52,5 \pm 12,2$ года.

В I группу (n=19) были включены пациенты, которым тромбозпрофилактика в раннем послеоперационном периоде не проводилась, во II (n=20) — пациенты, которым тромбозпрофилактика проводилась с применением низкомолекулярных гепаринов. В обеих группах

были изучены показатели гемостаза и количество тромбоцитов до операции и в первые пять дней после операции, а также УЗИ-исследование сосудов нижних конечностей. Обследование проводилось в три этапа: до операции (1 этап), первые сутки после операции (2 этап) и на 5 день после операции (3 этап). Статистическая обработка результатов проводилась с помощью ППК Statistica 10, $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В двух группах наблюдались изменения показателей коагулограммы и тромбоцитов до и после операции. В первой контрольной группе наблюдается прогрессирующее увеличение уровня Д-димеров (нг/мл) (Me [SD]): 508 [383;1803] на 1 этапе; 821 [621;1623] на 2 этапе; 948 [759;1252] на 3 этапе ($T_1=44$, $p_1=0,594$; $T_2=34$, $p_2=0,246$). У пациентов II группы: 369 [216;440]; 412 [344;501]; 329 [271;421] соответственно ($T_1=32$, $p_1=0,112$; $T_2=41$, $p_2=0,281$; $U_1=59$, $p_1=0,471$; $U_2=27$, $p_2=0,000719$; $U_3=12$, $p_3=0,000054$).

Амплитуда показателей ПТВ(с) у двух групп отличается незначительно: у пациентов I группы — 14,5 [14,1;16,4]; 15,8 [14,8;17,4]; 15,45 [14,7;18,3] на 1–3 этапах ($T_1=40$, $p_1=0,433$; $T_2=49$, $p_2=0,826$), II группы — 15,1 [14,2;16,3]; 15,5 [14,8;15,9]; 14,3 [13,6;14,8], соответственно ($T_1=34,5$, $p_1=0,148$; $T_2=20$, $p_2=0,023$) ($U_1=98$, $p_1=0,777$; $U_2=90$, $p_2=0,527$; $U_3=40,5$, $p_3=0,005$).

Колебания МНО у пациентов I группы были более выражены — 1,03 [1,01;1,17]; 1,125 [1,04;1,18]; 1,12 [1,03;1,3] на 1–3 этапах ($T_1=36$, $p_1=0,3$; $T_2=46$, $p_2=0,683$), по сравнению со II группой — 0,95 [0,89;1]; 0,96 [0,89;1,04]; 0,99 [0,91;1,04] соответственно ($T_1=54$, $p_1=0,733$; $T_2=46,5$, $p_2=0,706$; $U_1=38,5$, $p_1=0,004$; $U_2=27$, $p_2=0,001$; $U_3=30,5$, $p_3=0,001$).

Уровень фибриногена (г/л) у пациентов в I группе также демонстрировал большую вариабельность; 4,06 [3,39;4,9]; 3,515 [2,98;4,18]; 4,085 [3,03;4,76] от 1 к 3 этапу ($T_1=37$, $p_1=0,331$; $T_2=40$, $p_2=0,433$), чем во II группе 4,46 [3,63;4,64]; 4,87 [3,77; 5,24]; 4,45 [3,9;5,05] ($T_1=35,5$, $p_1=0,164$; $T_2=55$, $p_2=0,776$; $U_1=95,5$, $p_1=0,694$; $U_2=54,5$, $p_2=0,029$; $U_3=84$, $p_3=0,371$).

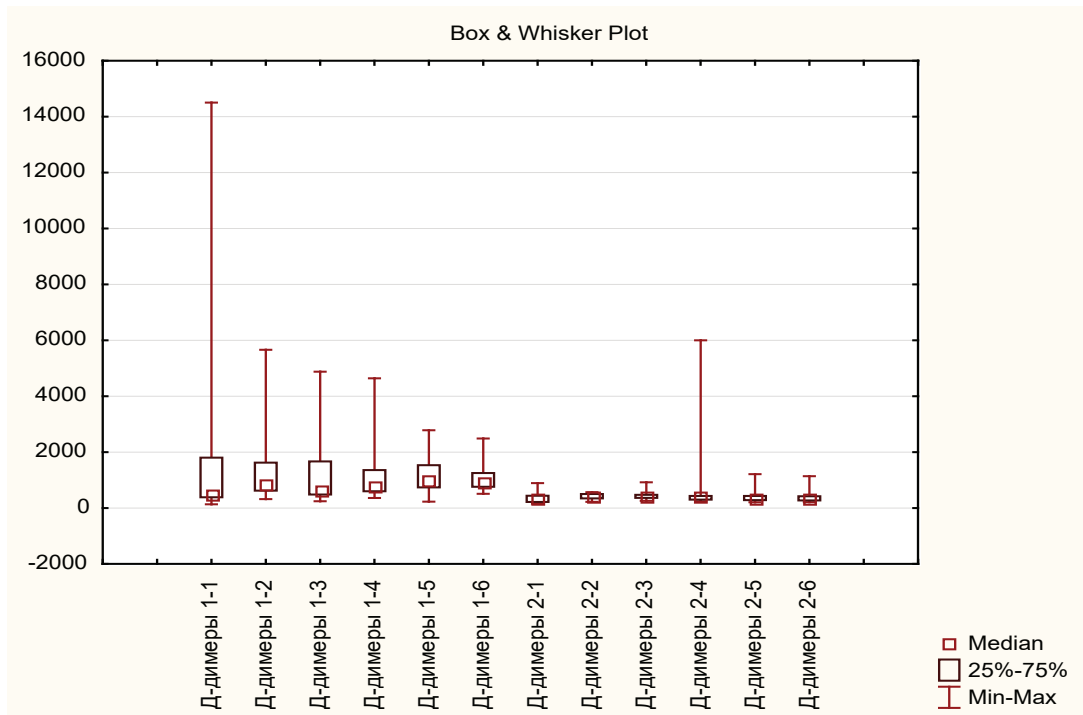


Рис. 1. Уровень Д-димеров

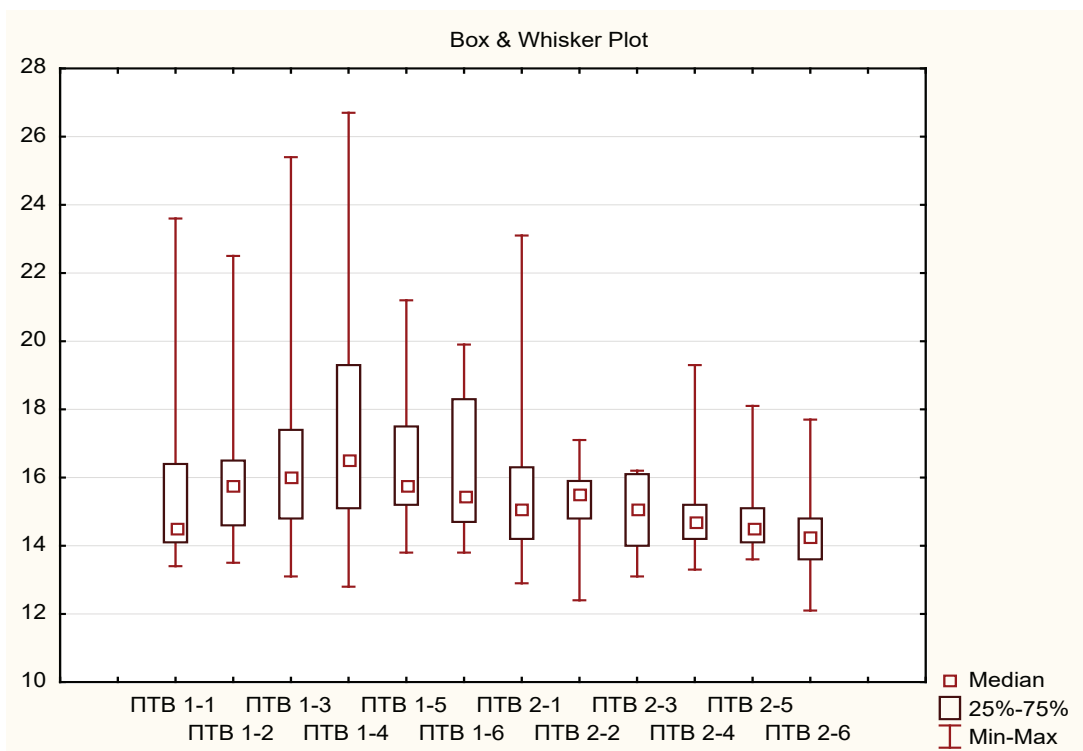


Рис. 2. Показатели ПТВ

При проведении УЗ-исследования сосудов нижних конечностей у пациентов первой группы отмечалось образование тромбов разной выраженности на 5–8 сутки.

Выводы:

1. В исследуемой I группе выявляется значительный рост коагуляционных свойств крови, что подтверждается

изменениями показателей гемостаза и данными УЗИ сосудов нижних конечностей: отмечаются признаки тромбоза сосудов нижних конечностей, в отличие от пациентов II группы.

2. У пациентов II группы изменения коагуляционных свойств крови в ближайшем послеоперационном периоде

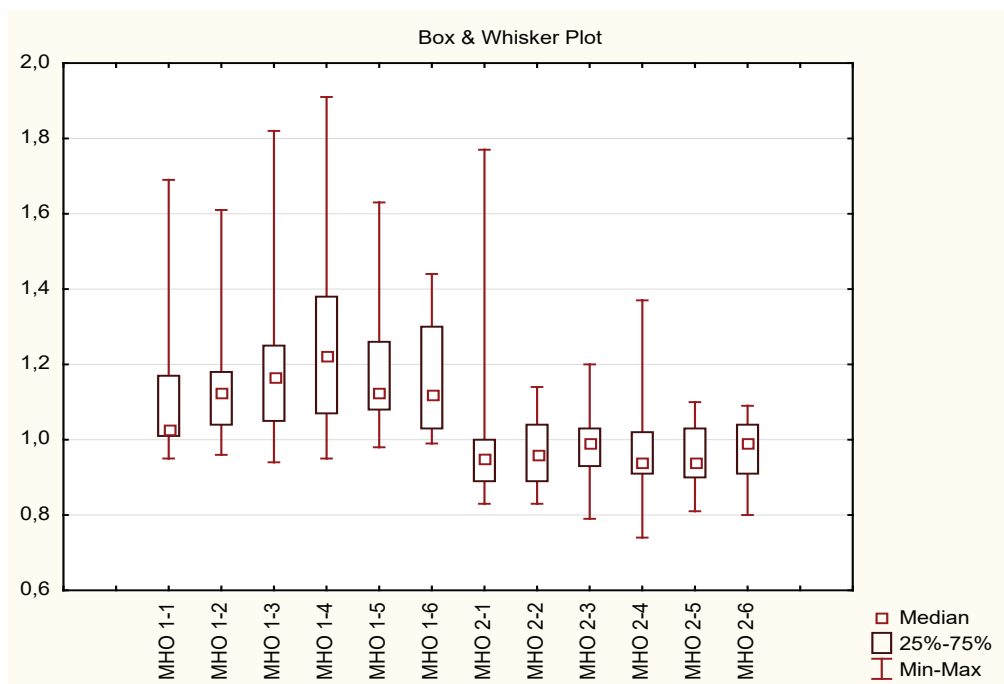


Рис. 3. Показатели МНО

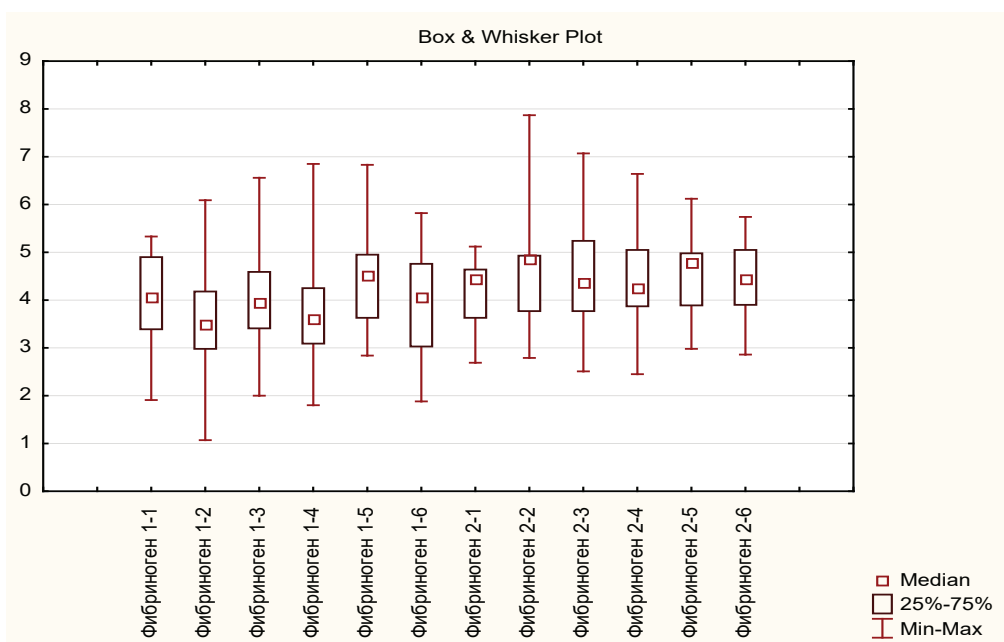


Рис. 4. Уровень фибриногена

были менее выражены и удерживались в пределах нормальных значений.

3. Предоперационное скрининговое исследование уровня D-димера в крови у нейрохирургических больных, при его значении более 470 ± 30 нг/мл требует сопоставления с данными УЗИ-исследования глубоких вен нижних конечностей для окончательного выделения больных в группу высокого риска по послеоперационным венозным тромбозам и эмболическим осложнениям.

4. У нейрохирургических больных имеются общие и специфические факторы риска развития ВТЭО, поэ-

тому им в обязательном порядке необходимо проведение комплексной профилактики этих осложнений в послеоперационном периоде. Специфическими для нейрохирургических больных особенностями ее проведения являются: начало профилактических мероприятий с момента интубации, но не в дооперационном периоде. Фармакологические методы целесообразно назначать только с 3-х суток не осложненного послеоперационного течения, при обязательном контроле КТ для исключения развития индуцированных НМГ геморрагических осложнений.

Литература:

1. Anderson F.A. Jr, Wheeler H.B., Goldberg R.J. et al, A population based perspective on the hospital incidence & case fatality rates of deep vein thrombosis & pulmonary embolism: the Worcester DVT study. //Arch. Intern. Med. 1991. v.151 p.993–938.
2. Agnelli G., Sonaglia F: Prevention of venous thromboembolism in high risk patients. //Haematologia, 1997. v.82. № 4 p.496–502.
3. Bostrom S., Holmgren E., Jonsson O. et al., Post-operative thromboembolism in neurosurgery: a study on prophylactic effect of calf muscle stimulation plus dextran compared to low-dose heparin. //Acta. Neurochir. 1986. v.80 p.83–89.
4. Cerrato D., Ariano C., Fiacchino F. Deep vein thrombosis and low-dose heparin prophylaxis in neurosurgical patients. //J. Neurosurg. 1978. v.49 p.378–381.
5. Coon W.W: Venous thromboembolism. Prevalence, risk factors, and prevention. //Clin. Chest. Med. 1984. v.5 p.391–401.
6. Frim D. M., Barker F. G., Poletti C. E. et al. Postoperative low dose heparin decreases thromboembolic complications in neurosurgery patients. //Neurosurgery. 1992 v.30. p.830–832.

ЭКОЛОГИЯ

Очистка атмосферного воздуха от диоксидов азота и серы на автотранспортных предприятиях

Бузырева Наталья Владимировна,
Ташлыкова Анна Николаевна,
Васина Марина Владимировна, кандидат химических наук, доцент
Омский государственный технический университет

В крупных городах экологическая обстановка остается неблагоприятной, так как качество атмосферного воздуха не отвечает требованиям законодательства. В настоящее время одним из основных вкладчиков в загрязнение атмосферного воздуха населенных пунктов является автотранспорт, двигатели которого выделяют в атмосферный воздух диоксиды азота и серы, оксиды углерода, сажа, бенз(а)пирен, которые становятся причиной возникновения кислотных дождей и смогов.

Одним из источников негативного воздействия на окружающую среду являются автотранспортные предприятия либо автотранспортные цеха, которые есть практически на всех промышленных предприятиях. Основной их деятельностью является обкатка двигателей и другими ремонтно-механические работы. Экологическая ситуация обостряется из-за отсутствия у большинства предприятий планов мероприятий по охране окружающей среды. Самыми распространенными газами, загрязняющими, являются, которые выделяются в большей мере от двигателей автотранспорта диоксиды азота и серы.

Такие загрязнители оказывают токсичное действие на организм человека, а их концентрация в воздухе с каждым днем становится все больше.

Автотранспортные предприятия представляют собой в комплексе разного рода инженерно-технические сооружения с объектами производственно-хозяйственного назначения. Ведущей производственной деятельностью предприятий является: мойка автотранспорта, зона технического обслуживания и ремонта, зона обкатки двигателей после ремонта, сварочный пост, механическая обработка материалов, аккумуляторный работы и гальванический цех.

Рассматриваемое предприятие согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 относится к 4 классу опасности [1]. На его территории располагаются: 1 неорганизованный (открытая автостоянка) и 13 организованных источников загрязнения атмосферы (аккумуляторные работы, мойка

автотранспорта, обкатка двигателей после ремонта, механическая обработка материалов, зона ТО и ТР, контроль токсичности отработавших газов, сварочный участок, гальванический цех). Установлено, что в атмосферный воздух от существующих источников поступают 18 наименований загрязняющих веществ. Выявлено 0,104 т/год твердых веществ; 2,11 т/год жидких и газообразных веществ. Общий валовый выброс составляет 2,214 т/год.

По результатам инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу было выявлено превышение ПДК диоксида азота и диоксида серы, отходящей от цеха обкатки двигателей после ремонта. Суммарный выброс составляет 0,5874 и 0,528 грамм в секунду и 0,004 и 0,0104 тонн в год соответственно. Предельно допустимая концентрация данных веществ 0,2 и 0,5 мг/м³ соответственно.

Превышение диоксидов азота и серы обычно наблюдается на технологическом участке «Обкатка двигателей после ремонта».

Большинство автотранспортных предприятий не имеют систем очистки воздуха.

Для выбора фильтрующей установки был рассчитан объемный расход воздуха Q.

Также была рассчитана площадь патрубка на входе ($F_1=0,06 \text{ м}^2$) и на выходе ($F_2=0,05 \text{ м}^2$).

С целью снижения выбросов для диоксида азота и диоксида серы было предложено мероприятие, такое как установка фильтрующего модуля для очистки воздуха от газообразных токсичных компонентов [2].

Фильтрующий модуль относится к сорбционно-каталитической очистке воздуха от веществ загрязняющих окружающую среду и может быть использован для систем очистки от токсичных компонентов выхлопных газов выбрасываемой в атмосферу вентиляционной вытяжки из многоэтажных, наземных и подземных гаражей-стоянок закрытого типа, станций техобслуживания,

а также для очистки приточной вентиляции помещений в случае забора воздуха в местах его высокого загрязнения выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Основными веществами, загрязняющими воздух для рассматриваемых объектов с концентрациями, значительно превышающими ПДК, являются окись углерода CO, оксиды азота NO и NO₂, углеводороды и другие органические соединения, двуокись серы SO₂, а также аэрозоли и частицы сажи и пыли.

Важнейшим различием предлагаемого способа от известного (прототипа) является принципиально другой путь решения проблемы предотвращения отравления катализатора на основе окислов переходных металлов парами воды. В предлагаемом способе отравление катализатора водяными парами предотвращается небольшим повышением температуры очищаемого воздуха относительно температуры воздуха окружающей среды, что приводит к относительному смещению адсорбционно-десорбционного равновесия на поверхности катализатора и существенно предотвращает конденсацию на нем водяных паров.

Гопкалиты — общее название нескольких марок катализаторов, содержащих окислы марганца, меди и др.

Разработанный принципиально новый путь предотвращения отравления катализатора парами воды в предлагаемом способе позволил существенно упростить процесс и снизить его энергоёмкость.

Другим отличием предлагаемого способа от прототипа является наличие операции предочистки (до пропускания воздуха через слой катализатора) от углеводородов и других органических соединений пропусканием очищаемого воздуха через слой сорбента, поглощающего эти соединения. Пропускание очищаемого воздуха через слой сорбента позволяет не только осуществлять очистку воздуха от углеводородов и других органических соединений, являющихся токсичными компонентами, но и предотвращать протекание в каталитическом слое реакций превращения этих органических соединений, предохраняя тем самым катализатор от отравления, то есть введение этой операции в предлагаемый способ позволило повысить эффективность очистки воздуха и избежать стадии регенерирования катализатора.

Слой сорбента и слой катализатора удобно поместить в фильтрующий модуль.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом: поступающий в систему очистки воздух предварительно очищают на фильтре, улавливающем твердые частицы и аэрозоли, затем нагревают в блоке принудительного нагревания до температуры, которая превышает температуру окружающего воздуха на величину $\Delta T = 5-30^\circ\text{C}$, и затем подогретый воздух последовательно пропускают через сорбционный и каталитический слои, после чего очищенный воздух поступает на выход.

Предлагаемый способ позволяет, по сравнению с прототипом, существенно повысить производительность очистки, упростить процесс, снизить энергозатраты и из-

бежать необходимости периодической регенерации катализатора. Способ обеспечивает высокую эффективность очистки воздуха — достигается десятикратное снижение концентрации вредных компонентов в вентиляционных выбросах гаражей.

Отличием предлагаемого фильтрующего модуля от известного (прототипа) является наличие в нем дополнительного каталитического слоя, выполненного из окислительно-восстановительного катализатора на основе окислов марганца и меди. Снабжение фильтрующего модуля дополнительным каталитическим слоем, в котором протекают реакции окисления CO до CO₂ и восстановления окислов азота до молекулярного азота при низких температурах (-20 — $+50^\circ\text{C}$), позволило эффективно очищать воздух от указанных токсичных веществ при сохранении высокой производительности модуля

Фильтрующий модуль разработан на основе так называемого гопкалита: катализатора, содержащего окислы марганца, меди и других металлов.

Основной проблемой при разработке фильтра является устранение негативного влияния паров воды на окислы переходных металлов, которые содержит предложенный катализатор. Для решения данной задачи очищаемый воздух должен иметь температуру выше, чем окружающий. Разница температуры влияет на адсорбционно-десорбционное равновесие в результате чего водяной пар не конденсируется на поверхности катализатора.

Таким образом, значительно снижается энергоёмкость процесса. Особенность данного фильтра заключается в предочистке выхлопных газов от углеводородов путем пропускания их через слой сорбента. Это позволяет исключить превращение органических соединений в каталитическом слое, что приводит к более эффективной очистке. В результате катализатор не требует регенерации. Слой сорбента и слой катализатора помещаются в фильтр.

Данная фильтрующая установка состоит (рис. 1.) из следующих деталей, а именно металлического корпуса в форме цилиндра (1), крышки (2) и дна (3). В корпусе фильтра расположены два торцевых отверстия (4) с диаметром условного прохода 250 мм для входа воздуха, и одно боковое отверстие (5) с диаметром условного прохода 250 мм для выхода воздуха из фильтра. Одно из торцевых отверстий может либо закрываться заглушкой (6), либо, при необходимости, соединяться с соседним фильтром с помощью эластичной муфты (11). В корпусе фильтра помещены: сорбент (7), катализатор (8), разделительные перфорированные перегородки (9). Выходное отверстие соединено с патрубком для выхода воздуха (10).

Каталитический (8) и адсорбционный (7) слои имеют форму полых цилиндров, при этом слой сорбента помещен внутри каталитического слоя, и оба слоя установлены соосно с корпусом.

Также чаще всего для очистки воздуха от диоксида азота и диоксида серы применяются энергоёмкие и трудо-

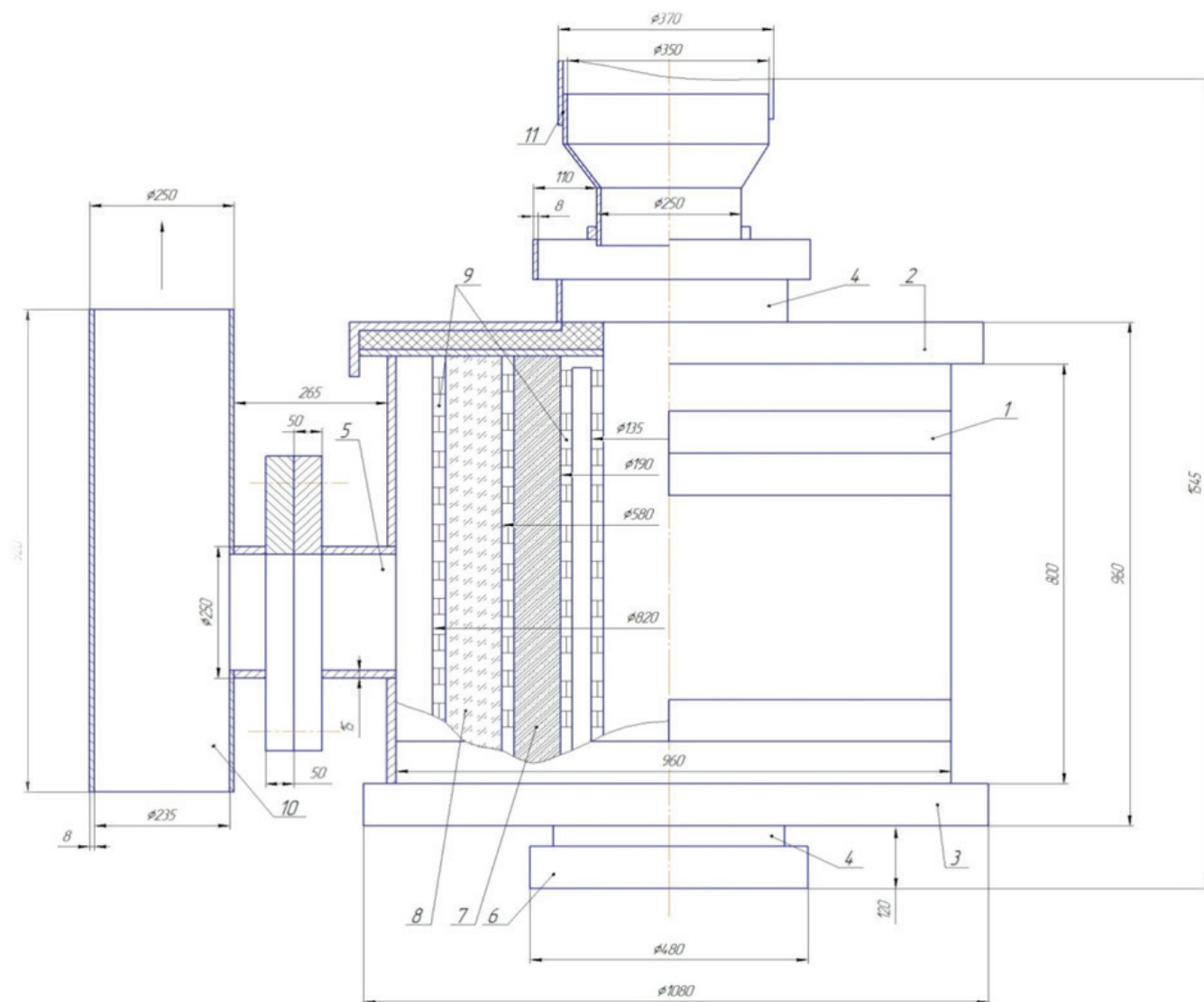


Рис. 1. Схема фильтрующего модуля

затратные адсорбционные, каталитические и термические методы очистки.

На основании предложенного нами фильтрующего модуля, можно сделать вывод о том, что предлагаемый мало-

габаритный фильтрующий модуль обеспечивает высокую эффективность очистки выхлопных газов (~99,9%), а также уменьшается содержание вредных компонентов, попадающих в атмосферу в десятки раз.

Литература:

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».
2. Пат. RU2172641 Российская Федерация, МПК⁷ B01D53/86 B01D53/04 B01D53/02 B01D35/01 Фильтрующий модуль для очистки воздуха от газообразных токсичных компонентов [Текст] /Кумпаненко И.В., Лосев В.В., Шеляпин И.П., Васильев Н.П., Романчук Э.В., Замаев Б.К., Дейкун М.М., Ермаков А.И., Довидчук А.Н.; заявитель и патентообладатель — ООО «Экоспецстройснаб» — БИ 01/2008; опубл. 10.01.2008 г.

Локальные очистные сооружения для автомоек

Ташлыкова Анна Николаевна,
Бузырева Наталья Владимировна,
Васина Марина Владимировна, кандидат химических наук, доцент
Омский государственный технический университет

С масштабными урбанизации в настоящее время объекты городского хозяйства оказывают большое влияние на экологическое состояние города. Значительный вклад в загрязнение вносит автомобильный транспорт. В связи с ежегодным увеличением городского автопарка появляется большое количество предприятий по обслуживанию автомобилей, которые оказывают негативное воздействие на компоненты городской среды. Одним из источников загрязнения окружающей среды являются автомойки.

В результате деятельности автотранспортных предприятий образуется большое количество сточных вод от мойки автомобилей. Сточные воды предприятий — это воды, изменившие после использования в технологическом процессе свои физико-химические свойства и требующие отведения, последующей очистки, охлаждения. Отработанная вода содержит взвешенные вещества, ПАВ и нефтепродукты в количествах, превышающих допустимые для слива в канализацию [1]. В настоящее время государством предъявляются жесткие требования к воде, поступающей в городскую систему канализации. Поэтому на автотранспортные предприятия, имеющие автомойки рассматривают необходимость установить локальные очистные системы, позволяющие довести отработанную воду до требуемых нормативов. Подбор очистного оборудования проводится с целью соблюдения водного законодательства РФ, а также экономии водного

ресурса путем использования оборотной системы водоснабжения.

Расчет потребления воды автотранспортным предприятием проводится исходя из количества автомобилей, обслуживаемых автомойкой, а также действующих норм водопотребления. Если объем фактического количества сточных вод, образующихся в результате мойки автотранспорта, превышает допустимый объем сброса, то необходимо использовать систему оборотного водоснабжения.

Нормативные требования к качеству воды, используемой для мытья легковых автомобилей по «Укрупненным нормам водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности» представлены в таблице 1 [2]:

Одним из наиболее экономически эффективных способов является повторное использование сточной воды в технологическом цикле. Подбор установки оборотного водоснабжения и очистки сточных вод зависит от количества моечных постов и числа автомобилей, которые обслуживаются. Необходимая степень очистки сточной воды для повторного использования в процессе мойки автотранспорта:

1. Взвешенные вещества, не более 40 мг/л.
2. Нефтепродукты, не более 15 мг/л.
3. Вода не должна иметь на поверхности пленку нефтепродуктов и масел.

Таблица 1. Нормативные требования к качеству воды

Показатели	Ед. из.	Вода, используемая для мойки
Температура	°С	не нормируется
Взвешенные вещества	мг/л	40
Эфирорастворимые	мг/л	15
Запах	балл	до 3
pH	-	7.2–8.5
Жесткость карбонатная	мг-экв/л	-
Щелочность общая	мг-экв/л	до 10
Сухой остаток	мг/л	до 2000
Cl ⁻ (хлориды)	мг/л	до 350
SO ₄ ²⁻ (сульфаты)	мг/л	до 500
Fe _{общ.}	мг/л	до 4
Окисляемость перманганатная	мг O ₂ /л	до 15
БПК _{полн.}	MgO ₂ /л	до 20
Биогенные элементы	мг/л	не нормируется
Мешающие, токсичные, возгораемые вещества, выделяющиеся при нагревании с образованием огня и взрывоопасных смесей		не допускаются

4. Вода не должна оставлять солевых пятен на поверхности автомобиля после обдува вентилятором с целью сушки корпуса.

5. Вода не должна содержать абразивных веществ, вызывающих повреждение лакокрасочного покрытия автомобиля и стекол.

Очистка отработанной воды может производиться с помощью механических, химических или физико-химических методов. К ним относятся флотация, реагентная обработка, сорбционные и фильтрационные методы.

Предлагаемая установка оборотной системы водоснабжения УФОС-2 состоит из следующих компонентов [3]:

1. Напорный фильтр
2. Накопительная емкость
3. Автоматическая станция
4. Насос промывки
5. Колба-фильтр
6. Щит управления.

Вся аппаратура закреплена на металлической раме.

Напорный фильтр относится к типу вертикальных нисходящих фильтров с зернистой загрузкой. Наполнителем является кварцевый песок размером 2–4 мм и 0,5–0,8 мм. Корпус выполнен из высокопрочного композитного материала, армированного стекловолокном. В нижней части имеется сливная пробка. Для равномерного прохождения потока воды через зернистый слой используется дренажная система.

Для управления потоком воды на корпус напорного фильтра монтируется переключающий клапан. В верхней части клапана крепится манометр, предназначенный для контроля нагрузки на фильтр. Наличие прозрачной кон-

трольной колбы позволяет следить за качеством воды в процессе промывки.

На патрубке отвода очищенной воды дополнительно установлен фильтр тонкой очистки, состоящий из пластиковой колбы и полипропиленового нитевого картриджа. Накопительная емкость представляет собой вертикальный цилиндрический резервуар, в котором собирается вода после прохождения очистки. Материал накопительной емкости — полиэтилен низкого давления, изготовленный методом ротационного формования. В верхней части емкости имеется горловина, закрываемая резьбовой крышкой. Внутри емкости установлен датчик уровня. Для слива воды в нижней части установлен запорный со шланговым штуцером. Автоматическая насосная станция состоит из вихревого электронасоса, гидроаккумулятора, бак 24 л., реле давления, контрольной и соединительной арматуры.

Предложенная система очистки загрязненных стоков автомойки (рис. 1) основывается на последовательном прохождении через систему фильтров и включает в себя следующие стадии:

1. Механическая очистка при помощи гравитационного осаждения в отстойнике;
2. Прохождение через напорный фильтр;
3. Тонкая очистка при помощи волокнистого фильтра.

Принцип работы данной системы заключается в последовательном выделении из сточных вод взвешенных веществ и эмульгированных нефтепродуктов.

На первом этапе очистки загрязненные сточные воды собираются в приемке (1), где происходит отстаивание сточных вод от крупных примесей под действием силы

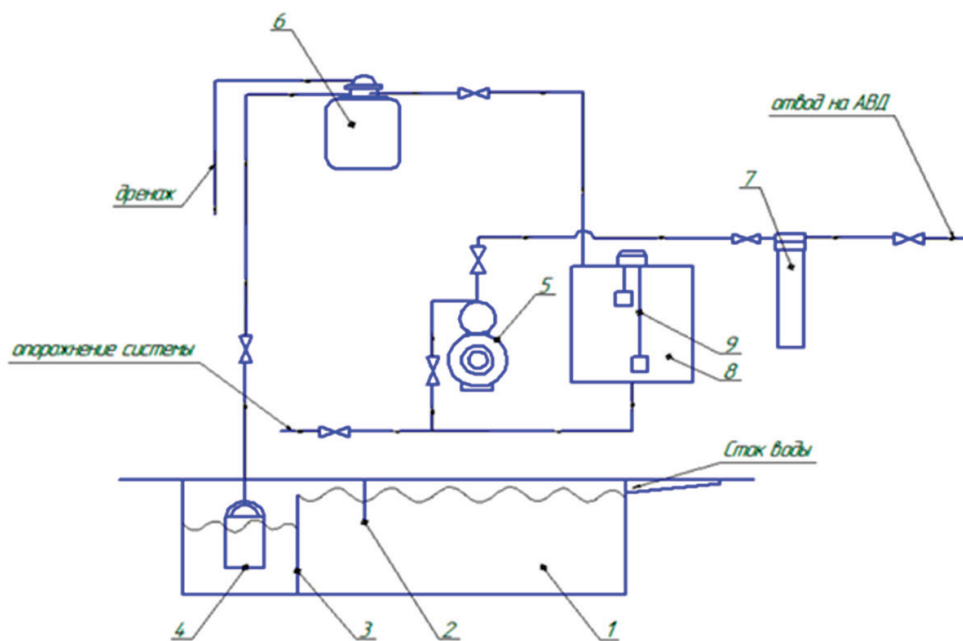


Рис. 1. Технологическая схема очистки сточных вод автомойки: 1 — приемок для сбора сточной воды; 2 — полупогружная перегородка; 3 — переливная кромка; 4 — погружной насос; 5 — насосная станция; 6 — напорный фильтр; 7 — волокнистый фильтр; 8 — накопительная емкость; 9 — индикатор уровня воды

тяжести. Из-за разности удельного веса нефтепродукты скапливаются на поверхности и задерживаются полупрозрачной перегородкой (2). Осветленные стоки подаются на напорный фильтр (6).

В качестве фильтра предлагается использовать карбоновый напорный фильтр с зернистой загрузкой. Он представляет собой стальной вертикальный резервуар, в который помещается зернистая загрузка. В данном случае в качестве фильтрата используется кварц двух фракций: нижний поддерживающий слой 2–4 мм и верхний слой 0,5–0,8 мм. Здесь происходит выделение из воды мелкодисперсных взвешенных веществ и высокоэмульгированных нефтепродуктов. Фильтрация производится сверху вниз

со скоростью 7–9 м/ч. Продолжительность процесса составляет 15 ч. Регенерация загрузки производится обратным током воды, нагретой до 60–80 градусов [4].

Очищенные стоки поступают в накопительную емкость (8). Далее очищенная вода при помощи автоматической станции может подаваться на моечное оборудование. Непосредственно перед подачей на мойку производится тонкая очистка воды при помощи волоконного фильтра (7).

Данное устройство представляет собой колбу с картриджом из полипропиленового волокна. После исчерпания ресурса картридж заменяют.

Концентрации веществ после очистки сточных вод на выходе с установки представлены в таблице 2 [3].

Таблица 2. Параметры очистки

Наименование параметров	Ед. изм.	Содержание веществ в сточных водах до очистки	Содержание веществ в сточных водах после очистки
Взвешенные вещества	мг/дм ³	3000	менее 3
Нефтепродукты	мг/дм ³	500	менее 0,3
Водородный показатель	ед.	7–8	6,5–8,5/6,5–8
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	400	менее 3

Благодаря системе фильтров отработанная вода после прохождения очистки полностью соответствует требованиям, предъявляемым для мойки автотранспортных средств.

Основным преимуществом данной установки является простота использования и обслуживания, а также отсутствие необходимости применения дорогостоящих реактивов.

Литература:

1. ОНТП-01–91 «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта» от 07.08.91.
2. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности/Совет экономической взаимопомощи, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. — М: Стройиздат, 1978. — 590 с.
3. Паспорт установки для очистки сточных вод автомоек УФОС-2.
4. Журба М. Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. Львов, 1980. — 199 с.

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал
Выходит еженедельно

№ 45 (179) / 2017

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.
Демин 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.
Кошербаева А. Н.
Кузьмина В. М.
Курпаяниди К. И.
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)
Ешнев А. М. (Кыргызстан)
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)
Игисинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Колпак Е. П. (Россия)
Кошербаева А. Н. (Казахстан)
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)
Шуклина З. Н. (Россия)

Руководитель редакционного отдела: Кайнова Г. А.

Ответственный редактор: Осянина Е. И.

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 22.11.2017. Тираж 500 экз.

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