ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЯРОСЛАВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АПК

Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции

Ярославль, 2 декабря 2021 г.

Ярославль
Издательство ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА
2022

© ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2022
© Авторы статей, 2022

ISBN 978-5-98914-248-4

УДК 631.3-192
ББК 40.72
П 42

Печатается по решению редакционно-издательского совета инженерного факультета ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА.

Повышение эффективности и надежности техники и оборудования для АПК : сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции. Ярославль, 2 декабря 2021 г. / ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА. – Ярославль: Издательство ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2022. – 67 с. – ISBN 978-5-98914-248-4.

В материалах конференции представлены результаты исследований ученых, преподавателей и обучающихся высших учебных заведений Российской Федерации.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей высших учебных заведений, а также для работников агропромышленного комплекса. Может использоваться в учебном процессе в целях углубленного рассмотрения соответствующих проблем.

УДК 631.3-192
ББК 40.72

Редакционно-издательский совет

Шешунова Е.В. – редактор, декан инженерного факультета, канд. техн. наук, доцент;

Морозов В.В. – член совета, и.о. заведующего кафедрой «Электрификация», канд. физ.-мат. наук;

Соцкая И.М. – член совета, заведующий кафедрой «Технический сервис», канд. техн. наук, доцент;

Орлов П.С. – член совета, профессор кафедры «Электрификация», д-р техн. наук, доцент;

Шмигель В.В. – член совета, профессор кафедры «Электрификация», д-р техн. наук, профессор;

Ананьин Г.Е. – ответственный секретарь, специалист по учебно-методической работе деканата инженерного факультета, канд. пед. наук.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше; оперативная память 256 Мб и более; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10; разрешение экрана 1024x768 и выше; привод CD-ROM, мышь; дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

ISBN 978-5-98914-248-4

© ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2022
© Авторы статей, 2022

УДК 631.8

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ В MASTERSCADA 4D ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ БИОУДОБРЕНИЙ

Доцент Адакин Р.Д., к.т.н. Соцкая И.М., к.т.н. Дмитренко В.П., обучающийся Балыков И.А. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: биоудобрения, автоматизация производства биоудобрений.

В статье рассмотрены положительные свойства биоудобрений, проведено сравнение его свойств с навозом. Авторы предложили схему размещения ключевых зданий, технологическую схему производства биоудобрений с разделением готового удобрения на фракции жидкую и твердую. Разделение фракций необходимо для того чтобы не потерять при выгрузке на землю жидкую фракцию, поэтому по схеме рекомендуется ее отделять и направлять в емкость для дальнейшего использования. Авторы рекомендуют использовать данные удобрения в хозяйствах, где промышленные теплицы расположены вблизи с коровниками, свинарниками, курятниками. Навоз животных является сырьем для производства биоудобрений. Авторы разработали программу управления автоматизацией производства биоудобрений, работу которой можно посмотреть на youtube канале автора.

PROGRAM DEVELOPMENT IN MASTERSCADA 4D FOR AUTOMATED MANAGEMENT OF BIOFERTILIZER PRODUCTION

Docent Adakin R.D., Candidate of Technical Sciences Sotskaya I.M., Candidate of Technical Sciences Dmitrenko V.P., student Balykov I.A. (FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: biofertilizers, automation of biofertilizer production.

The article considers the positive properties of biofertilizers, compares its properties with manure. The authors proposed a scheme for the placement of key buildings, a technological scheme for the production of biofertilizers with the separation of the finished fertilizer into liquid and solid fractions. The separation of fractions

is necessary in order not to lose the liquid fraction when unloading to the ground, therefore, according to the scheme, it is recommended to separate it and send it to the container for further use. The authors recommend using these fertilizers in farms where industrial greenhouses are located near cowsheds, pigsties, chicken coops. Animal manure is a raw material for the production of biofertilizers. The authors have developed a program for managing the automation of the production of biofertilizers, the work of which can be viewed on the author's YouTube channel.

Биоудобрения восстанавливают почву, благоприятно влияют на рост культур и плодов [1, 2], поэтому многие компании производят и продают биоудобрения, так, например, китайская компания KiwaBio-Tech Products Group Corpпродает биоудобрения на несколько миллиардов долларов в год.

Сравним биоудобрения и навоз. В биоудобрении происходит максимальное сохранение азота, благодаря анаэробному сбраживанию, кроме того азот повышается на 10–15%. При хранении навоза, в нем происходит потеря азота до 50%.

В биоудобрениях при процессе сбраживания уничтожаются семена сорняков, в то время как в 1 тонне свежего навоза находится до 10 000 семян.

Азот жизненно необходим растениям для правильного развития, корневой системы, он положительно влияет на рост растений, а также улучшает обменные процессы, происходящие в растении, такие как синтез хлорофилла, усвоение витаминов. Недостаток азота может привести к неполноценному урожаю.

Производством биоудобрений занимаются различные компании, недостатков в производстве практически нет. Автоматизация производства заключается в поддержании заданных температур, проведение перемешивания материала с заданной частотой. Автоматизированных процессов загрузки, выгрузки материала и процесса сепарации не освещены в литературе. Поэтому вопрос о разработке программы автоматизации всех процессов приготовления биоудобрений является актуальным.

Ранее авторы разработали систему автоматизации АСУ для внесения биоудобрений в промышленные теплицы [3]. Был описан технический процесс, предложены установки и написана программа автоматизации для MasterSCADA 4D. Теперь авторы представляют дополнение к предыдущей разработке – программу управления и схему промышленного производства биоудо-

брений для промышленных теплиц, в случае, когда в хозяйстве содержаться КРС, свиньи, курицы. Создание производства биоудобрений на территории колхоза, является выгодным мероприятием, нежели закупать эти удобрения у других компаний. Причем лишние удобрения можно продавать в соседние хозяйства и частникам.

Предложенная схема размещения зданий показана на рисунке 1, идея заключается в том, чтобы здания для производства биоудобрений и теплицы расположить вблизи с коровниками, чтобы сократить транспортные перевозки и уменьшить потери биоудобрений, но при этом не нарушить транспортный подъезд к коровникам.

Рисунок 1 – Схема размещения зданий

Биоудобрения получают на биогазовых установках, процесс брожения осуществляется в закрытых емкостях с поддержанием температуры 37–38°С, рисунке 2.

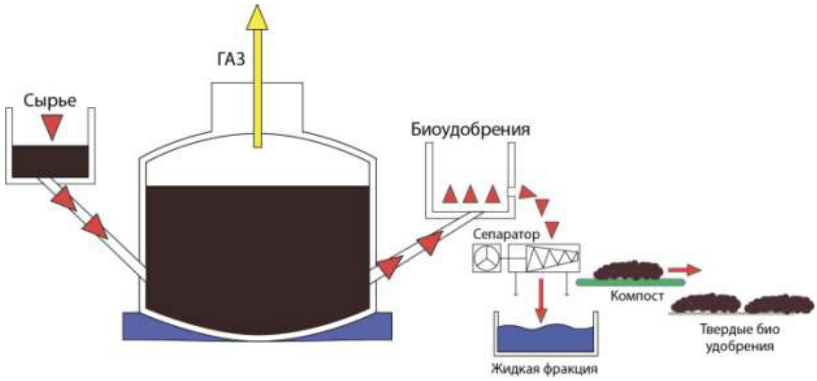

Рисунок 2 – Схема производства биоудобрений

Схема установки китайской разработки, показала себя в работе безотказно, но она не автоматизирована. Таких установок в Китае было установлено около 12 млн. В отличие от других установок в этой отсутствует мешалка, что напрямую сокращает потребление электроэнергии. Мешалка нужна для лучшего сбраживания при получении газа. В нашей задаче первостепенным является получение навоза, а газ получается как второстепенное сырье. К существующей бочке мы добавляем сепарацию удобрения, конвейеры, и АСУ которая управляет этими процессами, а также загрузкой/выгрузкой, поддержанием температуры в бочке.

Сырье загружается в лоток слева конвейером и самотеком поступает в закрытую бочку, в которой поддерживается постоянная температура. В среднем вызревание удобрения в бочке происходит 2–3 недели, программа проинформирует об этом, и по выбору может запустить процесс загрузки, а может представить это пользователю в ручном управлении. Затем при следующей загрузке навоза, из бочки естественным путем вытесняются уже готовые биоудобрения в лоток справа. Датчик улавливает, что происходит выгрузка удобрений и АСУ (автоматическая система управления) включает сепаратор, на который подается биоудобрение. Сепаратор отделяет жидкую фракцию удобрения от твердой. Твердая фракция направляется на конвейер. Биоудобрения хранятся в емкостях рядом с теплицей, а излишки упаковываются в мешки.

Жидкая фракция отделяется с целью сохранения ценного сырья. В случае, когда выгрузка удобрения будет произведена на землю, затемсобрать жидкую фракцию будет затруднительно, поскольку она будет потеряна. Поэтому жидкая фракция направляется насосом в емкость расположенную в промышленной теплице.Затем с помощью АСУ жидкое биоудобрение будет разбавлено до требуемой концентрации и направлено для внесения в почву к культурам по секторам.

В бочке образуется метан, который по стандартным технологиям выводится (стрелка наверх на рисунке 2) для дальнейшего использования.

Авторами была написана программа для MasterSCADA 4D на языке ST, которая управляет вышеописанными процессами. Работу программы можно посмотреть на ютуб-канале автора [4].

Выводы

Написана программа АСУ для управления процессами перемещения навоза и биоудобрений, поддержания заданной температуры 37–38°С, проведения сепарации. Программа позволяет оповестить пользователя о завершении процесса сбраживания биоудобрения и информирует о необходимости загрузки новой партии навоза. Показана предложенная схема размещения зданий теплиц, коровника и производства биоудобрений. Разработана технологическая схема промышленного автоматизированного производства биоудобрений.

Литература

1. Димитриев, А.В. Анализ технологий производства биоудобрений / А.В. Дмитриев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2006. – № 78. – С. 90–95.

2. Применение биоорганических удобрений на деградированных почвах, как один из методов улучшения почвенной микрофлоры и плодородия почв. – Бишкек, Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций и Общественным фондом «Центр обучения, консультации и инновации», 2018. – 23 с.

3. Несиоловский О.Г. Разработка алгоритмов энергосберегающего управления микроклиматом (полив, освещение, обогрев, вентиляция) в промышленных теплицах / О.Г. Несиоловский, Р.Д. Адакин, И.М. Соцкая // Совершенствование электротехнических установок и систем энергоснабжения в сельском хозяйстве: Сборник научных трудов по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Ярославская государственная сельскохозяйственная академия. Ярославль, 2021. С. 26–32.

4. Производство биоудобрений. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=KpN6PtNKKlM. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

УДК 629.056.8

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ В MASTERSCADA 3.12 ДЛЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Доцент Адакин Р.Д., к.т.н. Соцкая И.М.,
обучающийся Джерепа М.С.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: система ГЛОНАСС, СКАДА система на обслуживании транспорта, JPS.

В статье рассмотрены вопросы использования и функционирования системы ГЛОНАСС на предприятиях имеющих грузовые автомобили, тракторы, комбайны, автобусы, подключенные к этой системе. Система позволяет собирать информацию о местоположении техники, расходе топлива, пробеге и техническом состоянии. В целом это дает возможность выстраивать четкую логистику предприятия. Транспорт комплектуется передающей антенной и датчиками для считывания текущей информации с автотранспорта о состоянии его систем, состоянии груза. Информация с помощью антенны передается через спутники на сервер предприятия, где и происходит анализ информации и на ее основании вводятся корректировки в работу транспорта. Авторы разработали и предлагают программу, которая позволяет улучшить оперативный контроль над автотранспортом, используя систему ГЛОНАСС и JPS. Программа позволяет проводить дистанционную диагностику автотранспорта и выявлять неисправности систем прямо во время движения. Внедрение программы на предприятиях позволит сократить время простоя автотранспорта, не проводя стандартную диагностику сканером. Также программа помогает в проведении технического обслуживания (ТО) автотранспорта, путем своевременного оповещения механиков, подсказывая на какой транспорт требуется какое количество литров масла, какие используются расходники: фильтры, марки и коды.

DEVELOPMENT OF A PROGRAM IN MASTERSCADA 3.12 FOR WORKING WITH THE GLONASS SYSTEM DATABASE FOR PERFORMING MAINTENANCE OPERATIONS AND REMOTE DIAGNOSTICS OF TRUCKS

Docent Adakin R.D.,
Candidate of Technical Science Sotskaya I.M.,
student Dzherepa M.S.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: GLONASS system, SCADA system for transport maintenance, JPS.

The article discusses the use and functioning of the GLONASS system at enterprises with trucks, tractors, combines, buses connected to this system. The system allows you to collect information about the location of equipment, fuel consumption, mileage and technical condition. In general, this makes it possible to build a clear logistics of the enterprise. The transport is equipped with a transmitting antenna and sensors for reading current information from vehicles about the state of its systems, the condition of the cargo. The information is transmitted via the antenna via satellites to the enterprise server, where the information is analyzed and adjustments are made to the operation of transport on its basis. The authors have developed and propose a program that allows to improve operational control over vehicles using the GLONASS and JPS system. The program allows you to conduct remote diagnostics of vehicles and identify system malfunctions right while driving. The implementation of the program at enterprises will reduce the downtime of vehicles without performing standard diagnostics with a scanner. The program also helps in carrying out maintenance of vehicles, by timely notifying mechanics, suggesting which transport requires which number of liters of oil, which consumables are used: filters, brands and codes.

В настоящее время практически вся современная техника: грузовые автомобили, автобусы, тракторы, комбайны подключены к системам спутниковой связи – ГЛОНАСС и JPS, рисунок 1 [1–3]. Это позволяет управлять транспортом в автоматическом режиме без участия водителя [4], а также получать своевременную информацию о состояниях всех систем, груза вести анализ полученных данных, оперативный контроль и вводить корректировки

в работу автотранспорта. Например, в этом году был выпущен на поле российский комбайн Ростсельмаш имеющий возможность работать без участия водителя. Комбайн убрал зерно с поля и выгрузил его в автоматизированном режиме в прицеп трактора.

Рисунок 1 – Схема работы транспорта
с системами ГЛОНАСС и JPS

Авторы статьи предлагают разработанную программу, позволяющую дистанционно диагностировать автотранспорт, подключенный к системам ГЛОНАСС и JPS. Диагностика позволяет выявить неисправности на ранней стадии прямо во время движения техники. Водитель может и не догадываться, что на его транспорте в ЭБУ появилась ошибка, а механик на базе уже на компьютере увидит ее и примет оперативные меры, например, купит неисправную деталь. Когда автотранспорт приедет на базу и водитель отправится на отдых, в это время мастера уже зная о конкретной неисправности, заменятнеисправную деталь на новую. Водитель после отдыха направится в следующий рейс, таким образом, логистика предприятия не будет нарушена. А по стандартной схеме водителю пришлось бы отгонять машину на сервис для прохождения диагностики, и после определения неисправности – произвести закупку деталей, и затем затратить время на проведения ремонта. Внедрение программы на предприятиях позволит сократить время простоя автотранспорта.

Для получения таких возможностей авторы программы предлагают установить на транспорт сканеры и по системе спутниковой связи передавать информацию об ошибках на сервер предприятия. Наша программа распознает полученные ошибки и

переводит их в удобную форму для оповещения механиков. Главное окно программы показано на рисунке 2. В случае получения какой-либо ошибки в программе на соответствующей категории транспорта загорится красная лампочка.

Рисунок 2 – Главное окно программы

В диагностическом окне программы расположены: график расхода топлива, календарь, список автотранспорта требуемой пройти ТО, а также список автотранспорта, имеющий ошибки в ЭБУ. Данные коды ошибок, расшифрованы и выведены напротив соответствующего транспорта. Ранее авторами была представлена данная программа по проведению ТО автотранспорта, используя систему ГЛОНАСС [5]. Теперь авторы представляют усовершенствованную версию этой программы, которая определяет ошибки, возникающие при работе автотранспорта, и заблаговременно оповещает обслуживающий персонал.

На рисунке 3 видим, что у двух грузовых автомобилей VOLVO диагностированы ошибки 94 и 98. Соответственно одному из них требуется остановиться и проверить из-за чего произошла утечка масла и срочно добавить его до требуемого уровня. А второму – можно двигаться, но по приезде на базу нужно встать на ремонт.

Номер	Скорость, км/ч	Расход топлива, л/100 км	Пробег, км	Проведение ТО через 100000 км		Расходные материалы для проведения ТО	Пробег, км при ТО
А 486 ВА	64	18	500000		Обнулить ТО	Посмотреть	500000
Х 423 ОК 76	55	20	350000		Обнулить ТО	Посмотреть	250000
С 726 АВ 76	37	15	420000		Обнулить ТО	Посмотреть	350000
Т116 ВК 76	64	25	740000		Обнулить ТО	Посмотреть	700000

Номер	Скорость, км/ч	Расход топлива, л/100 км	Пробег, км	Код ошибки	Описание	Причина
У 316 АВ 76	55	20	420000	94	Давление подачи топлива	Высокая разность давлений
П 581 СО 76	37	36	550000	98	Уровень масла	Низкий уровень масла

Рисунок 3 – Диагностическое окно программы

Рассмотрим, как работает предлагаемая программа. На сервер предприятия, где установлена база данных системы ГЛОНАСС, устанавливается свой сервер и развертывается в нем база данных. Настраиваем копирование данных из одной базы в другую. В своей базе настраиваем таблицы и структуру процедур. Процедура – набор команд, которые требуется выполнить, как макрос. Процедурам присваиваем имена. В программе MasterSCADA 3.12, установленной также на компьютере загружаем эти процедуры и помещаем в соответствующие окна. Таким образом, MasterSCADA будет опрашивать базу данных и помещать в графических окнах информацию об автотранспорте.

Выводы

Была написана программа для дистанционного определения ошибок систем автотранспорта, позволяющая механикам в режиме движения транспорта принимать решения о важностях ошибок и направлять транспорт сразу на ремонт, в зависимости от серьезности отказа, либо по приезде на базу устранить неисправность, если отказ не критичен. Также программа помогает обслуживающему персоналу в прохождении ТО автотранспорта.

Литература

1. Технология глобальной спутниковой навигации: какие бывают системы, параметры и функции. – URL: https://habr.com/ru/company/promwad/blog/202722/

2. GPS vs ГЛОНАСС-мониторинг. – URL: https://aif.ru/boostbook/gps-i-glonass-monitoring.html

3. Спутниковые навигационные системы. – URL: https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/mai/sputnikov-navig-2004.pdf

4. Параллельное вождение и автопилоты для сельхозтехники. – URL: http://terrapoint.kz/news/section/35-parallelnoe-vozhdenie-i-avtopiloty-dlya-selkhoztekhniki/

5. Адакин, Р.Д. Разработка программы «Технический сервис» для предприятий, работающих с системой ГЛОНАСС и содержащих большой автопарк / Р.Д. Адакин, И.М. Соцкая // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 2 (54). – С. 93–98.

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА СВАРОЧНОГО РОБОТА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММ MASTERSCADA 4D, SOLIDWORKS, FLPROG

Доцент Адакин Р.Д., к.т.н. Соцкая И.М., к.т.н. Несиоловский О.Г., обучающийся Терещенко Р.И. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: сварочный робот, автоматизация сварки, горелка.

В статье рассмотрены виды сварочных роботов и принцип их работы. Сварочные роботы имеют очень высокую стоимость 2–4 млн руб., поскольку специально сварочных роботов не производят, а благодаря промышленному конвейеру изготавливают многозадачников для работ с фрезами, упаковывать товары, заниматься сортировкой, покраской, сваркой. Для таких задач робот должен обладать определенной грузоподъемностью из-за этого конструкция его утяжеляется, и сервомоторы применяются по 150–200 тыс. руб. за штуку.

Программное обеспечение с монтажом робота стоит около 1 млн руб., плюс зарплата специалиста по написанию сварочного пути для робота. Авторы разработали облегченного робота конкретно только для процессов сварки и написали для него

программное обеспечение для АСУ, в результате стоимость его снизилась в несколько десятков раз. Была проведена апробация работы программы, работу которой можно посмотреть на yuotube-канале автора.

DEVELOPMENT OF A WELDING ROBOT USING MASTERSCADA 4D, SOLIDWORKS, FLPROG PROGRAMS

Docent Adakin R.D.,
Candidate of Technical Sciences Sotskaya I.M.,
Candidate of Technical Sciences Nesiolovskiy O.G.,
student Tereshchenko R.I.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: welding robot, welding automation, burner.

The article discusses the types of welding robots and the principle of their operation. Welding robots have a very high cost of 2-4 million rubles, since they do not produce welding robots specifically, but thanks to an industrial conveyor, multitaskers are made for working with milling cutters, packing goods, sorting, painting, welding. For such tasks, the robot must have a certain load capacity because of this, its design becomes heavier, and servomotors are used for 150-200 thousand rubles apiece.

The software with the installation of the robot costs about 1 million rubles, plus the salary of a specialist in writing a welding path for the robot. The authors developed a lightweight robot specifically only for welding processes and wrote software for it for automated control systems, as a result, its cost decreased several dozen times. The work of the program was tested, the work of which can be viewed on the author's yuotube channel.

Роботизированная сварка – это сварка с использованием роботов, которые обеспечивают сварочный процесс, то есть перемещение сварочной горелки и вращение заготовки, рисунок 1 а.

Принцип работы роботов заключается в перемещении рукой робота сварочной горелки, рисунок 1 а.

В зависимости от того какой вид сварочного инструмента вставлен в руку робота различаютследующие виды сварочных роботов: лазерные, дуговые, точечные, плазменные, рисунок 2.

В зависимости от того кто перемещает горелку – робот или человек – сварочные автоматы называют роботизированной сваркой или полуавтоматом, при этом сварочный блок остается стандартным.

Горелка весит примерно 250 грамм, для ее перемещения не требуется такая усиленная конструкция робота, как представленная на рисунках 1–3. Стоимость среднего робота такой конструкции составляет 2–4 млн руб., и около 1 млн руб. стоит ПО и монтаж. К затратам еще относятся заработная плата специалиста, который будет писать программу для перемещения робота. Один только сервомотор стоит около 150–200 тыс.руб. по закупке, а таких двигателей нужно 6 шт. роботу и 2 шт. сварочному столу.

а) б)

Рисунок 1 – Работа сварочного робота: а) совместно со вращающимся столом; б) рука со сварочной горелкой

Рисунок 2 – Виды сварочных роботов

Рисунок 3 – Горелка полуавтомата

Почему роботы изготавливают такими мощными и дорогими? Дело в том, что их используют универсально на различных произ-

водствах. Если в руку робота вставить фрезу, он будет фрезерным станком, если поставить клешню – он упаковщик-сортировщик, может быть сборщиком ДВС, покрасчиком, кем угодно. Для этих задач он должен быть крепким, и меть некую грузоподъемность. Изготавливать отдельно сварочных роботов более облегченной конструкции попросту не выгодно, поскольку это такая специфика конвейерного производства – делать все одинаково, быстро и при этом взаимозаменяемые детали.

Поэтому наша работа, направленная на создание промышленного сварочного робота, но облегченного и стоимостью в несколько десятков раз дешевле – является актуальной задачей. Отсюда вытекает цель проекта – разработка промышленного облегченного сварочного робота и программного обеспечения.

Для выполнения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать 3D-модель сварочного робота в программе SolidWorks.
2. Разработать программу для MasterSCADA 4D.
3. Разработать программу для контроллера mega 2650 в программе FLProg
4. Настроить OPC-сервер.

3D-модель робота представлена на рисунке 4. Окна программы в для MasterSCADA 4D представлены на рисунке 5.

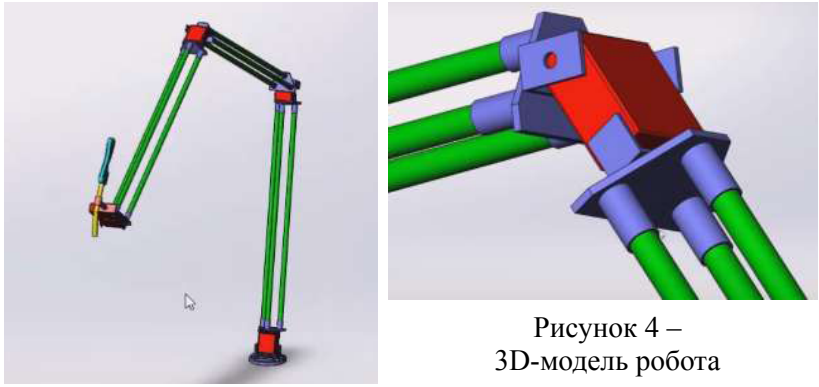

Рисунок 4 –
3D-модель робота

В основании установлен упорный подшипник. Робот имеет 6 степеней свободы, то есть вращается в 6 различных направлениях, что обеспечивает ему возможность проваривать различные труднодоступные участки. Вращение всех колен робота происходит

посредством работы сервомоторов. Трубки предлагаем использовать из прочного и легкого пластикового композитного материала – строительная арматура, диаметром 10 мм. Крепеж для арматуры возможно напечатать из прочного пластика на 3D-принтере.

MasterSCADA 4D – программа автоматической системы управления (АСУ), устанавливается на компьютере и управляет роботом через OPC-сервер и контроллер. Для нее была написана программа на языке программирования ST. Программа позволяет запомнить сварочный путь при нажатии на кнопку Start_Road, для этого необходимо перемещать горелку по требуемому сварочному пути. Затем необходимо нажать кнопку Start_Svar и робот повторит заданный путь, при этом он включит горелку и перемещаться будет несколько медленнее, для того чтобы метал успел прогреться и провариться. В программе предусмотрено введение сварочных коэффициентов, обеспечивающих требуемую задержку по времени. Робот имеет 6 степеней свободы, и использует сервомоторы на 20–25 кг силы плеча длиной 1 см, показанные на рисунке 6. Сервомоторы имеют двухступенчатый редуктор металлический. Стоимость разработанного робота составляет 70000 руб.

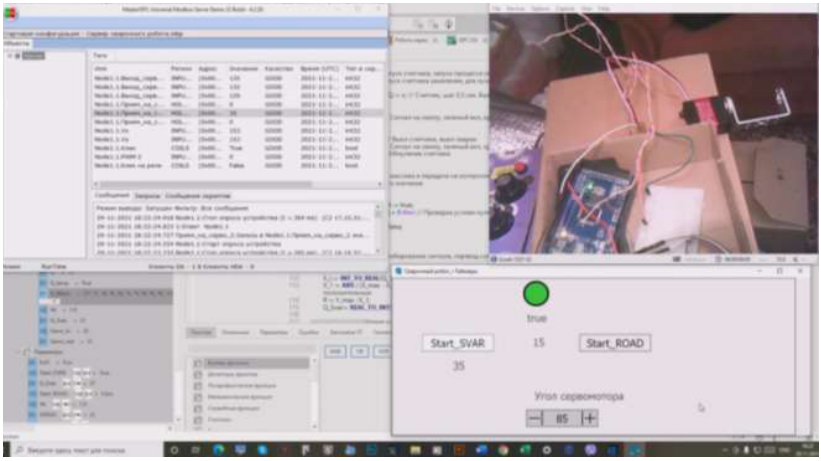

Рисунок 5 – Окна программы MasterSCADA 4D

Для оценки перемещения положения колен робота, нами был впаян четвертый провод (штатно их три – плюс, минус и управление) в потенциометр сервомотора. Данные положения углов каждого сервомотора записываются в программу, в последствие

робот воспроизводит их в более медленном темпе, для лучшего процесса сваривания деталей.

Рисунок 6 – Сервомотор

Посмотреть работу программы можно на youtobe канале автора [5].

Выводы

Была разработана 3D-модель сварочного робота, написана программа по автоматизированному управлению. Программа была апробирована на одном из сервомоторов и показала свою работоспособность. Для связи контроллера со Scada-системой был настроен OPC сервер, а также была написана программа в FLprog для контроллера 2650 с целью обеспечения двусторонней передачи данных по Modbas RTU протоколу.

Литература

1. Сварочные роботы. – URL: https://top3dshop.ru/blog/welding-robots-advantages-and-abilities.html/. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

2. Сварка роботами // Википедия (wikipedia.org)/. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

3. Роботы-сварщики. – URL: https://vektorus.ru/blog/svarochnyj-robot.html/. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

4. Описание и применение роботов для сварки. – URL: https://stroy-podskazka.ru/svarka/primenenie-robotov//. – Режим доступа: свободный (дата обращения: 19.12.2021).

5. Сварочный робот. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=T8dhRNIBEoU. – Режим доступа: свободный (дата обращения 19.12.2021).

УДК 620.193

ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ АВТОМОБИЛЕЙ

К.т.н. Дмитренко В.П., к.т.н. Карпов Д.С.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: автомобили, коррозия металла, защитные покрытия, антикоры, техническое обслуживание, контроль коррозии.

Коррозионная надежность автомобилей зависит от того, насколько строго в соответствии с научными рекомендациями будут подбираться, наноситься на поверхность металла защитные антикоррозионные покрытия. В настоящий момент ни предприятия-изготовители, ни сертифицированные технические центры, занимающиеся реализацией автомобилей, не несут какой-либо ответственности за коррозионную надежность. Потребитель, приобретая технику, сам пытается решать эти вопросы. Чтобы исправить эту ситуацию, необходимо в стандартах на автомобильную технику ввести требования степени защиты автомобилей от коррозии, которая будет указана в технических характеристиках автомобилей. Вопросы выбора типа защитного покрытия, технологии его нанесения, контроля качества покрытия в процессе эксплуатации, должны разрабатывать и реализовывать специалисты предприятия-изготовителя.

WAYS TO REDUCE CORROSION DAMAGE TO VEHICLES

Candidate of Technical Sciences Dmitrenko V.P.,
Candidate of Technical Sciences Karpov D.S.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: cars, metal corrosion, protective coatings, anticorrosion, maintenance, corrosion control.

The corrosion reliability of cars depends on how strictly, in accordance with scientific recommendations, protective anticorrosive coatings will be selected and applied to the metal surface. At the moment, neither manufacturers nor certified technical centers engaged in the sale of cars bear any responsibility for corrosion reliability. The consumer, when purchasing equipment, tries to solve these issues himself. To correct this situation, it is necessary to introduce

requirements for the degree of protection of cars from corrosion in the standards for automotive equipment, which will be indicated in the technical characteristics of cars. The issues of choosing the type of protective coating, the technology of its application, quality control of the coating during operation should be developed and implemented by the specialists of the manufacturer.

Время работы автомобилей и легковых, и грузовых, и автобусов до момента, когда появляется необходимость ремонта кузова, кабины из-за коррозии металла, может существенно отличаться. У некоторых автомобилей это может быть 8–10 лет, а у некоторых 2–3 года. Все зависит от степени защиты автомобиля от коррозии.

В стандартах РФ [1, 2] степень защиты автотранспорта от коррозии отсутствует. В первом ГОСТе приведена классификация условий хранения и эксплуатации автомобилей. Условия делят на 5 категорий от легких до особо тяжелых. Окружающие атмосферные условия делят на сельские, промышленные и морские. Во втором ГОСТе приведен перечень узлов и систем автомобилей, коррозия которых не допускается исходя из требований безопасности. Например, сквозные дыры вследствие коррозии пола в салоне автобуса не допускаются. Не допускается коррозия в узлах систем тормозов и управления, если она меняет характеристики этих систем. Не допускается коррозионное разрушение кузова, нарушающее внешние очертания и узнаваемость модели АТС.

Проблема защиты от коррозии не оговорена в стандартах, потому что это сложная, многоплановая проблема. Она может решаться только реализацией огромного комплекса мероприятий.

Механизм коррозии металлов хорошо изучен. Чтобы сделать более объективный анализ состояния этой проблемы, рассмотрим особенности протекания процесса коррозии стальных деталей автомобилей.

Механизм коррозии может быть химический и электрохимический. В присутствии влаги, кислорода и углекислого газа в результате окислительных процессов на поверхности стальных деталей образуется ржавчина Fe_3O_4 (или Fe_2O_3). Если в атмосферном воздухе отсутствует влага, то железо не корродирует. Но влага в окружающем воздухе есть всегда, поэтому под воздействием влаги и кислорода на поверхности железа образуются гидратированные оксиды железа $Fe_2O_3.nH_2O$, они пористые и хрупкие и разрушают поверхностный слой металла. Увеличение влажности, температуры и содержания кислорода в воздухе активизируют

окислительные процессы. Если во влаге присутствуют минеральные соли, кислоты и щелочи, то происходят химические реакции с образованием солей и окислов, которые разрушают поверхностный слой металла. Это механизм химической коррозии.

Электрохимическая коррозия связана с неоднородностью электродных потенциалов элементов поверхности и на поверхности должен быть электролит, тоесть водный раствор солей, кислот, щелочей, проводящий электрический ток. На стыке двух металлов с разными электродными потенциалами в присутствии электролита образуется гальваническая пара. Металл с меньшим значением электродного потенциала становится анодом, а с большим катодом. Разрушение идет только анодных участков. Поэтому сварочные швы всегда являются местами повышенной скорости коррозии.

Электродный потенциал – это разность потенциалов, возникающая между металлом и раствором его соли. Разные металлы имеют различные электродные потенциалы, но даже для одного и того же металла электродный потенциал поверхности может меняться в зависимости от деформации кристаллической решетки, происшедшей при обработке, в зависимости от напряжений, связанных с механическими нагрузками, в зависимости от наличия межкристаллических включений и пр.

Для изготовления автомобильных кузовов широко используется сталь 08кп. Это низкоуглеродистая сталь и структура ее поверхности представляет собой кристаллы железа и кристаллы примесей. Примеси являются положительными электродами, а кристаллы железа отрицательными. Поэтому при наличии на поверхности электролита вся эта поверхность является суммой большого числа гальванических элементов. Кстати, железо, используемое в электротехнике, содержит минимальное количество примесей, не более 0,15%. Электродный потенциал поверхности более равномерный и коррозия этого железа незначительная. Но такое железо имеет низкую прочность, что исключает применение его для изготовления автомобилей. Можно также отметить, что нержавеющие стали, легированные хромом и никелем, в основном представляют собой однородные твердые растворы, тоесть у них высокая равномерность электродного потенциала поверхности и к тому же хром и никель образуют прочную оксидную пленку. Поэтому окислительные и гальванические процессы в этих сталях не возникают.

Для гальванического процесса нужен электролит. Условия для появления электролита есть всегда. Автомобиль стоит на улице. Утром вся его поверхность оказалась покрыта влагой, потому что ночью температура окружающего воздуха была ниже точки росы. Влага насыщается вредными веществами, присутствующими в воздухе и на поверхности машины. Утром температура воздуха повышается и по мере испарения капель воды концентрация в них вредных веществ растет и они становятся растворами кислых электролитов.

Концентрация вредных веществ в атмосфере современных городов составляет значительные величины. Это оксиды углерода CO, оксиды азота NO, диоксиды азота NO_2, диоксиды серы SO_2, взвешенные частицы. Все это является следствием работы промышленных предприятий и работы автотранспорта. Авторы работы [3] приводят данные, опубликованные шведским институтом, который ведет исследования процессов коррозии автомобилей. Скорость разрушения стали в сельской местности в Швеции составляет 8 мкм, а в городах 30 мкм в год. Разрушение цинка в сельской местности 0,8 мкм, а в городах 5 мкм в год. Поэтому даже при стоянке автомобиля на улице создаются благоприятные условия для коррозии.

При эксплуатации автомобилей на поверхность металла воздействуют влага, пыль, дорожная грязь, выпускные газы, вредные соединения, находящиеся в атмосфере. В зимний период добавляются соли противогололедных средств. Кроме того, защитные покрытия металла повреждаются частицами песка, щебня, гравия. Условия для коррозии в этом случае становятся во много раз более благоприятными, чем при хранении автомобиля на открытой стоянке.

Кузов автомобиля состоит из большого числа деталей. Механически напряженный металл корродирует с большей скоростью, чем ненагруженный. Сварные швы, как уже указывалось, создают особо благоприятные условия для коррозии как за счет контрастов электродных потенциалов свариваемого металла и материала электродов, так и за счет напряжений, которые всегда появляются в зоне сварки. После изготовления в кузове образуется множество полостей, щелей, в которых скапливается грязь и влага. Скорость коррозии существенно зависит от времени, когда металлическая поверхность остается влажной. Внутренние поверхности коробов, порогов, щелей сохнут медленно. Соли про-

тивогололедных покрытий проникают во внутренние полости и создают сильный электролит. При повышении температуры скорость корродирования растет.

В теории коррозии рассматривают принцип дифференциальной аэрации. Неравномерный подвод воздуха к разным участкам поверхности создает условия, когда появляются зоны с разным содержанием кислорода. Это способствует появлению гальванических элементов. Конфигурация нижней части кузова может создавать такие условия. В перечне факторов, определяющих интенсивность коррозии стали, дифференциальная аэрация не является определяющей, но ее необходимо учитывать при проектировании кузова. Глухие зоны с ограниченным обдувом воздухом нежелательны.

Таким образом, повреждение металла происходит при совместном воздействии химических и электрохимических процессов коррозии, причем электрохимические процессы являются превалирующими. В легковых автомобилях и автобусах быстрее всего подвергаются коррозии кузов, поперечины, пороги, стойки, различные опоры, находящиеся под нагрузкой, кронштейны пружин, лонжероны, двери, днище кузова, ниши фар, крылья и бамперы. В грузовых автомобилях дополнительно к перечисленным разрушаются кабина, рама и некоторые другие элементы, обусловленные конструкцией изделия. Если поверхность кузова не защищена специальными покрытиями, то сквозные коррозионные разрушения могут появиться через 1,5–2,0 года эксплуатации. Полностью избавиться от коррозии невозможно, потому что разрушение металла под воздействием воды и воздуха – естественный процесс.

На рисунке 1 показан порог автомобиля ГАЗель. До сквозных дыр еще не дошло, но продольная жесткость нижней части кузова нарушена. Эксплуатировать такой автомобиль можно только с ограничением грузоподъемности.

Проблемы коррозии металлов являются одними из важнейших в мире. По разным данным от 10 до 15% производимого в год металла теряется вследствие коррозии. В разных отраслях деятельности эти проблемы решаются по разному. В автотракторной технике эти работы ведутся в два этапа. Первый – это работы, которые ведут производители техники, а второй – работы, которые должны вести владельцы техники в процессе ее эксплуатации. Производители при разработке конструкции автомобиля

пытаются уменьшить число мест в кузове, где может задерживаться влага. Если влага попала туда, она должна иметь возможность удалиться за счет формы узла и специальных отверстий. Вода, попадающая во внутренние полости дверей через уплотнения стекол, должна удаляться через отверстия в нижней части дверей. Важную функцию выполняют брызговики. При выборе материалов недопустимо совмещать материалы, которые подвержены контактной коррозии. Если позволяют нагрузки, то какие-то элементы кузова можно делать из высокопрочного пластика.

Рисунок 1 – Коррозия порога кабины автомобиля семейства ГАЗ

Очень важна технология нанесения защитных покрытий. Эффективность ее определяется научным уровнем самой технологии, точностью ее исполнения, выбором защитных покрытий. Как правило, предприятия не раскрывают тонкости этих технологий. Чтобы оценить сложность таких технологий, приведем материалы, указанные в работе [4] по защите кузова завода, выпускающего автомобили Volkswagen в Вольфсбурге. На металлический кузов наносят шесть слоев защиты. Первый слой – оцинковка толщиной 5–7 мкм. Второй слой – фосфатация толщиной 1–2 мкм. Зная особенности фосфатации, можно предположить, что ее делают для хорошего сцепления следующего покрытия. Фирма не раскрывает структуру этого покрытия, но оно является основным в защите от коррозии. Кузов постепенно погружается в

резервуар со специальным раствором и после подъема сушиться при температуре 180 градусов. Толщина этого покрытия 22 мкм. Затем следует покрытие – наполнитель, 35 мкм – это то, что мы называем грунтовкой. И далее покрытие, определяющее цвет 10–25 мкм, и наконец шестой слой – лак 40 мкм. Суммарная толщина этих покрытий 113–131 мкм. Такую технологию нанесения антикоррозионного покрытия называют «сзапечатыванием». И даже после такой сложной технологии на определенные поверхности автомобиля необходимо наносить антикоры, и в этом случае кузов автомобиля не будет ржаветь 10–12 лет, не более, но в процессе эксплуатации нужно постоянно контролировать состояние поверхностей на наличие коррозии и восстанавливать антикоррозионные покрытия.

Некоторые фирмы разработали строгий порядок обеспечения гарантии от коррозии автомобилей в период эксплуатации. Например для малотоннажных автомобилей «Мерседес Бенц» [5] гарантия 2 года эксплуатации без ограничения пробега. Дополнительная гарантия от коррозии кузова вначале предоставляется на период до первого планового техобслуживания, но техобслуживание должно проводиться у Дилера. При техобслуживании помимо выполнения регламентных работ предусмотрен тщательный осмотр кузова и, в случае необходимости, устранение повреждений лакокрасочного покрытия. С каждым проведенным у Дилера техобслуживанием гарантия возобновляется. Максимальный срок гарантии от сквозной коррозии этого автомобиля 12 лет от дня продажи.

В РФ предприятия, выпускающие автомобили, в лучшем случае ограничиваются оцинковкой кузова. Это очень эффективная мера, но недостаточная. Предприятия ссылаются на то, что наносить антикоры не позволяет жесткий ритм конвейера. Но они и не заинтересованы в том, чтобы автомобиль эксплуатировался 10–15 лет. Реализация автомобилей идет через сертифицированные технические центры, которые проводят предпродажную подготовку автомобиля и техническое обслуживание в течение гарантийного периода. Для большинства автомобилей ВАЗ гарантийный срок службы на узлы и детали 3 года, или 100 тыс. км пробега, и срок гарантии на все детали кузова от сквозной коррозии 6 лет.

Предпродажная подготовка может включать операции нанесения антикоров как обязательные. Но опыт показывает, что на-

несение покрытий для Дилера не является доходной операцией, поэтому Дилер выполняет эти работы на договорной основе на какой-либо фирме, где низкое качество работ и где используют самые дешевые расходные материалы для процесса (антикоры).

Таким образом, ни предприятия, выпускающие автомобили, ни технические центры, реализующие автомобили, не несут ответственности за защищенность автомобиля от коррозии. Ответственность перекладывается на владельца техники. Владелец автомобиля ищет фирму, которая качественно проводит подобные работы. Работники этой фирмы прежде всего снимают подкрылки, брызговики и удаляют уже нанесенный антикор. После чистки, мойки и сушки наносят антикоры, согласованные с владельцем. Обязательно снимают накладки дверей и наносят покрытия на внутренние поверхности. Подобный объем работ работники фирмы рекомендуют повторять каждые 2–3 года.

А вот рекомендации специалистов, которые эксплуатируют автомобили КамАЗ [6]. После приобретения нового автомобиля рекомендуется провести комплекс работ по защите от коррозии. Рекомендуется нанести антикоррозионные покрытия на пол кабины снаружи, на ниши колес, крылья, щитки подножек, брызговики. Чтобы обработать внутренние поверхности кабины рекомендуется снять обивку нижней стойки дверного проема, снять пластмассовую крышку люка, стеклоподъемники, стекла, форточки, механизм стеклоочистителей, верхнюю обивку задней части и обивку крыши и так далее. Для доступа к глухим поверхностям в стойках рекомендуется просверлить отверстия диаметром 7–10 мм.

Конечно, это ненормальная ситуация, когда собранную на заводе и принятую контролерами кабину потребитель вынужден разбирать, готовить поверхности к покрытию, наносить покрытия и все собирать. И если не сделать эти работы, через 2–4 года потребитель вынужден будет делать сложный трудоемкий кузовной ремонт. Поэтому потребитель не только выполняет эти работы, но и повторяет их каждые 3–4 года.

Наносить антикоры на определенные поверхности кузова – это обязательная операция. Без нее процесс коррозии будет развиваться со скоростью, зависящей от степени защиты при изготовлении. Но важно не иметь разрыва по времени между изготовлением и нанесением антикоров. При существующей в РФ схеме реализации после изготовления автомобили какое-то время стоят на площадке сбыта, затем их перевозят или перегоняют в техни-

ческие центры реализации, где они длительное время могут стоять на открытой площадке. Поверхности автомобиля за это время могут приобрести начальную и трудно контролируемую коррозию. Поэтому наносить антикоры нужно в процессе изготовления кузова и сборки автомобиля.

А теперь рассмотрим особенности характеристик антикоррозионных покрытий. В таких странах, как Германия, Швеция, Канада работают крупные научно-исследовательские фирмы, которые исследуют процессы коррозии автомобилей и разрабатывают мероприятия по защите. Они исследуют особенности протекания процесса коррозии разных металлов, определяют материалы, которые недопустимо совмещать из-за интенсивной контактной коррозии, оценивают эффективность покрытий таких как цинкование, хромирование, фосфатация и других. Они разрабатывают и производят антикоры для разных поверхностей и разных условий работы и оценивают их эффективность при проведении специальных испытаний. Рекомендациями этих фирм пользуются и производители и эксплуатационники. Для РФ эти рекомендации особо предпочтительны, поскольку условия эксплуатации в Швеции и Канаде близки к нашим по таким параметрам как влажность воздуха, продолжительность зимнего периода, использование противогололедных растворов и пр.

Для разных мест автомобиля рекомендуются разные антикоры. Для нанесения на внутренние поверхности скрытых полостей – порогов, коробов, дверных стоек желательно использовать антикоры с высокой проникающей способностью. Они должны заполнять все микротрещины и должны содержать большое количество ингибиторов коррозии, чтобы появившаяся коррозия не развивалась.

Для днища автомобиля рекомендуются антикоры на воско-битумной основе. Они обеспечивают снижение шумности и наносятся слоем 1,5–2 мм, не менее. Важное требование для них – не растрескиваться при низких температурах.

Для колесных ниш могут использовать антикоры, используемые для днища, но толщина наносимого слоя может быть 3–4 мм, чтобы обеспечить эффективное снижение шумности. Может применяться и антигравийный состав, который содержит в виде добавок пластик и синтетическую резину.

Для защиты внутренних поверхностей дверей оптимальным является сочетание промышленного клея и воска.

Для моторного отсека рекомендуется антикор на восковой основе. Опасные места под капотом – это чашки амортизационных стоек, площадка вблизи аккумулятора, алюминиевые детали. При нанесении антикоров на металлических поверхностях образуется прозрачная твердая пленка, устойчивая к кислотам и щелочам. Она должна сохранять свои свойства при повышении температуры до 200 градусов.

Общими требованиями для всех антикоров являются высокая адгезия к металлу и тиксотропность, тоесть способность при распыливании быть маловязкими, а в спокойном состоянии иметь высокую вязкость. Это облегчает процесс нанесения. Также нужно отметить, что некоторые антикоры не допускают наличие на поверхности других антикоров, то есть перед нанесением требуется удаление даже следов предыдущего покрытия.

Приведенные материалы показывают, что нанесение антикоров при производстве автомобилей является возможной и даже необходимой операцией технологического процесса. Специалисты предприятия должны определить какой вид антикоров целесообразно наносить на разные поверхности выпускаемых автомобилей.

Нанесение покрытий на внутренние поверхности скрытых полостей удобно делать после изготовления кузова перед началом сборки автомобиля. Преимущества – внутренние поверхности чистые, на них еще не успела образоваться ржавчина, и хорошая доступность. После нанесения антикоров через специальные отверстия эти отверстия нужно заглушить, что исключит подтекания. Двери собираются на отдельном участке и после монтажа необходимых систем и проверки их работоспособности на внутренние поверхности необходимо нанести покрытие. Покрытие на поверхности моторного отсека можно нанести в процессе монтажа систем,по крайней мере до установки аккумулятора. При нанесении покрытия на днище кузова и ниши колес необходимо учитывать, что некоторые узлы должны быть защищены от покрытия, поэтому техпроцес сборки должен учитывать последовательность операций сборки и нанесения покрытий. Для ускорения процессов сушки и полимеризации покрытий можно использовать камеры с повышенной температурой воздуха. И последняя операция – установка на колесные ниши подкрылок.

Опыт эксплуатации показывает, что самым слабым местом автомобиля с точки зрения коррозии являются колесные ниши. Вода, грязь, солевые растворы омывают эти поверхности, а песок и гравий с большой скоростью ударяют по ним. При любом виде покрытия вероятность повреждения его очень высока. Поэтому после нанесения покрытия эти поверхности закрывают защитными подкрылками. В большинстве случаев их устанавливают в технических центрах при предпродажной подготовке автомобилей. Изготавливают эти подкрылки фирмы, которые не несут ответственности за надежность автомобилей. Поэтому подкрылки могут плохо прилегать к поверхности крыла, они не закрывают наружную кромку крыла, крепятся они, как правило, саморезами к пластмассовым элементам бампера. На рисунке 2 показан типичный вариант установки подкрылка.

Рисунок 2 – Коррозия арки в случае нарушения правил установки защитных подкрылков

Учитывая важную роль защитных подкрылков, их конструкцию, изготовление и способ крепления должны разрабатывать конструкторы автомобиля и устанавливать их должен изготовитель автомобиля. Подкрылки должны стать неотъемлемой частью автомобиля. Даже выставочные образцы автомобилей должны быть с подкрылками.

В технических характеристиках автомобиля должны быть указаны марки антикоров, нанесенных на разные поверхности, и рекомендации по методам контроля качества покрытий и периодичности последующих работ по защите от коррозии.

В стандартах необходимо вместо «сквозных дыр от коррозии» указывать для разных поверхностей допустимый процент площади с зафиксированным началом коррозии.

Выводы

1. Стандарты РФ не предусматривают степень защиты автомобилей от коррозии.

2. Ни производители, ни технические центры, занимающиеся реализацией, не несут ответственности за коррозионную надежность автомобилей.

3. Эксплуатационная надежность автомобилей существенно зависит от степени защиты от коррозии применением антикоррозионных покрытий.

4. Для разных поверхностей автомобилей рекомендуются антикоры с разными характеристиками.

5. Рекомендуется выпускать автомобили с нанесением антикоррозионных покрытий непосредственно на предприятии.

6. Подкрылки, защищающие колесные ниши, должны быть неотъемлемой частью автомобиля, их конструкция, изготовление и крепление должны осуществляться на предприятии, производящем автомобили.

7. В технических характеристиках автомобилей должна быть указана степень защиты от коррозии и рекомендации по видам и периодичности применения защитных покрытий.

8. В стандартах необходимо изложить рекомендации по методам контроля коррозии деталей и узлов автомобилей.

Литература

1. ГОСТ 9.014–78. Единая система защиты от коррозии и старения. Временная противокоррозионная защита изделий. Общие требования.

2. ГОСТ Р 51709–2001 Автотранспортные средства. Требования безопасности и техническому состоянию и методы проверки.

3. « АБС Авто» декабрь 2015, Главная / Автомобили / Защита от коррозии. Почему ржавеют автомобильные кузова. – URL: https://abs-magazine.ru/article/pochemu-rzhavejut-avtomobilnye-kuzova-nemnogo-teorii-i-strashnaja-skazka-na-noch.

4. 5 причин, почему современные автомобили не ржавеют, 5 марта 2020 г. / Екатерина Демишева. – URL: https://www.autonews.ru/news/5e60be8b9a7947297df5 – 347 с.

5. Гарантия на автомобили Mercedes–Benz–АВИЛОН. – URL: https://avilon.ru/brands/mercedes-benz/guaranty/.

6. Рекомендации по защите кабины автомобиля КАМАЗ от коррозии. – URL: https://remont-gruzovikov.com.ua/rekomendacii-po-zashhite-kabiny-avtomobilya-kamaz-ot-korrozii/

УДК 621.431

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ В ГАРАНТИЙНЫЙ ПЕРИОД

К.т.н. Карпов Д.С., обучающийся Ладыгин М.С.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: двигатель, гарантийный срок, закономерности отказов.

В статье рассматриваются закономерности проявления отказов систем и механизмов двигателей. Методы математической статистики позволяют сделать теоретические обобщения и определить вероятностные закономерности. Теория надежности позволяет исследовать техническое состояние системы на всех стадиях жизненного цикла.

ANALYSIS OF ENGINE FAILURES DURING THE WARRANTY PERIOD

Candidate of Technical Sciences Karpov D.S., student Ladygin M.S.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: engine, guarantee period, patterns of failures.

The article discusses the patterns of manifestation of failures of systems and mechanisms of engines. Methods of mathematical statistics allow making theoretical generalizations and determining probabilistic laws. Reliability theory allows you to investigate the technical state of the system at all stages of the life cycle.

Объектом работы являлись неисправности двигателя ЯМЗ серии 534, возникающие в период гарантии.

Наблюдения выполнялись за 30 двигателями ЯМЗ серии 534.

Работа проводилась на базе ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» на основании данных ООО «ЯрКамп-Сервис».

Цель работы: проанализировать отказы двигателей ЯМЗ-534 в гарантийный период. Выявить, какие системы двигателя чаще всего выходят из строя. Определить в каких моделях двигателя чаще встречаются отказы и выявить самый надежный двигатель ЯМЗ серии 534.

Современный ритм диктует производителям транспортных

средств и агрегатов, входящих в их состав, условия по эксплуатационным характеристикам и экологичности [1].

ЯМЗ-534 – семейство рядных 4-цилиндровых дизельных и газовых двигателей производства ОАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод, далее ЯМЗ), входящего в состав «Группы ГАЗ», совместная разработка с австрийской инженерной компанией AVL List. Двигатели соответствуют требованиям Евро-4 и Евро-5.

В России стандарт Евро-5 действует на все автомобили с 1 января 2016 года. Нормы по выбросам: CH – до 0,05 г/км, CO – до 0,8 г/км и NOy – до 0,06 г/км.

Двигатели семейства ЯМЗ-534 предназначены для установки на перспективную автомобильную и автобусную технику «Группы ГАЗ» и «МАЗ», а также на бронеавтомобили российского производства [3].

Двигатель ЯМЗ-534 CNG – первый газовый двигатель Ярославского моторного завода. Входит в состав нового семейства четырехцилиндровых рядных двигателей ЯМЗ-534, соответствует требованиям Евро-5 – ТР ТС 018/2011, Правила ООН № 49-05В2 (G) – Euro 5.

В том, что газовые моторы ЯМЗ-534 CNG не потеряли мощности при работе на метане, велика заслуга схемы ГРМ с четырьмя клапанами на цилиндр, интеркулера и турбины.

Рисунок 1 – Двигатель ЯМЗ-534 CNG

Гарантийный срок двигателя устанавливается равным гарантийному сроку транспортного средства, на которое он установлен, при условии своевременного проведения технического обслу-

живания официальным сервисным центром ОАО «Автодизель». Обслуживание или ремонт, проведенные несертифицированным исполнителем работ, влекут за собой отказ завода от гарантийных обязательств.

Зачастую изготовители агрегатов и официальные сервисные центры, работая в направлении обнаружения и устранения недостатков, совместно проектируют методы улучшения конструкции агрегата и особенностей его работы. Таким образом, исследования наиболее характерных отказов и недостатков приводят к улучшениям в производстве – изменению конструкции или применению новых материалов [4].

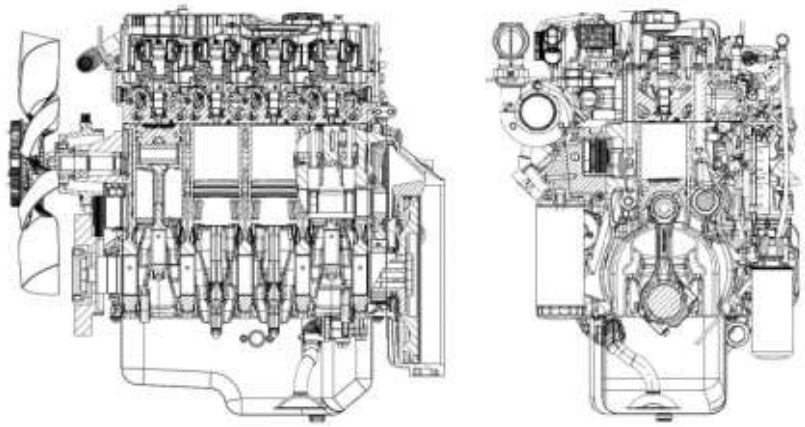

Рисунок 2 – Чертеж двигателя ЯМЗ-534 CNG

На основании данных ООО «ЯрКамп-Сервис», специализированном на гарантийном ремонте и техническом обслуживании автобусов и другой техники, по обращениям лиц, эксплуатирующих транспортные средства ПАЗ с двигателями ЯМЗ 534 серии, была составлена таблица 1. Из проведенного анализа таблицы 1 видно, что 60% всех обращений происходит из-за отказа двигателя по причине люфта крыльчатки, шкива водяного насоса (выход из строя подшипника) и 18% выход из строя турбокомпрессора.

Данные неисправности проявляются в виде:

– утечки антифриза со шкива водяного насоса двигателя;

– постороннего шума в ДВС.

Турбокомпрессор выходит из строя на пробеге в среднем

25 000 км, водяной насос (помпа) отказывает уже после 8 000 км.

В настоящее время заводом-изготовителем приняты меры по устранению данных неисправностей, что повлекло за собой ряд конструктивных изменений в проблемных деталях [5].

Таблица 1 – Распределение отказов

Наименование систем и механизмов	Доля отказов, %
Система питания	33
Система смазки	10
Система охлаждения	33
Газораспределительный механизм	3
Цилиндропоршневая группа	4,7
Кривошипно-шатунный механизм	7,6
Плотность соединений	17,4

Выявлено (таблица 1), что большинство отказов приходятся на топливную аппаратуру и систему охлаждения [6].

Водяной насос

Устройство и принцип действия водяного насоса

Насос (помпа) охлаждения двигателя – это часть системы, которая охлаждает нагретый двигатель. Без работоспособности системы или выхода со строя компонентов, двигатель может перегреться.

Водяной насос, или помпа, системы охлаждения двигателя обеспечивает циркуляцию жидкости через силовой агрегат к охладительным элементам, чем обеспечивает постоянную рабочую температуру внутри конструкции.

Турбокомпрессор

Устройство и принцип действия турбокомпрессора

Турбокомпрессор служит для увеличения давления топлива в коллекторе впуска и обеспечения максимального поступление кислорода в камеру, где происходит сгорание. Основное назначение турбины – значительное увеличение мощности двигателя. Даже увеличение давления на 1 атмосферу в коллекторе приводит к попаданию в двигатель двойной порции кислорода. Это позволяет даже небольшому двигателю отдавать такую мощность, как вдвое больший его аналог, но не оснащенный турбонаддувом [7].

Таблица 2 – Пробег двигателей ЯМЗ серии 534 в порядке нарастания

№ п/п	Пробег, км	Двигатель	Модель
1	502	ЯМЗ– 534230	320412-04
2	2753	ЯМЗ– 534140	320412-14
3	3658	ЯМЗ– 534210	423470-04
4	8343	ЯМЗ– 534430	320405-04
5	8545	ЯМЗ– 534230	320412-04
6	9217	ЯМЗ– 534230	320412-04
7	11382	ЯМЗ– 534140	320412-14
8	11900	ЯМЗ– 534140	320412-14
9	13382	ЯМЗ– 534230	320412-04
10	14468	ЯМЗ– 534430	320405-04
11	15287	ЯМяЗ– 534230	320414-04
12	16004	ЯМЗ– 534430	320405-04
13	16203	ЯМЗ– 534140	320412-14
14	16358	ЯМЗ– 534230	320412-04
15	16803	ЯМЗ– 534140	320412-14
16	19390	ЯМЗ– 534230	320412-04
17	19597	ЯМЗ– 534430	320405-04
18	23450	ЯМЗ– 534140	320412-14
19	24999	ЯМЗ– 534140	320412-14
20	24999	ЯМЗ– 534140	320412-14
21	26259	ЯМЗ– 534230	320414-04
22	27371	ЯМЗ– 534230	320414-04
23	37415	ЯМЗ– 534110	320412-04
24	38879	ЯМЗ– 534230	320414-04
25	38879	ЯМЗ– 534230	320414-04
26	38879	ЯМЗ– 534230	320414-04
27	41317	ЯМЗ– 534230	320414-04
28	44716	ЯМЗ– 534430	320405-04
29	69700	ЯМЗ– 534240	320402-14
30	69700	ЯМЗ– 534240	320402-14

В таблице для наглядности строки выделены разными цветами в зависимости от марки и модели двигателя.

В ходе работы мы выяснили, что наименьшее число поломок при пробеге свыше 25000 км наблюдается у двигателей ЯМЗ-534230 модель 320414-04 и ЯМЗ-534240 модель

320402-14, которые можно признать самыми надежными двигателями ЯМЗ серии 534.

Таблица 3 – Статистический ряд информации

Интервал	502… 12035	12035… 23568	23568… 35101	35101… 46634	46634… 58167	58167… 69700
Частота m_i	8	10	4	6	0	2
Опытная вероятность P_i	0,27	0,3	0,13	0,2	0	0,1
Накопленная опытная вероятность $\sum P_i$	0,27	0,57	0,7	0,9	0,9	1
Середина интервала	6268,5	17801,5	29334,5	40867,5	52400,5	63933,5

Заключение

Двигатели производства ОАО «Автодизель» ЯМЗ-534 широко используются в отечественном автомобильном транспорте. Двигателями этой серии комплектуют как автобусы ПАЗ, КАВЗ, так и среднетоннажные грузовые автомобили (ГАЗ, МАЗ). Тем не менее, чаще эти двигатели мы встречаем на автобусах марки ПАЗ.

Полученные данные обрабатывались статистически-корреляционными методами согласно [2].

В связи с этим в ходе выполнения работы был проведен анализ отказов двигателя в гарантийный период, на основании которого выбраны наиболее часто встречающиеся неисправности: люфт крыльчатки, шкива водяного насоса (выход из строя подшипника); выход из строя турбокомпрессора, разрушение колеса и корпуса.

Также в ходе работы мы выяснили, что наименьшее число поломок при пробеге свыше 25000 км наблюдается у двигателей ЯМЗ-534230 модель 320414-04 и ЯМЗ-534240 модель 320402-14, которые можно признать самыми надежными двигателями ЯМЗ серии 534.

Литература

1. Двигатели ЯМЗ-5340, ЯМЗ-5341, ЯМЗ-5342, ЯМЗ-5344. Руководство по эксплуатации. – Ярославль, 2014. – 161 с.

2. Методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплинам «Надежность технических систем» и «Надеж-

ность и ремонт машин» для студентов заочной формы обучения направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» (профили «Технический сервис в АПК», «Машины и оборудование в агробизнесе») / И.М. Соцкая, Д.В. Филинов, М.А. Вашурина. – Ярославль: ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2015. – 56 с.

3. Газовые двигатели ЯМЗ-53414, ЯМЗ-53424, ЯМЗ-53444 и их комплектации. Руководство по эксплуатации. – Ярославль, 2019. – 244 с.

4. https://www.ymzmotor.ru (дата обращения: 25.11.2020).

5. https://din76.ru (дата обращения: 01.02.2021).

6. https://avtodvigateli.com/ (дата обращения: 25.11.2020).

7. https://avto-partner.net/ (дата обращения: 25.11.2020).

УДК 665.765

К ВОПРОСУ УХУДШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАСЕЛ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДВС

Преподаватель специальных дисциплин Козлов А.А.
(ОГАПОУ УАвиак-МЦК, Ульяновск, Россия);
к.т.н. Молочников Д.Е.; к.т.н. Яковлев С.А.
(ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, г. Ульяновск, Россия)

Ключевые слова: двигатель, масло, загрязнения, очистка, наработка.

В статье рассмотрены вопросы снижения эксплуатационных свойств масел в процессе их использования в ДВС, рассмотрена природа образования загрязнений. Теоретически доказано, что с увеличением количества прокачек в единицу времени уровень концентрации механических примесей в масле будет уменьшаться.

ON THE ISSUE OF REDUCING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF OILS IN THE PROCESS OF THEIR USE IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Teacher of special disciplines Kozlov A.A.
(OGAPOU UAviak-MCK, Ulyanovsk, Russia);
Candidate of Technical Sciences Molochnikov D.E.;
Candidate of Technical Sciences Yakovlev S.A.
(FSBEI HE Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia)

Keywords: engine, oil, pollution, cleaning, operating time.

The article discusses the issues of reducing the operational properties of oils in the process of their use in the internal combustion engine, the nature of pollution formation is considered. It is theoretically proved that with an increase in the number of pumps per unit of time, the concentration level of mechanical impurities in the oil will decrease.

Окисление масла является основной причиной образования смол и различного рода углеродистых отложений в виде нагара, лаков и осадков. Через зазоры между цилиндром, поршнем и поршневыми кольцами масло из системы смазки проникает в камеру сгорания. Часть масла успевает вернуться обратно в картер, часть попадает в зону высокой температуры, где частично сгорает, а частично обугливается, образуя кокс и сажу; некоторое количество масла покрывает днище поршня в виде тонкой пленки [1–5]. Со временем толщина пленки увеличивается, вызывая перегрев поршней, нарушая нормальную работу двигателя. Значительное влияние на износ трущихся деталей двигателя оказывают находящиеся в масле и циркулирующие с ним абразивные частицы минерального происхождения (песок, почвенная пыль). Продукты старения масла и абразивные частицы со временем накапливаются, что вызывает необходимость их снижения. Одним из важнейших факторов, способствующих снижению количества примесей в масле, является непрерывная очистка работающего масла непосредственно на двигателе.

Анализ литературных данных показывает [6–8], что масло при нормальных условиях интенсивно загрязняется в первые 80–120 часов работы. Затем количество продуктов загрязнения стабилизируется с некоторыми колебаниями на определенном уровне. На уровень концентрации механических примесей влияют главным образом следующие факторы: состояние фильтрующих элементов, техническое состояние двигателя, производительность насоса, объем картера двигателя [9–11].

При оценке системы очистки нужно иметь в виду, что низкий уровень механических примесей может говорить о хорошей работе очистительных элементов системы, в то же время изношенный двигатель также будет способствовать снижению общего уровня концентрации примесей в масле за счет увеличения числа доливок.

Система очистки картерных масел тракторов представляет собой замкнутый контур. Процесс очистки масла в этом контуре

характеризуется уравнением баланса динамики поступления механических примесей, которое имеет вид [12–15]:

$$Q_1C_1 + Q_2C_2 - Q_cC_c = V\frac{dC_c}{dt}, \quad (1)$$

где Q_1, Q_2, Q_c – соответственно скорость прохождения масла через фильтр грубой очистки, масляный насос, л/час;

C_1, C_2, C_c – соответственно количество примесей, проходящих с литром масла через фильтр грубой очистки, центрифугу, масляный насос, г/литр;

V – объем картера;

$\frac{dC_c}{dt}$ – скорость нарастания примесей в картере двигателя.

Поделив каждый член уравнения (1) на Q_c, получим

$$\frac{Q_1}{Q_c} = K_1, \frac{Q_2}{Q_c} = K_2, \frac{V}{Q_c} = K_3, \quad (2)$$

и обозначив $C_1 = X_1$; $C_2 = X_2$; $C_c = Y$.

$$K_1X_1 + K_2X_2 - Y = K_3\frac{dY}{dt}. \quad (3)$$

Преобразовав уравнение (3)

$$K_3\frac{dY}{dt} + Y = A,$$

,

или

$$y = A(1 - e)^{\frac{-t}{K_3}},$$

где $\frac{t}{K_3}$ – количество прокачек за время работы масла в ДВС, ч;

K_3 – время, затрачиваемое на одну прокачку масла, ч.

С увеличением количества прокачек в единицу времени уровень концентрации механических примесей в масле будет уменьшаться. Снижение уровня концентрации механических примесей может быть достигнуто путем повышения производительности насоса или уменьшения объема картера.

Литература

1. Уханов, А.П. Автомобильные двигатели и автомобили. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие

/ А.П. Уханов, Д.А. Уханов, П.Н. Аюгин, Д.Е. Молочников, Р.К. Сафаров, Н.П. Аюгин; под ред. А.П. Уханова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск, 2012. – 351 с.

2. Данилов, А.С. Лабораторный практикум по испытаниям двигателей внутреннего сгорания и топливным насосам высокого давления / А.С.Данилов, П.Н. Аюгин, Р.К. Сафаров, Д.Е Молочников.– Ульяновск, 2011. – 91 с.

3. Аюгин, П.Н. Лабораторный практикум по изучению и испытанию тракторов и автомобилей / П.Н. Аюгин, Д.Е. Молочников. – Ульяновск, 2011. – 44 с.

4. Аюгин П.Н. Улучшение эксплуатационных характеристик дизеля / П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин, Д.Е. Молочников, Р.К. Сафаров // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения:материалы VI Международной научно-практической конференции. – Ульяновск, 2015. – С. 157–159.

5. Влияние магнитного поля на скорость осаждения частиц в фильтре / Е.Г. Кочетков, Ю.М. Исаев, С.Н. Илькин, Ю.А. Лапшин, Д.Е. Молочников // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Пенза: ПГСХА, 2005. – с. 113–116.

6. Улучшение экологичности автотракторных двигателей / Е.С. Цилибин, Ю.С. Тарасов, В.А. Голубев, Д.Е. Молочников // Молодежь и наука XXI века: материалы III-й Международной научно-практической конференции.– Ульяновск, 2010. – С. 145–149.

7. Патент № 59447 РФ. Устройство для очистки диэлектрических жидкостей: № 2006108222/22: заявл. 15.03.2006: опубл. 27.12.2006/ В.М.Ильин, Д.Е.Молочников, Л.Г. Татаров; заявитель УлГАУ. – Бюл. № 36.

8. Патент № 87926 РФ. Фильтр-отстойник: № 2009103326/22: заявл. 02.02.2009: опубл. 27.10.2009 / Ю.С. Тарасов, Л.Г. Татаров, Д.Е. Молочников; заявитель УлГАУ. – Бюл. № 30.

9. Молочников Д.Е. Способ очистки диэлектрических жидкостей от механических примесей и воды / Д.Е. Молочников, Н.П. Аюгин, В.А.Голубев, Р.К. Сафаров // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VI Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: УГСХА, 2015.– С. 174–176.

10. Аюгин П.Н. Исследование процесса сгорания топлива в дизельном двигателе в зимних условиях / П.Н. Аюгин,

Н.П. Аюгин, Р.Ш. Халимов, Р.К. Сафаров, Д.Е. Молочников, В.А. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 8. – С. 20–23.

11. Молочников, Д.Е. К вопросу определения ресурса топливных фильтров / Д.Е. Молочников // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: материалы III Международной научно-практической конференции, 25-26 мая 2017. – Донецк, 2017. – С. 48–50.

12. Глущенко, А.А. Испытания автомобилей и тракторов: учебное пособие для студентов инженерного факультета / А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников, И.Р. Салахутдинов, Е.Н. Прошкин. – Ульяновск: УлГАУ, 2018. – 384 с.

13. Глущенко, А.А. К вопросу очистки отработанных масел от нерастворимых примесей в гидроциклоне / А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, И.Н. Гаязиев // Вестник Казанского ГАУ. – 2018. – № 3 (50). – С. 81–84.

14. Теоретическое обоснование влияния геометрических параметров цилиндро-конического гидроциклона на степень очистки отработанных смазочных масел от нерастворимых примесей / А.Н. Зазуля, А.А.Глущенко, Д.Е. Молочников, М.А. Карпенко, Г.В. Карпенко // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 116–123.

15. Влияние загрязнения масла на надежность и долговечность двигателя / М.М. Замальдинов, С.А. Яковлев, Д.Е. Молочников, М.Р. Календаров, Ю.М. Замальдинова // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чувашская ГСХА, Чебоксары, 2019. – С. 221–226.

УДК 621.436

СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДАЧИ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ УСИЛИТЕЛЕМ ДАВЛЕНИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ

Аспирант Ладыгин А.С.; д.т.н. Орлов П.С.
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия);
к.т.н. Перепелин А.П.
(ФГБОУ ВО Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия);
д.т.н. Шкрабак В.С.
(ФГБОУ ВО СПбГАУ, Санкт-Петербург, Россия)

Ключевые слова: топливная аппаратура, давление впрыска, дифференциальный поршень, усилитель давления топлива.

Данная статья посвящена системе топливоподачи с гидравлическим усилителем давления впрыскивания

FUEL SUPPLY SYSTEM WITH HYDRAULIC INJECTION PRESSURE BOOSTER

Postgraduate Ladygin A.S.; Doctor of Technical Sciences Orlov P.S.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia);
Candidate of Technical Sciences Perepelin A.P.
(FSBEI HE YSTU, Yaroslavl, Russia);
Doctor of Technical Sciences Shkrabak V.S.
(FSBEI HE SPb SAU, Saint-Petersburg, Russia)

Keywords: fuel equipment, injection pressure, differential piston, fuel pressure booster.

This article is devoted to the fuel supply system with hydraulic injection pressure booster.

Непрерывное повышениетехнического уровня дизельной топливной аппаратуры в последнее десятилетие вызывается постоянно ужесточающимися нормами на выбросы вредных веществ (ВВ) двигателями. Для уменьшения образования ВВ при сохранении экономичности дизелей требуется повышение давления впрыска. Поэтому топливные системы (ТС) дизелей развиваются в направлении увеличения создаваемого ими давления до 250…300 МПа. Величина максимально развиваемого давления характеризует достигнутый технический уровень [1, 2].

Цель системы топливоподачи сгидравлическим усилителем давления впрыскивания – снижение давления топлива в топливопроводе высокого давления, соединяющем форсунку с аккумулятором и повышение давления топлива в форсунке для улучшения процесса смесеобразования без усложнения конструкции топливной системы.

Поставленная цель достигается тем, что корпус усилителя давления топлива выполнен в отдельном корпусе, соединяющем топливный аккумулятор и форсунку.

Преимущество даннойсистемы топливоподачи с гидравлическим усилением заключается в простоте конструкции топливной системы, позволяющей при существенно меньшем давлении в топливопроводе высокого давления значительно повысить давление впрыска топлива, а также управлять формой характеристики впрыска.

Известны системы подачи топлива к форсунке двигателя, показанные в заявках №№ 2543926, 2545020, опубликованных в РФ, однако, в данных устройствах усилитель давления топлива выполнен в головке цилиндров двигателя, что требует изготовления дополнительных приспособлений для установки усилителя и усложняет конструкцию двигателя.

Задача– снижение давления в топливопроводе высокого давления, соединяющем аккумулятор с форсункой и повышения давления впрыскивания топлива в форсунке для улучшения процесса смесеобразования и тем самым горения топлива без усложнения конструкции форсунки и топливной системы в целом.

Решение задачи снижения давления в топливопроводе высокого давления и повышения давления впрыскивания топлива в форсунке обеспечено тем, что в системе топливоподачи усилитель давления топлива расположен в отдельном корпусе, соединяющем аккумулятор и форсунку.

При таком выполнении усилителя давления топлива в топливопроводе высокого давления существенно снижается давление топлива, а в форсунке давление впрыскивания топлива значительно повышается. При этом созданнаясистема топливоподачи с гидравлическим усилением давления впрыскивания имеет простую и надежную конструкцию.

На рисунке 1 представлена схема системы топливоподачи с гидравлическим усилителем давления впрыскивания (ГУВ).

Система топливоподачи с гидравлическим усилителем давления впрыскивания содержит усилитель давления впрыскивания топлива1 и форсунку 10.В усилителе давления топлива 1 расположен подпружиненный дифференциальный поршень 3, имеющий дроссельное отверстие 4, соединяющее надпоршневую полость 2 с подпоршневой полостью 5 для заполнения последней топливом. Канал для подвода топлива 6 от аккумулятора к форсунке 6, в котором находится обратный клапан 7, предотвращающий утечки топлива из камеры высокого давления 14 обратно в аккумулятор. Сливной канал 8, соединяющий подпоршневую полость 5 с электромагнитным клапаном для слива топлива 9. Форсунка 10 снабжена электромагнитным клапаном 11, управляющим подъемом иглы 12 распылителя для подвода топлива в полость 13 под иглой распылителя.

Из топливного бака топливо поступает к топливному насосу высокого давления, который создает давление в аккумуляторе.

Топливо под давлением аккумулятора поступает по топливопроводу высокого давленияв надпоршневую полость 5, камеру высокого давления 14, полость 13 под иглой 12 распылителя и через дроссельное отверстие 4 подпоршневую полость 5.

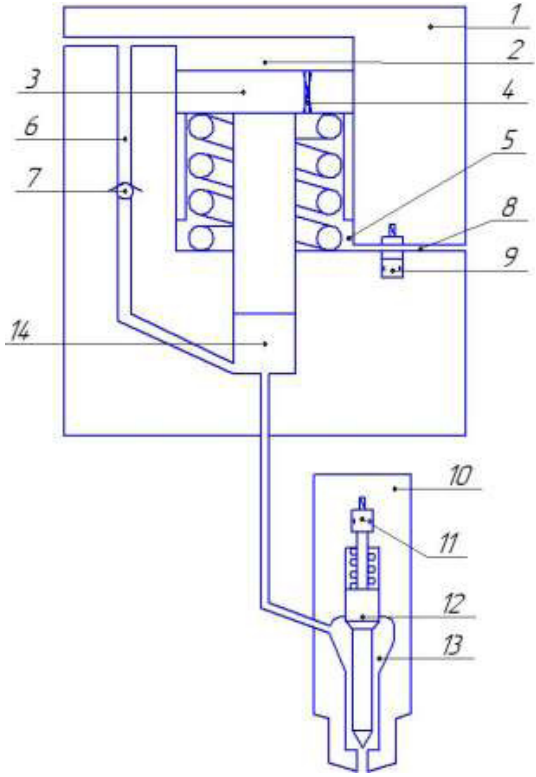

Рисунок 1 – Система топливоподачи с гидравлическим усилителем давления впрыскивания

При закрытом электромагнитном клапане для слива топлива 9 подпружиненный дифференциальный поршень 3 и игла 12 распылителя неподвижны.

При активации электромагнитного клапана 11, управляющего подъемом иглы 12 распылителя в форсунке 10, производится впрыскивание топлива через распылитель в цилиндр двигателя под давлением, равным давлению в топливном аккумуляторе.

При необходимости повышения давления топлива при большой нагрузке двигателя производится активация электромагнитного клапана для слива топлива 9 и происходит слив топлива из подпоршневой полости 5 через сливной канал 8. Вследствие этого

давление в подпоршневой полости 5 понижается, и подпружиненный дифференциальный поршень 3 под действием давления на него со стороны аккумуляторасжимает топливо в камере высокого давления 14 до более высокого давления, которое подается в полость 13 под иглой 12 распылителя. При этом под действием высокого давления закрывается обратный клапан 7 для предотвращения утечки топлива обратно в аккумулятор. При подаче сигнала на электромагнитный клапан 11 форсунки производится впрыскивание в цилиндр двигателя порции топлива под высоким давлением, превышающем давление в топливном аккумуляторе.При отключении электромагнитного клапана 11 форсунки впрыскивание топлива в цилиндр двигателя через распылитель прекращается. Затем прекращается активация электромагнитного клапана для слива топлива 9, сливной канал 8 закрывается, давление в подпоршневой полости 5 возрастает, и подпружиненный дифференциальный поршень 3 возвращается в исходное положение [3].

Такая система топливоподачи с гидравлическим усилителем давления впрыскивания топлива в форсунку позволяет снизитьдавление в топливопроводе высокого давления и повысить давление впрыскивания топлива. При этом не усложняется конструкция топливной системы. Снижение давления топлива в топливопроводе высокого давления повышает надежность системы топливоподачи, т.к. высокое давление действует только в усилителе и в форсунке.

Для определения рационального сочетания конструктивных и регулировочных параметров форсунок с гидроусилителем разработаны математические модели и программы расчета, позволяющие оценивать их рабочий процесс при различных характеристиках впрыскивания.

Расчетные модели основаны на общепринятых допущениях: процессы в топливных системах адиабатические, плотность и скорость звука зависят от давления и температуры, движение топлива в топливопроводах принимается одномерным, давление в акустически коротких объемах в текущий момент времени одинаково во всех точках.

При расчетном анализе оценка форсунки с гидроусилителем проводилась по управляемости формой характеристики впрыскивания.

Общим для математических моделей топливных систем является учет волнового характера движения топлива в топливопроводах.

Неустановившееся одномерное движение топлива в топливопроводах, соединяющих аккумулятор с электроуправляемой форсункой и сТНВД, описывается следующими уравнениями:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho c)}{\partial x} = 0; \tag{1}$$

$$\frac{\partial (\rho c)}{\partial x} + \frac{\partial (P + \rho c^2)}{\partial x} = -\rho \frac{\lambda |c|}{2 d_T} c, \tag{2}$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления единицы длины топливопровода.

Эти уравнения решаются численным методом С.К.Годунова, совместно с уравнениями граничных условий, описывающих процессы в аккумуляторе, электроуправляемой форсункой, ТНВД.

Уравнения граничных условий у электроуправляемой форсунки с гидроусилением.

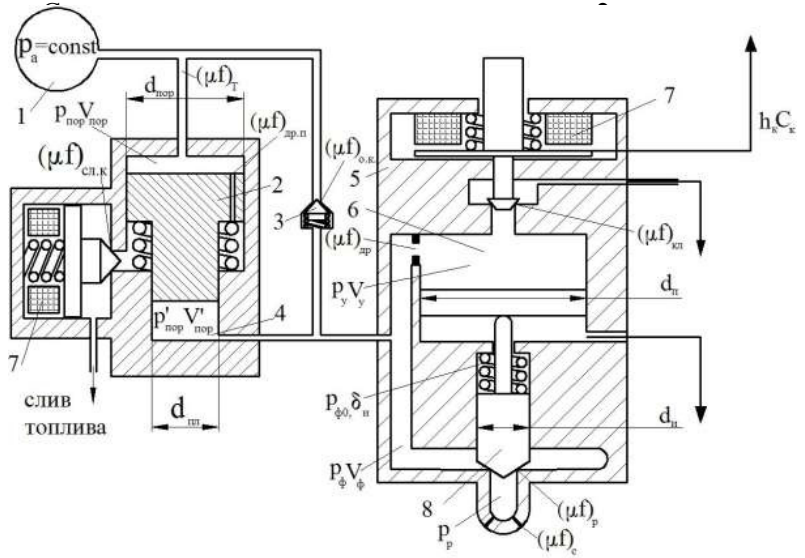

Рисунок 2 – Схема для расчета ТС с ГУВ

В качестве граничных условий у форсунки необходимо взять уравнения неразрывности течения в полостях и уравнения движения подвижных масс.

Уравнение неразрывности течения в полости над поршнем гидроусилителя и примыкающей к ней области:

$$\alpha V_{\text{ф}} \frac{dP_{\text{пор}}}{dt} =$$
$$f_T c'_T - f_{\text{пор}} c_{\text{пл}} - \mu_{\partial P_{\text{п}}} \cdot f_{\partial P_{\text{п}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{\text{пор}} - P_{\text{ф}}} - \\ - \mu f_{\text{ок}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{\text{пор}} - P_{\text{ф}}} \quad (3)$$

Уравнение неразрывности течения в полости распылителя записывается в виде:

$$\alpha V_{\text{ф}} \frac{dP_{\text{ф}}}{dt} = \mu_{\text{ок}} \cdot f_{\text{ок}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{\text{пор}} - P_{\text{ф}}} + f_{\text{пл}} \cdot c_{\text{пл}} - \\ - \mu f_{\text{р}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{\text{ф}} - P_{\text{ц}}} - f_u \cdot c_u \quad (4)$$

Уравнение неразрывности течения в полости под поршнем можно записать в виде:

$$\alpha V'_{\text{пор}} \frac{dP'_{\text{пор}}}{dt} = \left(f_{\text{пор}} - f_{\text{пл}}\right) \cdot c_{\text{пл}} + \mu_{\partial P_{\text{п}}} \cdot f_{\partial P_{\text{п}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{\text{пор}} - P'_{\text{пор}}} - \\ - \mu f_{\text{сл.к}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P'_{\text{пор}} - P_{\text{сл}}} \quad (5)$$

Уравнение неразрывности течения топлива в камере управления:

$$\alpha V_y \frac{dP_y}{dt} = \mu f_{\partial P} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{\text{ф}} - P_y} + f_{\text{пл.}u} \cdot c_{\text{п}} - \mu f_{\text{к}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_y - P_{\text{сл}}} \quad (6)$$

Уравнение для расчета давления впрыскивания имеет вид:

$$P'_{\text{ф}} = \left(\frac{\mu f_{\text{р}}}{\mu_c f_c}\right)\left(P_{\text{ф}} - P_{\text{ц}}\right) + P_{\text{ц}} \quad (7)$$

Для определения проходных сечений в клапанах используются уравнения движения подвижных масс.

Уравнение движения иглы распылителя и связанного с ней поршня камеры управления:

$$m_{\text{п}} \frac{d^2 y}{df^2} = (f_{\text{п}} - f'_{\text{п}}) \cdot P_{\text{ф}} - f'_{\text{п}} \cdot P'_{\text{ф}} - f_{\text{пл.п.}} \cdot P_y - F_{\text{про}} - S'y \quad (8)$$

Уравнение движения клапана, управляющего давлением в камере управления:

$$m_{к}\frac{d^2 h_{к}}{dt^2} = F_{эм} - F_{рко} - S_{кл}\cdot h_{к} + \left(P_{у} - P_{сл}\right)\cdot f'_{кл} \quad (9)$$

Уравнение движения обратного клапана, разделяющего полости распылителя и полости поршня гидроусилителя:

$$m_{о.к.}\frac{d^2 h_{ок}}{dt^2} = \left(P_{пор} - P_{ф}\right)\cdot f'_{ок} - F_{пр.о.к.о} - S_{ок}\cdot h_{ок} \quad (10)$$

Уравнение движения поршня гидроусилителя:

$$m_{пор}\frac{d^2 h_{пор}}{dt^2} = f_{пор}\cdot P_{пор}\left(f'_{пор} - f_{пл}\right)\cdot P'_{пор} - P_{ф}\cdot f_{пл} - F_{пр.пор.о.} - S_{пр.п}\cdot h_{пор} \quad (11)$$

Уравнение движения клапана управляющего давлением под поршнем гидроусилителя:

$$m'_{к}\frac{d^2 h'_{к}}{dt^2} = F_{эм.п.} - f_{к.п.}\cdot P'_{пор} - F'_{пр.к.пор.о.} - S'_{пр.к.пор.}\cdot h'_{к}(\quad (12)$$

В представленных системах уравнений движения электромагнитных клапанов силы электромагнитов принимаются постоянными в течении времени их действия [4].

Литература

1. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.

2. Дизельные аккумуляторные топливные системы CommonRail. Перевод с английского : учебное пособие. – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2014. – 94 с.: ил.

3. Перепелин, А.П. Сравнительный анализ систем топливоподачи современных дизелей / А.П. Перепелин // Актуальные вопросы создания топливоподающих систем транспортных дизелей: Материалы научно-технической конференции, посвященной 30-летию Ярославского завода топливной аппаратуры. 6–7 февраля 2002 г. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. – С. 57–59.

4. Ладыгин, А.С. Анализ путей повышения эффективности топливных систем дизелей / А.С. Ладыгин, П.С. Орлов,

А.П. Перепелин // Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные направления механизации сельскохозяйственного производства и обслуживания сельскохозяйственной техники»: сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции. 6–7 декабря 2017 г. / ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2018. – 72 с.

УДК 620.178.4

ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ: ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ

К.т.н. Тюрин С.А., к.т.н. Попов В.Б.
(УО «ГГТУ им. П. О. Сухого», Гомель, Республика Беларусь)

Ключевые слова: усталость, трение, износоусталостные повреждения, испытания, натурный эксперимент, моделирование, зубчатые передачи.

Рассмотрен научный подход, основанный на переходе от натурного эксперимента к испытаниям моделей деталей и узлов. Предложена оригинальная модель и метод совмещенных испытаний зубчатых колес на моделях при действии единой нагрузки.

WEAR-FATIGUE TESTING: MODELING PRINCIPLES AND PRACTICAL APPROVAL

Candidate of Technical Sciences Tyurin S.A.,
Candidate of Technical Sciences Popov V.B.
(Sukhoi State Technical University, Gomel, Republic of Belarus)

Keywords: fatigue, friction, wear-fatigue damage, testing, full-scale experiment, modeling, gear transmissions.

A scientific approach based on the transition from a full-scale experiment to testing models of parts and assemblies is considered. An original model and a method of combined tests of gear wheels on models under the action of a single load are proposed.

Введение

Существуют стандартные методы экспериментального определения с достаточной для практических целей точностью характеристик механических свойств материала (пределы текучести,

прочности и выносливости и т.д.). Но проблема состоит в том, что для условия прочности действующие напряжения определяют для натурных элементов конструкций, тогда как в качестве максимальных допускаемых напряжений используют характеристики механических свойств материала. А свойства материала и конструкции могут различаться весьма существенно. Так, если предел выносливости гладких образцов (диаметром 10 мм) стали 45 равен $\sigma_{-1} \approx 300$ МПа, то предел выносливости валов (диаметром 150 мм) с напрессованными втулками снижается до 50 МПа и менее [1].

Актуальность исследования

Один из выходов из создавшейся ситуации состоит в том, чтобы всемерно развивать и осуществлять методы натурного эксперимента, результаты которого и позволяют достаточно корректно установить характеристики сопротивления деформации и разрушению конкретных деталей и узлов. Однако такой подход, будучи практически важным, в научном отношении малоэффективен. Натурный эксперимент, как правило, весьма трудоемок, очень дорог и длителен, но дает ограниченные результаты, пригодные лишь применительно, например, к исследованному узлу с деталями заданных типоразмеров. Достаточно изменить всего лишь размеры деталей – и требуется строить новую дорогостоящую испытательную установку и вести новые длительные и трудоемкие испытания, чтобы получить необходимые характеристики работоспособности узла в заданных условиях. Естественно, что конструктивные варианты ответственных деталей и узлов в машиностроении практически неисчислимы, особенно учитывая изменение их размеров. Следовательно, по нашему мнению, натурные испытания целесообразны лишь в весьма ответственных случаях.

Применительно к серийным и массовым изделиям машиностроения перспективным является научный подход, основанный на моделировании [2]. Испытания моделей деталей и узлов, уменьшенных в разумных пределах, можно вести на универсальном испытательном оборудовании. Это резко снижает затраты и расширяет возможности испытаний по количеству испытуемых объектов. Результат – повышение точности оценки служебных свойств изделия, узла, детали.

Преждевременные отказы современных машин, в том числе сельскохозяйственной техники, в значительной мере определяются такими явлениями, как механическая усталость, трение и изна-

шивание, износоусталостные повреждения (до 80…90 % отказов) [3]. Следовательно, целесообразным представляется выполнить моделирование работы узлов этих машин именно применительно к таким повреждающим явлениям.

Анализ показал, что все многообразие типоразмеров систем, содержащихся в механизмах движения кормоуборочного комплекса, можно практически свести всего к двум принципиально различающимся моделям, работающим по трем видам износоусталостного повреждения: вал – втулка (фреттинг-усталость либо фрикционно-механическая усталость) и вал – ролик (контактно-механическая усталость).

Результаты

Зубчатые передачи являются наиболее ответственными и высоконагруженными силовыми системами контактного взаимодействия современных машин, работающими в условиях контактно-механической усталости (усталость + трение качения). К основным видам разрушения зубчатых колес относятся усталостный излом зубьев, происходящий у основания ножки зуба в области переходной кривой, и контактные разрушения рабочих поверхностей зубьев.

Существующие методы испытания зубчатых колес обладают рядом недостатков. В частности, в результате испытаний определяют сопротивление либо только контактной, либо только изгибной усталости, при этом для испытаний требуются разные стенды (и разные типоразмеры образцов).

В этой связи предложен оригинальный метод совмещенных испытаний материалов для зубчатых колес. Метод позволяет получить кривые изгибной и контактной усталости при испытаниях единой модели зубчатого зацепления при действии единой (в обоих случаях) контактной нагрузки – как в натурных условиях. Для экспериментального определения сопротивления как изгибной, так и контактной усталости одновременно используется специальная модель зубчатого зацепления (рисунок 1).

Особенностью модели является то, что цилиндрический образец 1, изготовленный из материала зубчатого колеса, представляет собой консоль, на свободном конце которой сформирована зона контактного взаимодействия, а на другом конце сформирована зона изгиба в виде галтели, соответствующей переходной кривой у основания зуба.

Образец-модель 1, закрепленный в шпинделе 5, вращается с угловой скоростью ω_1. К поверхности образца 1, в зоне контакта 3, с силой F_N прижат контробразец 2, ось вращения которого параллельна оси вращения образца, и который вращается с заданной скоростью ω_2.

Путем регулирования скоростей ω_1 и ω_2 можно получить коэффициент проскальзывания, с высокой точностью имитируя скольжение в зубчатой передаче. Сила F_N, приложенная на плече L, обеспечивает одновременное возбуждение как контактных, так и изгибных напряжений в соответствующих зонах, а расстояние между этими зонами выбирают соответствующим расстоянию между полюсом зацепления и основанием зуба.

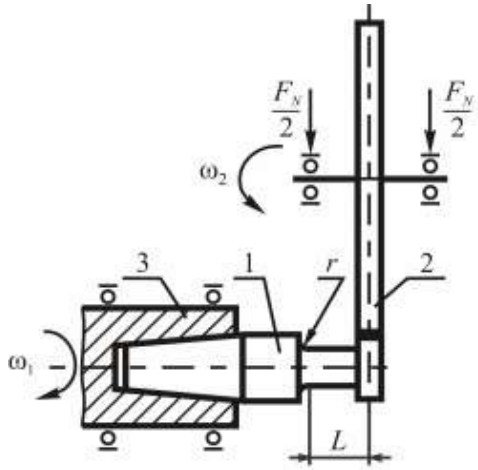

Рисунок 1 – Схема испытаний модели зубчатого зацепления

Предложенная модель имеет тот недостаток, что направление качения (и проскальзывания) у нее не совпадает с направлением действия максимального изгибающего напряжения. Однако этот недостаток, видимо, нельзя считать существенным.

Пример реализации метода совмещенных испытаний дан на рисунке 2. Были проведены совмещенные испытания моделей зубчатых зацеплений, изготовленных из стали 18ХГТ. Упрочнение поверхностного слоя образца проведено по технологии натурной детали – цементация на глубину h = 0,4…0,8 мм с последующей закалкой до твердости 54…64 HRCэ. Рабочие поверхности образцов и роликов шлифовали. Схема испытаний показана на рисунке 2.

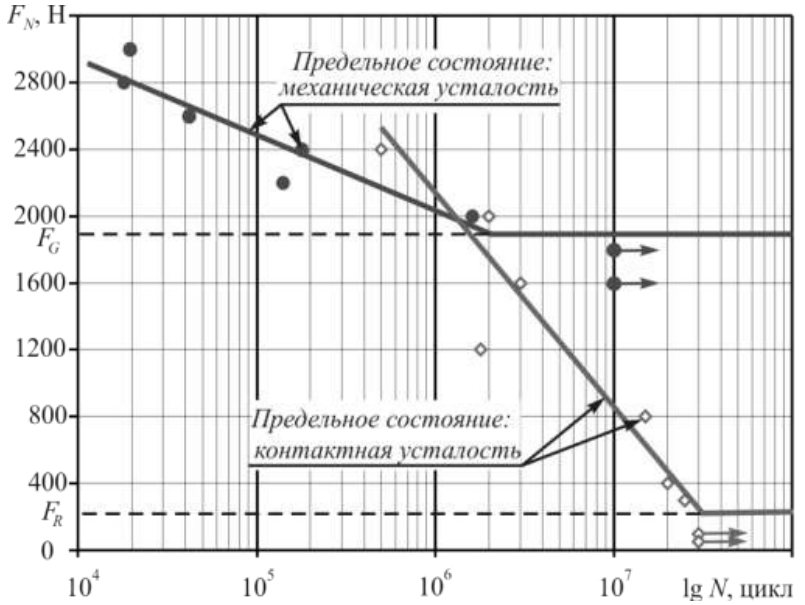

Рисунок 2 – Результаты испытания моделей зубчатого зацепления из стали 18ХГТ

Испытания проводили при частоте 3000 мин$^{-1}$ в условиях нормальной температуры. При испытаниях в зону контакта капельным способом подавали смазочный материал (редукторное масло ТАД-17).

Испытания вели непрерывно до наступления предельного состояния или до базового числа циклов.

Сначала при более высоких нагрузках реализуется изгибная усталость. Критерием предельного состояния являлось разрушение образца (разделение его на две части в результате развития в опасном сечении поперечной магистральной трещины).

База испытаний – 10^7 циклов. По результатам испытаний построена кривая изгибной усталости с абсциссой точки перелома порядка $2 \cdot 10^6$ циклов, и определена предельная нагрузка по критерию изгибной усталости F_G = 1900 Н (рисунок 2), соответствующая пределу выносливости σ_{-1} = 570 МПа.

Затем, при более низких нагрузках, реализуется контактная усталость. Критерием предельного состояния являлось предельное сближение осей в силовой системе (100 мкм). База испытаний – $3 \cdot 10^7$ циклов. По результатам испытаний построена кривая контактной усталости с абсциссой точки перелома порядка

3·107 циклов, и определена предельная нагрузка по критерию контактной усталости F_R = 200 Н (рисунок 2), соответствующая пределу контактной усталости p_f= 3100 МПа.

Таким образом, специалисты получили оригинальную модель зубчатого зацепления и метод совмещенных испытаний. Метод позволяет построить кривые изгибной и контактной усталости при действии единой (в обоих случаях) контактной нагрузки.

Выводы

Разработанная модель зубчатой передачи и методика ее испытания стандартизована [4] и запатентована [5]. В результате таких испытаний определяют количественные характеристики сопротивления износоусталостным повреждениям зубчатых зацеплений. Эти характеристики могут быть использованы, а частности, при выборе конструкционных материалов и обосновании конструктивно-технологических решений, при контроле качества материалов, при расчетах на этапе проектирования и др.

Для испытания таких моделей, как описанная выше модель совмещенных испытаний зубчатых зацеплений, создано высокотехнологичное испытательное оборудование [6], технические характеристик которого регламентируются требованиями государственного стандарта [7].

Литература

1. Трощенко, В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов : справ. : в 2 т. / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – Киев : Наукова думка, 1987. – Т. 1. – 510 с.; Т. 2. – 825 с.

2. Андрияшин, В.А. Износоусталостные испытания: принципы моделирования / В.А. Андрияшин, А.В. Богданович, С.А. Тюрин // Надежность и долговечность машин и сооружений: Междунар. науч.-техн. сб. – Вып. 24. – Киев: ИПП НАНУ им. Г.С. Писаренко, 2005. – С. 21–26.

3. Попов, В.Б. Кормоуборочная техника ПО «Гомсельмаш» для АПК / В.Б. Попов, О.В. Рехлицкий, И.В. Волков // Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК: сб. науч. тр. 9-й Междунар. науч.-практ. конф., Зерноград, 28–29 мая 2014 г. / Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Зерноград, 2014. – С. 3–9.

4. Трибофатика. Метод совмещенных испытаний на изгибную и контактную усталость материалов зубчатых колес (Стандарт Беларуси): СТБ 1758–2007. – Введ. 01.12.2007. – Мн.: ГОССТАНДАРТ, 2007. – 45 с.

5. Способ испытания материала зубчатого колеса на контактную и изгибную усталость: пат. 9247 Респ. Беларусь, МПК G 01M13/02 / В. А. Жмайлик, В. А. Андрияшин, Л. А. Сосновский, А. М. Захарик, Ал. М. Захарик, В. В. Комиссаров, С. С. Щербаков; заявители ПО «Гомсельмаш», ОИМ НАН Б. – № a20040781; заявл. 19.08.2004; опубл. 30.04.2007. – 2007. – 6 с.

6. Фролов, К.В. Новые машины и методы испытаний / К.В. Фролов, Н. А. Махутов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 1995. – № 5. – С. 32–33.

7. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования (Межгосударственный стандарт): ГОСТ 30755–2001. – Введ. 01.07.2002. – Мн.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 8 с.

УДК 636.08

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭИТ, И ИХ АНАЛИЗ

К.т.н. Шешунова Е.В., д.т.н., профессор Шмигель В.В., к.т.н. Угловский А.С.

(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: источник питания, электрическая схема источника питания, высоковольтные выпрямители.

В установках электронно-ионной технологии (ЭИТ) в качестве высоковольтных источников питания в настоящее время могут применяться электростатические генераторы (ЭСГ) и высоковольтные выпрямительные устройства (ВВУ) [1, 2, 3].

Преимуществами ЭСГ являются:

– полная безопасность;

– малый вес и небольшие габариты;

– возможность получения высоких напряжений.

Электростатические генераторы считается целесообразнее применять там, где требуются напряжения порядка 100…500 кВ, так как при более низких напряжениях ЭСГ по стоимости оказываются дороже выпрямителей. В нашей стране электростатические генераторы еще не выпускаются серийно промышленностью, поэтому широко используются высоковольтные выпрямители. Применять их экономически более выгодно, так как эксплуатация ЭСГ в сельском хозяйстве встретит некоторые трудности.

Высоковольтные выпрямители могут быть выполнены в двух схемных решениях:

а) высоковольтный трансформатор – выпрямитель;

б) высоковольтный трансформатор – схема умножения напряжения.

В некоторых случаях для снижения габаритов источника питания повышают частоту подаваемого на высоковольтный трансформатор, что соответственно приводит к уменьшению величины емкостей, как в схемах умножения, так и в фильтрах и уменьшению габаритов источника [4, 5].

POWER SUPPLIES USED IN THE EIT AND THEIR ANALYSIS

Candidate of Technical Sciences Sheshunova E.V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor Shmigel V.V.,
Candidate of Technical Sciences Uglovsky A.S.
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Keywords: power supply, electrical circuit of power supply, high-voltage rectifiers.

Electrostatic generators (ESG) and high-voltage rectifiers (HVU) [1, 2, 3] can currently be used as high-voltage power sources in electronic ion technology (EIT) plants.

The advantages of ESG are:

– complete security;

– light weight and small dimensions;

– possibility of obtaining high voltages.

Electrostatic generators are considered more suitable to be used where voltages of the order of 100... 500 kV are required, since at lower ESG voltages they are more expensive than rectifiers. In our country, electrostatic generators are not yet mass-produced by the industry, so high-voltage rectifiers are widely used. It is economically more profitable to apply them, since the operation of ESG in agriculture will encounter some difficulties.

High-voltage rectifiers can be made in two circuit solutions:

a) high-voltage transformer – rectifier;

b) high-voltage transformer – multiplication scheme

In some cases, to reduce the size of the power source, the frequency supplied to the high-voltage transformer is increased, which accordingly leads to a decrease in the capacitance, both in multiplication circuits and in filters and a decrease in the size of the source [4, 5].

Методы и материалы

В качестве ВИЭП в лабораториях и производственных условиях используют источники типа: АКИ-50, АИИ-50. Технологические схемы электрозерноочистительных машин показаны на рисунке 1.

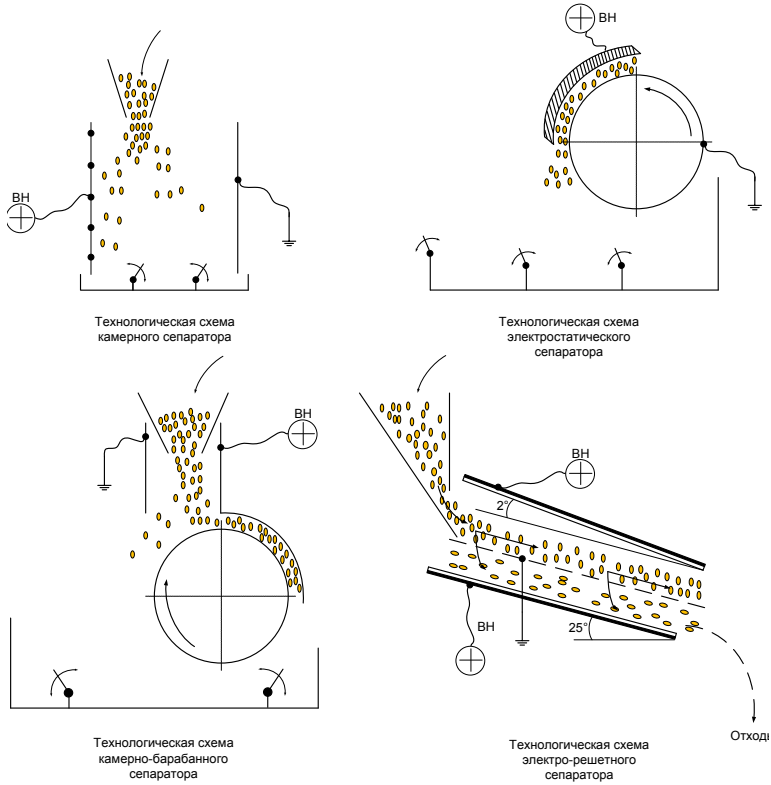

Рисунок 1 – Технологические схемы
электрозерноочистительных машин

Результаты

Рассмотрим схемы и конструкции различных источников питания, используемых в ЭИТ, их преимущества и недостатки. Составим сводную таблицу (таблица 1).

Такие источники как АКИ-50 (рисунок 2), АИИ-70 (рисунок 3), ПВС-60-10 (рисунок 4) обладают большой мощностью и могут применяться в различных ЭИТ. У них имеется плавня регулировка выходного напряжения, простота схемы, но есть общий недостаток – большие габариты и масса, сравнительно большой коэффициент пульсаций, обусловленный отсутствием фильтров на выходе, грубая защита. При коротком замыкании эти аппараты излучают мягкое рентгеновское излучение, вредное для живых организмов. Коэффициент пульсаций у АКИ-50 и АИИ-70 составляет 1,57, а у

ПВС-60-10 – 0,67, что для некоторых технологических процессов не желательно. Напряжение у всех аппаратов измеряется на первичной стороне, что отрицательно сказывается при получении данных о напряжении на нагрузке при ее изменении.

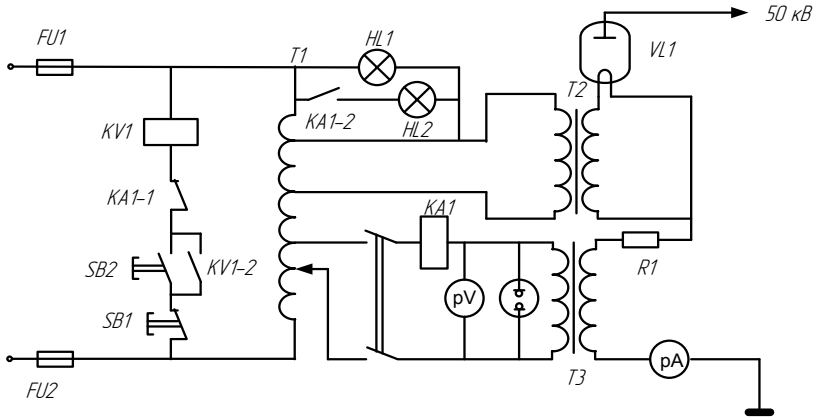

Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная источника питания АКИ-50

Источники ПВС-15-0,25 (рисунок 5) и ПВС-25-0,3 (рисунок 6) работают на повышенных частотах, что уменьшает их габариты. У ПВС-15-0,25 имеется чувствительная защита с плавной регулировкой, установлен вольтметр на высокой стороне, что отсутствует у ПВС-25-0,3. Недостаток у ПВС-25-0,3 также в том, что напряжение не регулируется на выходе. Оба источника имеют малую мощность, что ограничивает их применение.

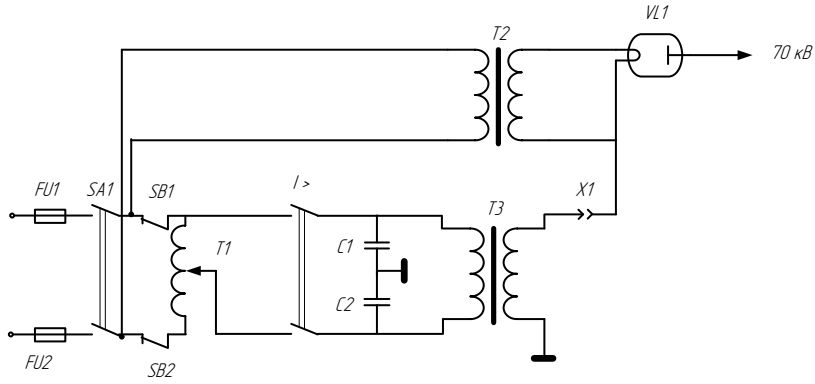

Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная источника питания АИИ-70

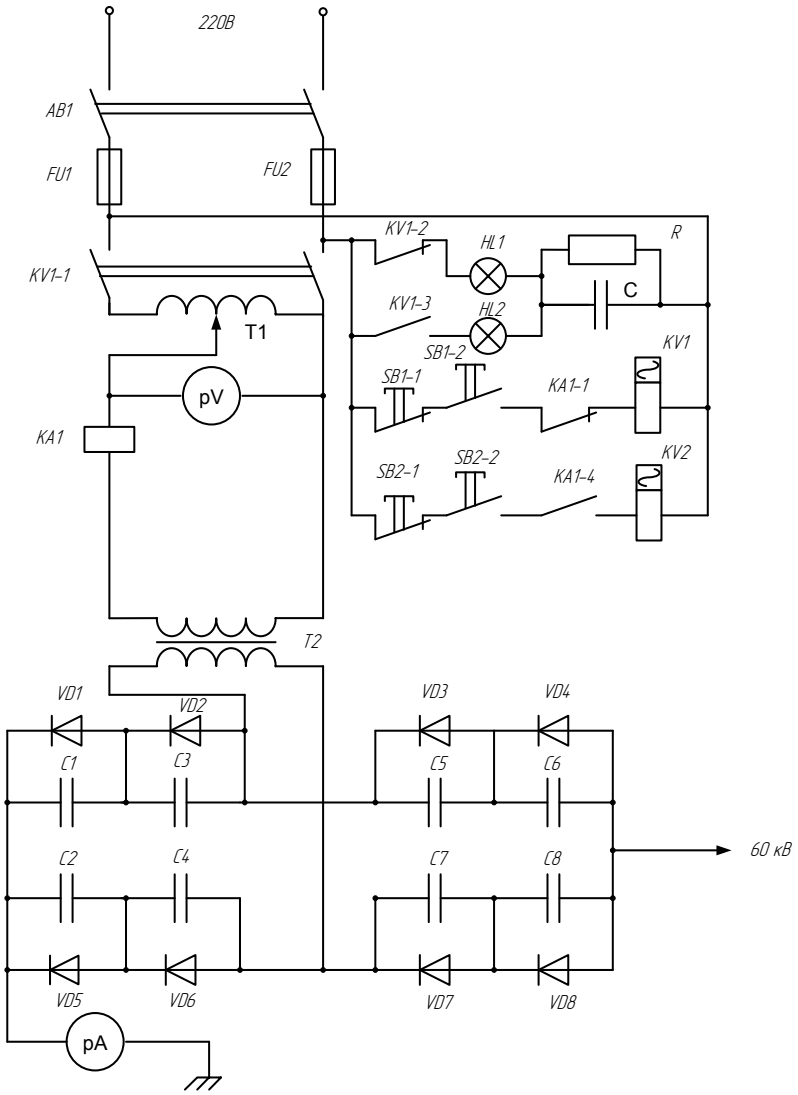

Рисунок 4 – Схема принципиальна электрическая
источника питания ПВС-60-10

Третья группа источников – это источники, собранные по схеме умножения, на частоте 50 Гц. Все они имеют большие размеры по сравнению с ПВС-15-0,25 или ПВС-25-0,3. Эти источники также маломощные.

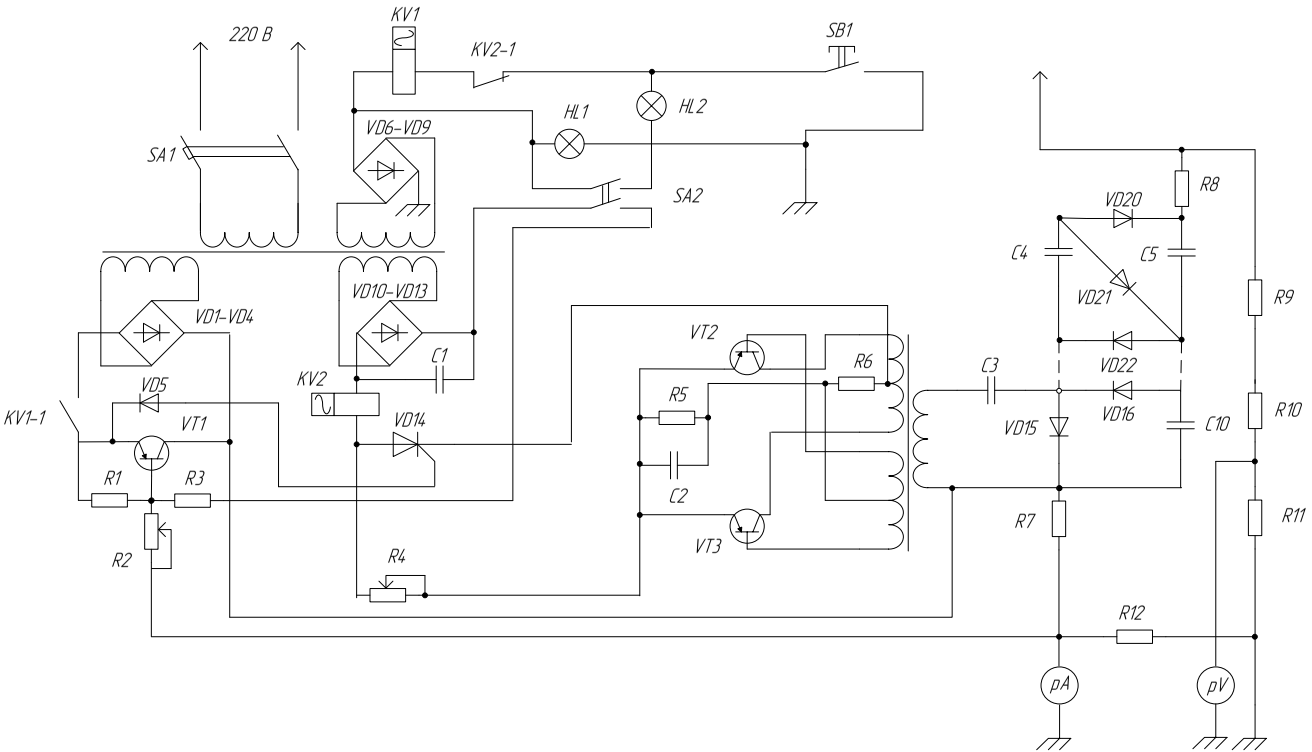

Рисунок 5 – Схема принципиальная электрическая источника питания ПВС-15-0,25

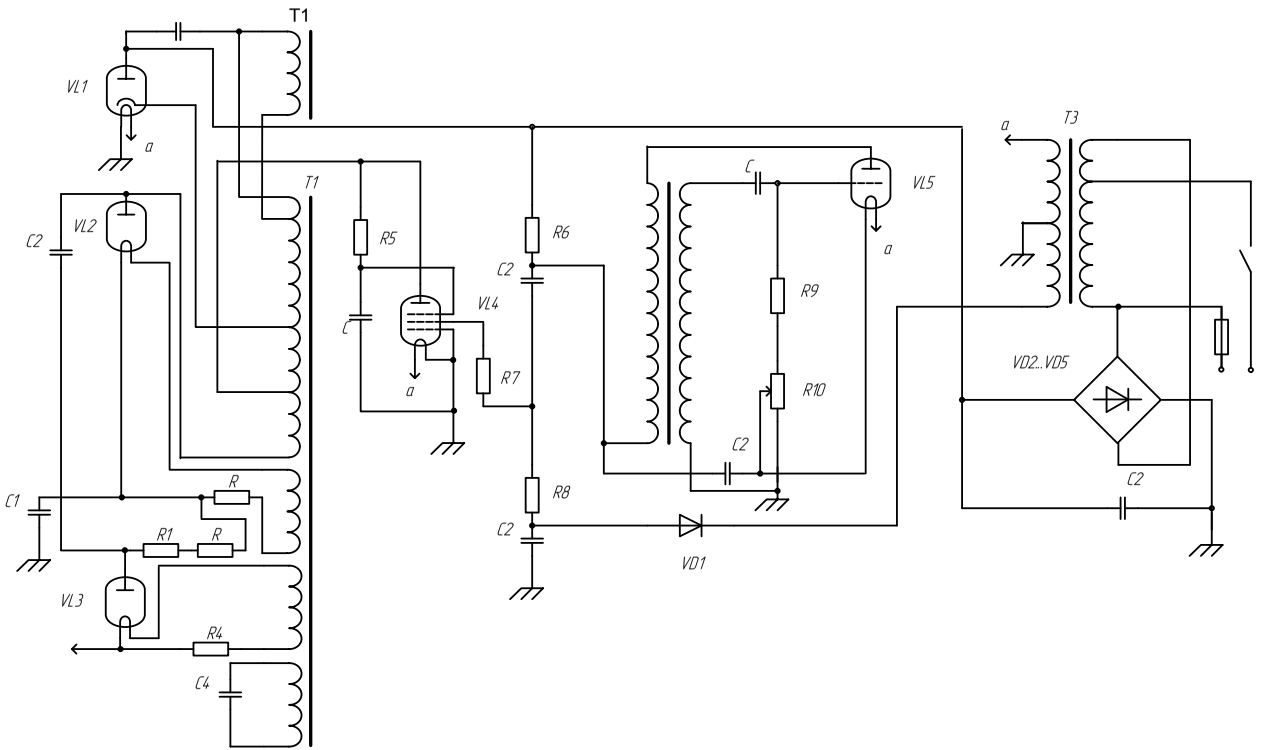

Рисунок 6 – Схема принципиальная электрическая источника питания ПВС-25-0,3

ВИП-30-1 (рисунок 7) вольтметр установлен на первичной стороне, что является недостатком так как, особенно у маломощных источников большая зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. Также недостаток ВИП-30-1 в том, что напряжение регулируется ступенчато и не имеет прибора для измерения тока. Эти схемы так же просты, как и первые рассматриваемые схемы.

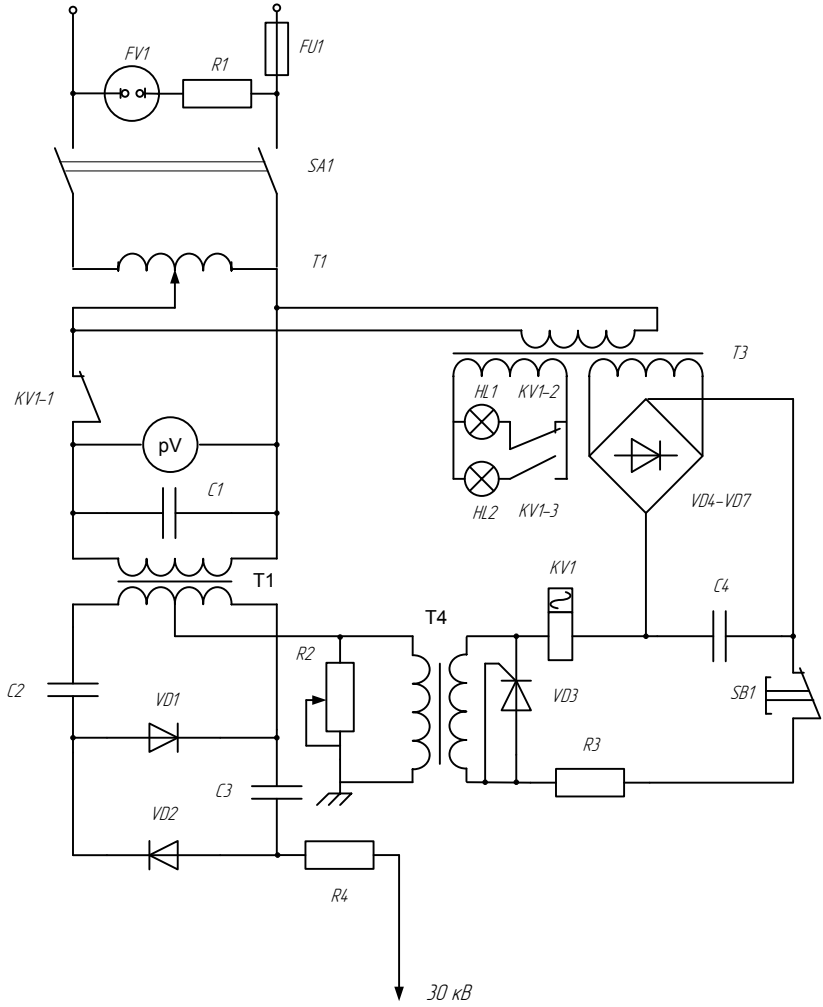

Рисунок 7 – Схема электрическая принципиальная источника питания ВИП-30-1

Недостатком всех перечисленных схем источников является то, что напряжение не стабилизировано и меняется на нагрузке как от колебаний напряжения сети, так и при изменении нагрузки.

Выводы

Таблица 1 – Сводная таблица параметров источников питания, используемых в производстве

Параметры	Тип аппарата					
	АКИ-50	АИИ-70	ПВС-60-10	ПВС-15-0,25	ПВС-25-0,3	ВИП-30-1
Напряжение питающей сети, В	220	220	220	220; –12	127; 220	220
Номинальное выходное напряжение, кВ	50	70	60	15	22	25
Номинальный ток нагрузки, 10-3А	3	5	10	0,125	0,25	0,8
Мощность источника, ВА	500	1116	1200	40	45	38
Полезная мощность источника, Вт	150	350	600	1,8	5,5	20
Способ регулирования напряжения	Плавный автотрансформаторный				–	ступенчатый
Диапазон регулирования напряжения, кВ	0–50	0–70	0–75	3–25	–	12, 24
Защита источника	Предохранитель, реле максимального тока			Предохранитель, электронная	Предохранитель	Предохранитель, электронная

Продолжение таблицы 1

Параметры		Тип аппарата					
		АКИ-50	АИИ-70	ПВС-60-10	ПВС-15-0,25	ПВС-25-0,3	ВИП-30-1
Масса источника		120	175	90	10	10	20
Габариты источника, мм		440х 550х800	530х 460х1260	555х 630х840	250х 160х265	150х 300х250	310х 200х420
Объем источника, дм^3		193	307	76	10	10	20
Массогабаритные показатели	масса мощность	0,8	0,5	0,15	5,32	1,82	1
	объем мощность	1,29	0,89	0,13	5,64	2,05	1,36
Стоимость источника, руб.		76000	81000	156400	30000	35000	20000

Литература

1. Быков С.В. Источники питания: учебное пособие / С.В. Быков, М.М. Бабичев, А.А. Аравенков. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 94 с. – ISBN 978-5-7782-4083-4. – URL: https://ibooks.ru/bookshelf/372350/reading (дата обращения: 11.11.2021). – Текст: электронный.

2. Васюков, И.В. Высоковольтный источник питания на основе инвертора напряжения / И.В. Васюков // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 88–91. – URL: https://rucont.ru/efd/519082 (дата обращения: 11.11.2021).

3. Варламов, В.Р. Современные источники питания: справочник / В.Р. Варламов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : ДМК-Пресс, 2009. – 220 с.: ил. – (Справочник). – ISBN 5-940-74-059-6. – ISBN 978-5-94074-059-6. – URL: https://rucont.ru/efd/203169 (дата обращения: 11.11.2021).

4. Кашкаров, А.П. Оригинальные конструкции источников питания / А.С. Колдунов, А.П. Кашкаров. – Москва :

ДМК-Пресс, 2010. – 161 с.: ил. – ISBN 978-5-94074-634-8. – URL: https://rucont.ru/efd/203224 (дата обращения: 11.11.2021).

5. Шрайбер, Г. 300 схем источников питания. Выпрямители. Импульсные источники питания. Линейные стабилизаторы и преобразователи / Г. Шрайбер. – Москва : ДМК-Пресс, 2008. – 235 с.: ил. – (В помощь радиолюбителю). – пер. с фр. – ISBN 2-10-003823-0 (фр.). – ISBN 5-93700-016-1 (рус.). – ISBN 978-5-93700-016-1. – URL: https://rucont.ru/efd/203150 (дата обращения: 11.11.2021).

СОДЕРЖАНИЕ

Адакин Р.Д., Соцкая И.М., Дмитренко В.П., Балыков И.А. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Разработка программы в MASTERSCADA 4D для автоматизированного управления производством биоудобрений 3

Адакин Р.Д., Соцкая И.М., Джерепа М.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Разработка программы в MASTERSCADA 3.12 для работы с базой данных системы ГЛОНАСС для выполнения операций технического обслуживания и дистанционной диагностики грузовых автомобилей 8

Адакин Р.Д., Соцкая И.М., Несиоловский О.Г., Терещенко Р.И. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Разработка сварочного робота с помощью программ MASTERSCADA 4D, SOLIDWORKS, FLPROG 13

Дмитренко В.П., Карпов Д.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Пути снижения коррозионных повреждений автомобилей 19

Карпов Д.С., Ладыгин М.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Анализ отказов двигателей в гарантийный период 31

Козлов А.А., Молочников Д.Е., Яковлев С.А. (ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, Ульяновск, Россия) К вопросу ухудшения эксплуатационных свойств масел в процессе их использования в ДВС 37

Ладыгин А.С., Орлов П.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия), ***Перепелин А.П.*** (ФГБОУ ВО Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия), ***Шкрабак В.С.*** (ФГБОУ ВО СПбГАУ, Санкт-Петербург, Россия) Система топливоподачи с гидравлическим усилителем давления впрыскивания 41

Тюрин С.А., Попов В.Б. (УО «ГГТУ им. П. О. Сухого», Гомель, Республика Беларусь) Износоусталостные испытания: принципы моделирования и практическая апробация 49

Шешунова Е.В., Шмигель В.В., Угловский А.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Источники питания, используемые в ЭИТ, и их анализ 55

Научное издание

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АПК

Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции

Ярославль, 2 декабря 2021 г.

Текстовое электронное издание

Статьи публикуются в авторской редакции.
Авторы несут ответственность за содержание публикаций.

Подписано к использованию 11.02.2022 г.
Объем издания 3,67 Мб, 1 электрон. опт. диск.
Минимальные системные требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше; оперативная память 256 Мб и более; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10; разрешение экрана 1024x768 и выше; привод CD-ROM, мышь; дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

Издательство ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА.
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58.
http://www.yaragrovuz.ru/