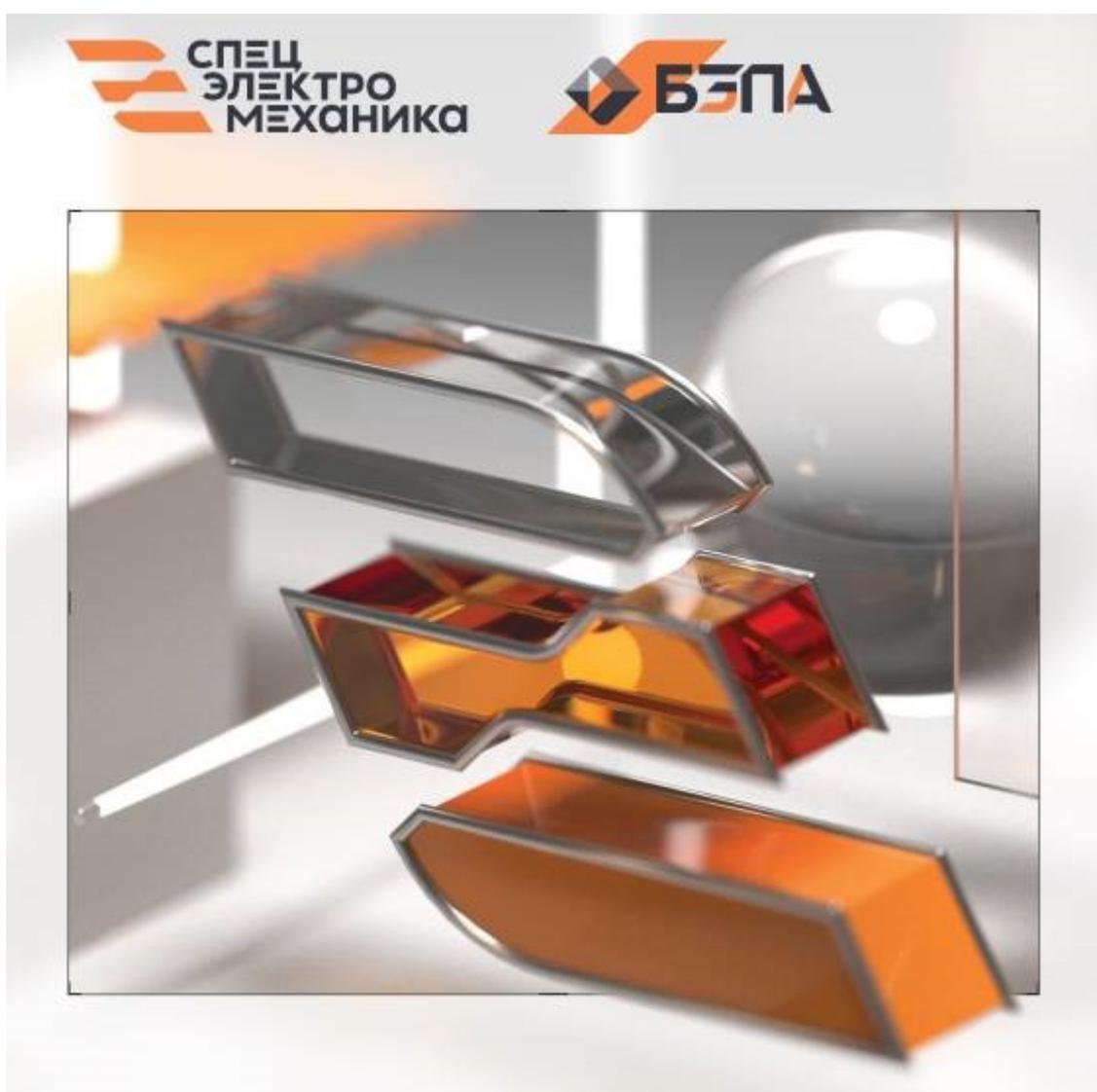


# ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Сборник материалов конференции



Брянск  
БГТУ  
2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Брянский государственный технический университет  
Учебно-методическое отделение Учебного центра  
«БГТУ – АО "Транснефть-Дружба"»

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

Сборник материалов конференции  
(Брянск, 14 декабря 2023 г.)

Под общей редакцией А. В. Агеенко

Текстовое электронное издание

Брянск  
БГТУ  
2024

© Брянский государственный  
технический университет, 2024  
ISBN 978-5-907958-04-3

УДК 658.562

ББК 30.607

О13

*Утверждено редакционно-издательским советом БГТУ*

О13 Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции : сборник материалов конференции (Брянск, 14 декабря 2023 г.) [Электронный ресурс] / под общей редакцией А. В. Агеенко. – Брянск : БГТУ, 2024. – 48 с. – Режим доступа: <https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/nauka/konferentsii/sborniki-trudov-konferentsiy-provodimykh-bgtu>, свободный. – Загл. с экрана.

Сборник подготовлен по материалам докладов участников конференции, состоявшейся 14 декабря 2023 года в Брянском государственном техническом университете.

Для преподавателей, студентов, аспирантов, занимающихся научно-исследовательской работой.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования

- Браузеры: Google Chrome, Microsoft Edge, Mozilla Firefox, Opera
- Скорость подключения к информационно-телекоммуникационным сетям 1 мбит/с
- Дополнительные настройки для чтения PDF в браузере: Google Chrome (требуется), Microsoft Edge (требуется), Mozilla Firefox (требуется), Opera (требуется)

*Материалы публикуются с сохранением авторской орфографии и пунктуации*

УДК 658.562

ББК 30.607

ISBN 978-5-907958-04-3

© Брянский государственный  
технический университет, 2024

Научное издание

# **ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

Сборник материалов конференции  
(Брянск, 14 декабря 2023 г.)

Под общей редакцией А. В. Агеенко

Электронное текстовое издание

Сборник разработан с помощью программного  
обеспечения Microsoft Office Word, Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 25.11.2024

Объем издания – 8,11 Мб

Гарнитура Times

Брянский государственный технический университет. 241035,  
Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7.  
Тел.: 58-82-49

## **Организационный комитет**

- ☞ Агеенко А. В. – начальник УМО Учебного центра «БГТУ – АО "Транснефть-Дружба"»;
- ☞ Пугачев А. А. – заведующий кафедрой «Промышленная электроника и электротехника»;
- ☞ Хандожко В. А. – заведующий кафедрой «Автоматизированные технологические системы»;
- ☞ Малаханов А. А. – заведующий кафедрой «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы»;
- ☞ Сарапулов Н. Ю. – генеральный директор АО «НПО "Спецэлектромеханика"»;
- ☞ Бормотов И. А. – директор ООО «БЗПА»;
- ☞ Сиротский М. С. – главный инженер АО «НПО "Спецэлектромеханика"».

## СОДЕРЖАНИЕ

Бобков А. М. Применение автоматизированных испытательных стендов в цифровизации жизненного цикла продукции УСиНИБП .....	6
Врацкий П. А. Разработка и производство отечественных ИБП в рамках импортозамещения.....	11
Долгий Д. С. Значимость внедрения стендовых технологий в систему целевого обучения АО «НПО "Спецэлектромеханика"» .....	17
Крутохвостов Д. Г. Научный анализ проблемы повышения качества работы систем автоматического регулирования.....	19
Крутохвостов И. Г. Методы мониторинга АСУ ТП на базе программируемых логических контроллеров и SCADA-систем: современное состояние и перспективы развития.....	25
Седых С. В. Разработка регулируемого источника высокого напряжения .....	30
Сиротский М. С. Результаты анализа состояния и тенденций развития современного рынка источников бесперебойного питания .....	344
Хандожко В. А. Математическая модель для имитатора системы автоматического регулирования давления .....	411
Школин А. Н. Разработка системы управления автоматизированной линии сортировки лесоматериалов .....	466

Научная статья  
УДК 658.5

## **Применение автоматизированных испытательных стендов в цифровизации жизненного цикла продукции УСиНИБП**

**Алексей Михайлович Бобков**

Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия  
bobkovam@semgroup.ru, <http://orcid.org/0009-0006-5860-2751>

***Аннотация.*** Статья знакомит читателя с применением автоматизированных систем для управления жизненным циклом продукции. На примере производственного участка рассказывается о потребностях в автоматизации учета по комплектующим и выпуску продукции. Показана возможность использования автоматизированного испытательного стенда в системе учета участка УСиНИБП ООО «БЗПА». Предложено при внедрении на предприятии PLM-системы интеграции разработанного стенда для проверки продукции в качестве модуля системы.

***Ключевые слова:*** PLM-система, автоматизация, проверка продукции, УЗИП, испытательный стенд.

***Для цитирования:*** Бобков А. М. Применение автоматизированных испытательных стендов в цифровизации жизненного цикла продукции УСиНИБП // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 6–10.

Для улучшения рабочего процесса на участке сборки и наладки ИБП на ООО «Брянском заводе промышленной автоматике» был разработан автоматизированный испытательный стенд в цифровизации жизненного цикла продукции УСиНИБП. Организовать управленческие и производственные задачи на крупных предприятиях помогает внедрение различных автоматизированных систем. Наиболее совершенными на сегодняшний день считаются PLM системы.

PLM (Product Life-cycle Management) система (рис. 1) представляет собой технологический комплекс, в том числе инфраструктуру, организационные процедуры и прикладное программное обеспечение, для управления жизненным циклом изделий [5.1].

PLM систему можно разделить на следующие основные компоненты:

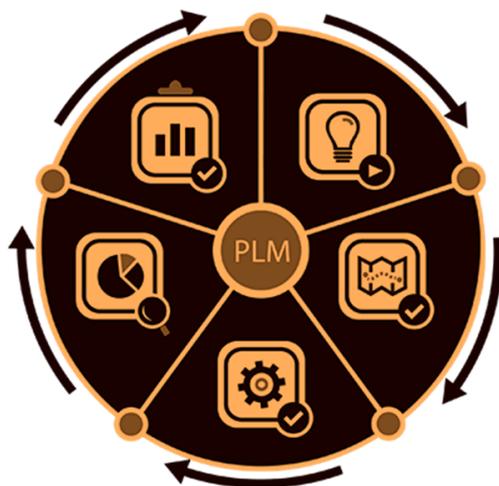
1. Управление данными продукта (PDM, Product Data Management). Данную систему используют для управления технической информацией о продуктах и процессах на протяжении всего их жизненного цикла. Она позволяет хранить, организовывать и управлять данными о продуктах, включая информацию о структуре, компонентах, свойствах и процессах;

2. Управление требованиями (Requirements Management). Этот компонент необходим для обеспечения процесса сбора, анализа, управления и отслеживания требований к продукту на всех этапах его разработки;

3. Управление изменениями (Change Management). Задача данного компонента отслеживать и контролировать все изменения, вносимые в продукт или процесс его разработки на протяжении всего жизненного цикла;

4. Управление конфигурацией (Configuration Management). Система позволяет управлять версиями продукта, конфигурациями и зависимостями между различными элементами продукта;

5. Управление инженерными данными (Engineering Data Management). Здесь основные задачи – это управление информацией, связанной с проектированием, разработкой и тестированием продукта, такой как чертежи, спецификации, модели и другая техническая документация.



## PLM-система

- технологический комплекс, в том числе инфраструктура, организационные процедуры и прикладное программное обеспечение, для управления жизненным циклом изделий.

### Основные компоненты PLM системы :

- управление данными продукта;
- управление требованиями;
- управление изменениями;
- управление конфигурацией;
- управление инженерными данными.

Рис. 1. PLM система

Для учетных процессов на предприятии требуется создать базу данных с пользовательским графическим интерфейсом. А на самом участке планируется автоматизировать следующие процессы:

- ☞ учет заказов (текущих и планируемых);
- ☞ учет полученных комплектующих;
- ☞ учет изготовленной продукции;
- ☞ контроль качества продукции.

Контроль качества выпускаемой участком продукции будет осуществляться с помощью разработанного и внедренного испытательного стенда. На рис. 2 представлена схема Стенда, на которой под объектом Стенд подразумевается установка, с помощью которой осуществляются испытания продукции.

## Стенд для проверки качества продукции

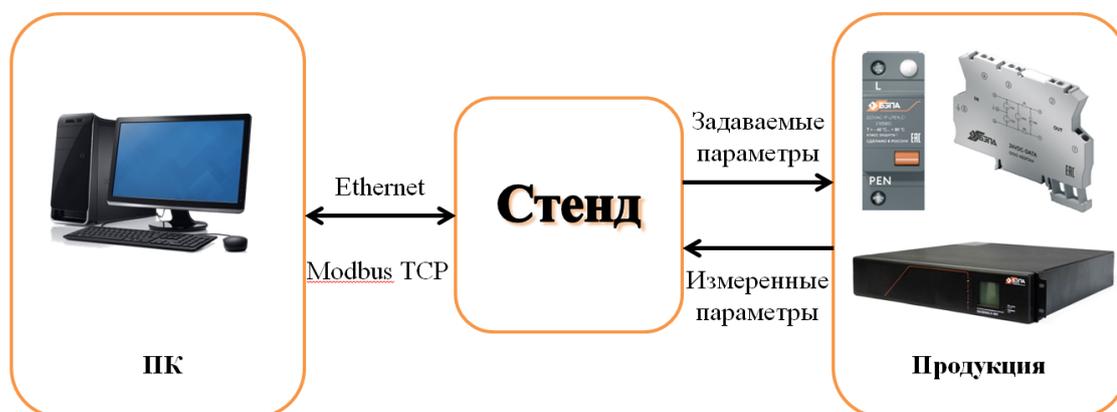


Рис. 2. Структурная схема

В результате сформулировано техническое задание на разработку испытательного стенда для проверки контрольных УЗИП. Где от Стенда проверки контрольных УЗИП (далее по тексту Стенд) требуется повышение производительности процессов проверки УЗИП после изготовления и ремонта, снижение влияния человеческого фактора на результат проверки, фиксация технических параметров проверяемых УЗИП в системе автоматизации учета.

Стенд должен представлять собой настольную установку, позволяющую автоматизировать этап проверки УЗИП.

Требования к прикладному ПО для работы со Стендом:

- ☑ настройка параметров работы Стенда;
- ☑ редактирование профилей УЗИП (просмотр, добавление, изменение, удаление);
- ☑ пуск/остановка процедуры испытания УЗИП;
- ☑ получение данных от Стенда (результатах испытания), их отображение в окне программы, занесение результатов испытаний в БД (дата, тип УЗИП, серийный номер УЗИП, измеренные параметры);
- ☑ получение данных из БД по запросу, возможность выборки по дате, типу, серийному номеру;
- ☑ наличие модульной архитектуры с возможностью расширения по типам испытываемых изделий.

Взяв за основу программу испытаний на примере УЗИП 24VDC-3С, составлена схема подключения УЗИП к Стенду и показана на рис. 3.

**Испытание продукции с помощью стенда, на примере УЗИП 24VDC-3С**

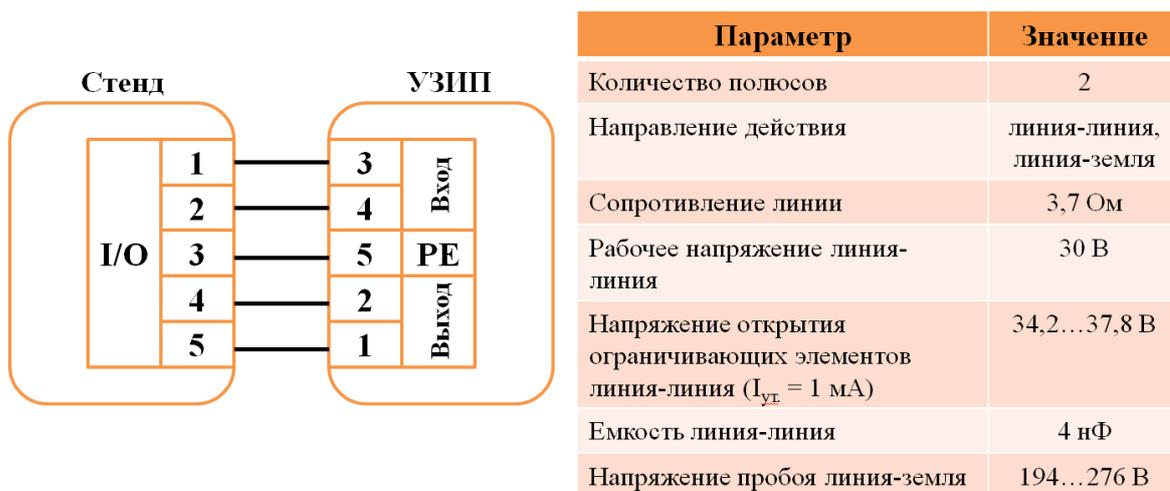


Рис. 3. Испытание УЗИП 24VDC-3С

Стенд имеет в своем составе универсальные каналы ввода-вывода, с помощью которых возможно задавать требуемые электрические величины на входе УЗИП (например, ток и напряжение) и измерять получившиеся параметры на выходе. В качестве критериев работоспособности УЗИП выступают: сопротивление линии, возможность работы под максимальным рабочим напряжением, напряжение начала открытия ограничивающих элементов, электрическая емкость линии.

При будущем внедрении на предприятии общей системы автоматизации управления, затрагивающей большинство подразделений, рассмотрен вариант интеграции Стенда во внедренную систему в качестве модуля (рис. 4).

**Перспективы. Стенд, как модуль PLM-системы**

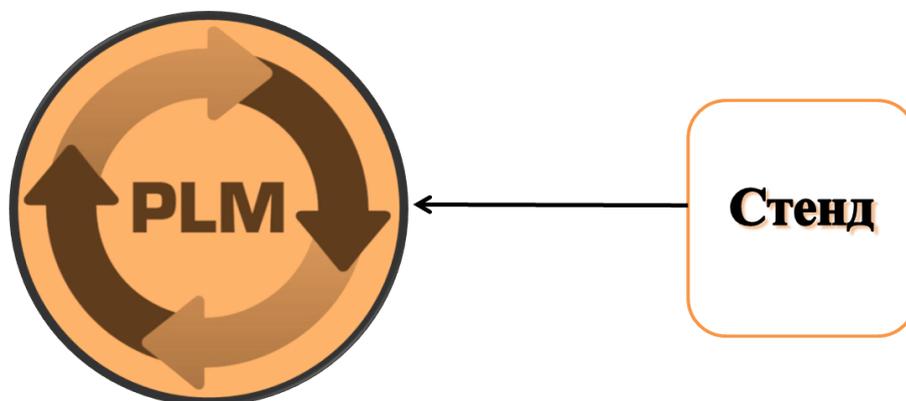


Рис. 4. Стенд как модуль PLM системы

### Список источников

1. Жизненный цикл изделия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Жизненный\\_цикл\\_изделия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Жизненный_цикл_изделия) (дата обращения: 11.12.2023). Режим доступа: для всех пользователей.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

#### **Информация об авторе**

*Бобков А. М.* – мастер участка сборки и наладки ИБП ООО «БЗПА».

Научная статья  
УДК 621.314

## Разработка и производство отечественных ИБП в рамках импортозамещения

**Павел Анатольевич Врацкий**

АО «НПО "Спецэлектромеханика"», Брянск, Россия

vratskiy@semgroup.ru, <http://orcid.org/0009-0006-5860-2751>

**Аннотация.** В статье рассматривается одно из перспективных направлений разработки и производства для обеспечения стабильной и непрерывной работы оборудования – производство источников бесперебойного питания (ИБП).

**Ключевые слова:** источники бесперебойного питания, микросхемы питания, источники напряжения, диоды Шоттки.

**Для цитирования:** Врацкий П. А. Разработка и производство отечественных ИБП в рамках импортозамещения // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 11–16.

### Введение

Одним из основных перспективных направлений разработки и производства нашего завода является производство источников бесперебойного питания (ИБП). ИБП востребованы на объектах энергетики, жизнеобеспечения и ЦОД (центрах обработки данных) для обеспечения стабильной и непрерывной работы оборудования. Они защищают критически важное оборудование от перепадов напряжения, короткого замыкания и других сбоев в электросети.

Основная потребность рынка промышленных ИБП это on-line ИБП, обеспечивающие нулевое время переключения на батареи и исключающие прохождение сетевых возмущений в нагрузку. Все on-line ИБП можно разделить по применения на несколько групп:

- Однофазные (одна фаза на входе и выходе) - как правило мощностью до 10кВА для питания маломощных однофазных потребителей.
- Трехфазные (3 фазы на входе и три на выходе) – как правило мощностью более 10кВА для питания мощных потребителей.
- ИБП 3 в 1 (3 фазы на входе и одна на выходе) – как правило мощностью 20...40кВА для питания мощных однофазных потребителей.

В целом, применение ИБП является необходимым и важным элементом обеспечения стабильной, надежной и безопасной работы оборудования, что в свою очередь способствует:

- повышению надежности и безопасности работы оборудования;
- предотвращению сбоев в работе и потере данных;
- увеличению срока службы оборудования;

- снижению затрат на ремонт;
- улучшению качества предоставляемых услуг;
- повышению эффективности и конкурентоспособности предприятий.

### **Цели и задачи при проектировании**

1. Основной задачей ИБП является обеспечение непрерывного питания потребителя, в случае сбоя или отключения основного источника питания, а также минимизация времени переключения на батарею при отключения основного источника питания

2. Важной задачей при проектировании ИБП является подбор оптимальной емкости батареи, которой должно быть достаточным для безопасного сохранения данных, завершения технологических процессов и выключения оборудования.

3. Снижение энергопотребления и повышение энергоэффективности устройства за счет применения оптимальной архитектуры, алгоритмов и современной элементной базы.

4. При проектировании ИБП важно учитывать простоту обслуживания и ремонтпригодность. Это касается замены аккумуляторов, силовых модулей и внутренних элементов с наименьшим сроком службы.

5. Как любое сложное электронное устройство ИБП может отказать. Для этого в нем должны быть заложены алгоритмы обработки аварийных ситуаций и быстрого перехода на обходное питание – «электронный байпас». Данный режим не обеспечит бесперебойного питания, но даст время обслуживающему персоналу принять необходимые действия.

6. Немаловажной задачей при проектировании считается конструкция и внешний вид ИБП – это то, что в первую очередь видит потребитель. Несмотря на кажущуюся простоту зачастую эта часть вызывает много трудностей, связанных с технологическими возможностями производства. Разработка компактных унифицированных и легких корпусов для нас является довольно новым направлением. В том числе для решения этих задач в настоящее время на нашем производстве прорабатывается технология изготовления пресс-форм и штампов. Также вижу необходимость в мероприятиях по повышению опыта и квалификации работников данных направлений.

7. Как любое сложное и ответственное изделие ИБП важно обеспечить широким функционалом удаленного мониторинга и управления. Для этих целей разработчиком закладываются внешние порты. Например, для местного мониторинга используются как правило порт дискретных сигналов и порт RS-485. Для удаленного мониторинга используется порт Ethernet под управлением протокола SNMP или web-интерфейса. К интерфейсам удаленного мониторинга все больше появляется требований, связанных с защищенным доступом (логин, пароль), проверку IP адреса, выгрузкой журналов событий, синхронизацией с сервером точного времени, отправкой sms-сообщений и много другое.

8. Все эти цели и задачи требуют участия в разработке ИБП специалистов разных направлений и их тесного взаимодействия.

## Основная часть

### 1. Применение импортных комплектующих

ИБП в зависимости от типа и мощности может содержать от 150 до 300 наименований комплектующих и материалов. К сожалению, большинство деталей это импортные комплектующие, для которых остро стоит вопрос проработки и отладки логистики поставок. Без этого стоимость комплектующих оказывается завешенной, что в свою очередь ведет к удорожанию конечного продукта и снижению конкурентоспособности. На рисунках 1 и 2 приведен примерный количественный и стоимостной состав отечественных ИБП по комплектующим.



Рис. 1

Рис. 2

По этой причине многие производители предпочитают импортировать готовые изделия под своим брендом. Но ситуация на рынке в любое время может измениться и мы к этому должны быть готовы. В данный момент у нашего завода есть законченные модели On-line ИБП полностью собственной разработки включая ПО. Это касается как однофазных, так и трёхфазных моделей ИБП. Наличие данных наработок и опыта позволяют при необходимости расширять номенклатуру изделий новыми моделями и оперативно вносить практически любые изменения, чтобы соответствовать опросным листам заказчика. Также стоит добавить, что наличие собственного производства позволило нам включить свою продукцию в реестр Минпромторга.

### 2. Этапы проектирования

Работы по проектированию ИБП можно разделить на этапы, каждый из которых решает свои задачи

Этап проектирования	Описание
1. Дизайн и эргономика	Определяют конструкцию, внешний вид и удобство управления и контроля.

Этап проектирования	Описание
2. Разработка схемотехники на базе выбранной топологии. Топология определяется типом ИБП	На данном этапе схемотехника делится на узлы их как правило около 5-8. Каждый узел разрабатывается и отлаживается. При этом каждый узел должен сопрягаться по токам, напряжениям и протоколом с взаимодействующими узлами. На данном этапе разрабатываются печатные платы их схемотехника, соединения между ними и другими устройствами. Сюда также входят расчеты электрических и тепловых характеристик для различных режимов работы. Также на данном этапе закладываются шины передачи данных между отдельными узлами и внешние интерфейсы.
3. Разработка внутреннего программного обеспечения	Каждый узел ИБП как правило имеет свой управляющий микроконтроллер, в который зашит алгоритм управления и протоколы обмена данными с другими узлами. На этом этапе разрабатывается ПО нижнего уровня. Большую часть времени занимает подбор и оптимизация алгоритмов по обеспечению заявленных характеристик ИБП.
4. Разработка внешнего программного обеспечения	На данном этапе разрабатывается ПО верхнего уровня для внешнего взаимодействия с ИБП. К началу данного этапа уже имеется общая карта регистров ИБП. От разработчика требуется обеспечить безопасный двусторонний обмен с этими регистрами по заявленным интерфейсам и удобную визуализацию информации на ПК оператора.
5. Разработка КД, ЭД, ПМИ, ТД и иной документации необходимой для производства ИБП	На последнем этапе разрабатывается документация необходимая для серийного производства, проведения испытаний и эксплуатации готового изделия.

### 3. Конкурентоспособность

Конкурентоспособность ИБП на рынке определяется:

- ⌚ функциональными возможностями;
- ⌚ электрическими характеристиками;
- ⌚ дизайном
- ⌚ стоимостью.

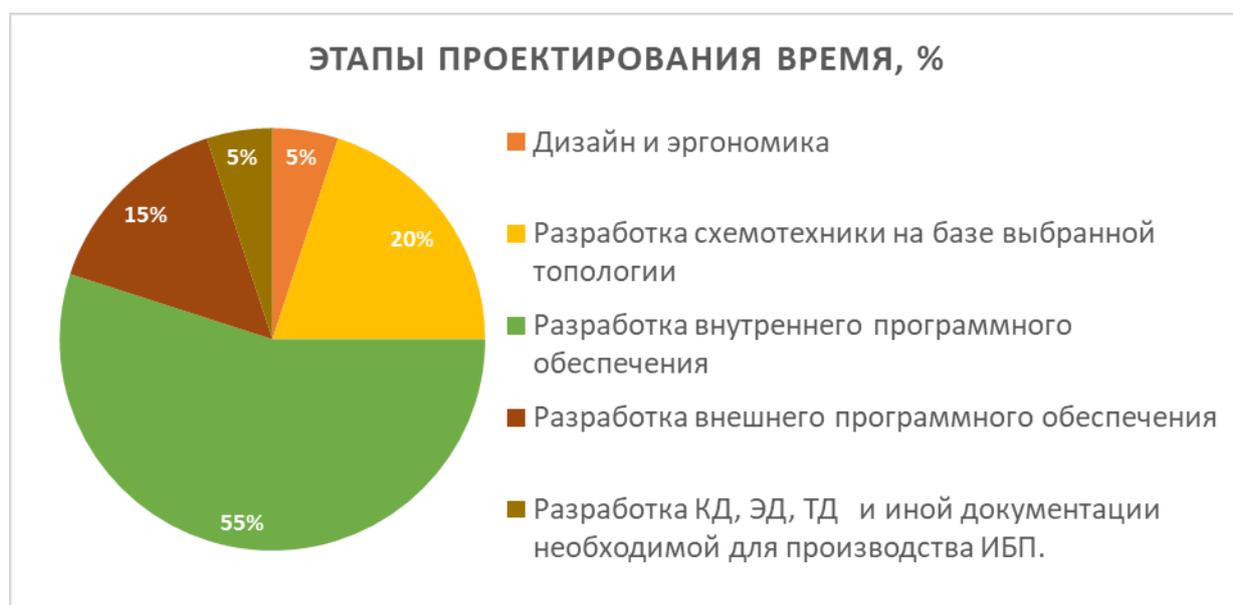


Рис. 3

Если рассмотреть эти критерии между собой, то видны две тенденции. С одной стороны, чем выше функциональные возможности, электрические характеристики и лучше дизайн, тем выше конкурентоспособность. Но с другой стороны, эти же критерии ведут к повышению стоимости, а следовательно, и снижению конкурентоспособности изделия. Стоит отметить, что есть способы увеличить конкурентоспособность не увеличивая стоимость — это разработка и применения новых программных алгоритмов работы, а также поиск и применение новых видов комплектующих. Это увеличит затраты на разработку, но не приведет к увеличению стоимости серийного изделия.

#### 4. Направление развития в проектировании ИБП

К настоящему времени уже выработались оптимальные топологии построения различных типов ИБП. Развитие идет в программной части, применении новых комплектующих и технологий производства. Поговорим об основных тенденциях.

Первые модели ИБП имели очень громоздкую схемотехнику. С появлением 16-разрядных, а затем 32-разрядных микроконтроллеров, содержащих аналоговую периферию такую как АЦП, ЦАП, компараторы, операционные усилители схемотехника начала уменьшаться. Программное обеспечение различных узлов современных ИБП как правило не превышает 64 кбайт Flash и 8 кбайт ОЗУ. Гораздо большее значение имеет скорость выполнения инструкций, которая определяется частотой тактирования микроконтроллера. Если не использовать оптимизацию скорости выполнения кода, то частоты в 72 МГц для 32-битного микроконтроллера вполне достаточно. Тенденция ведет к тому, что в схемотехнической части остаются только силовые элементы, высоковольтные делители напряжений, специализированные микросхемы и микроконтроллеры с небольшим обвесом, а также фильтрующие элементы. Как следствие размер печатных плат уменьшается, применение чип элементов также этому способствует.

К настоящему времени на рынке имеется много специализированных микросхем питания и передачи данных, они также значительно уменьшают и во многих случаях удешевляют конструкцию. Снижение количества комплектующих за счет применения специализированных микросхем ведет к уменьшению вероятности брака и отказа. Такие микросхемы обладают широким спектром встроенных защит, хорошо продуманной и отлаженной схмотехникой с минимальным количеством обвеса внешних элементов.

К основным тенденциям развития ИБП также относится повышение КПД. Существует два основных направления его повышения это:

⌚ снижение внутреннего потребления (питание микросхем, реле, вентиляторов охлаждения);

⌚ снижение падения напряжения на силовых элементах (транзисторы и диоды, дроссели, провода).

Как видим для снижения внутреннего потребления необходимо переходить на специализированные микросхемы и микроконтроллеры, применять реле с низким током удержания, применять более эффективные вентиляторы с регулируемым уровнем обдува.

Для снижения падения напряжения необходимо в пределах разумного увеличивать сечения намоточных проводов и других элементов монтажа. Наиболее сложным и дорогостоящим решением является снижение падения на силовых транзисторах и диодах. Для этого необходимо увеличить их быстродействие и снизить падение в открытом состоянии. С появлением высоковольтных MOSFET транзисторов и диодов шоттки на основе карбида кремния производители ИБП начали уходить с IGBT транзисторов и быстродействующих диодов. А с недавних пор на рынок вышли карбид-кремниевые транзисторы SiC-MOSFET. В отличие от обычных MOSFET они имеют в разы меньше входную емкость, что позволяет обеспечить более высокую скорость управления при меньшем токе затвора. Диоды шоттки на основе карбида кремния имеют нулевое время обратного восстановления и низкое падение в открытом состоянии, чем не могут похвастаться быстродействующие диоды. Применение диодов шоттки в силовых преобразователях также позволяет убрать эмиссию электромагнитных помех, вызванную импульсными токами обратного восстановления диода.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

### **Информация об авторе**

*Врацкий П. А.* – начальник отдела перспективных разработок.

Научная статья  
УДК 621.3+378

## **Значимость внедрения стендовых технологий в систему целевого обучения АО «НПО "Спецэлектромеханика"»**

**Денис Сергеевич Долгий**

АО «НПО "Спецэлектромеханика"», Брянск, Россия

dolgiy.d@semgroup.ru, <http://orcid.org/0009-0006-5860-2751>

**Аннотация.** Актуальность рассматриваемой темы обоснована необходимостью повышения уровня знаний студентов, что положительно скажется на трудоустройстве молодых сотрудников.

**Ключевые слова:** стенд, уровень знаний, трудоустройство, работа, студент.

**Для цитирования:** Долгий Д. С. Значимость внедрения стендовых технологий в систему целевого обучения АО «НПО "Спецэлектромеханика"» // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 17–18.

Стендовое оборудование является достаточно важной частью образовательного процесса. С его помощью студенты смогут получить практические навыки работы за той или иной системой или оборудованием, а также узнают состав или принцип работы. Из-за этого внедрение стендового оборудования должно активно применяться в учебный процесс.

Студент, работающий за стендом, сможет, в первую очередь увидеть состав стенда, ознакомиться с современным оборудованием и принципом работы современных систем в той системе, работу которой имитирует стенд. В рамках учебного процесса работа со стендами сможет облегчить усвоение материала, а также заинтересовать студента в дальнейшем изучении предмета.

Также стенды используются на предприятиях для контроля качества продукции. Это позволяет выявлять недостатки, браки и другие возможные дефекты.

При работе за данным стендом студент может ознакомиться с современной системой пожарной сигнализации. Также на стенде используется автоматизированное рабочее место «Орион ПРО», что позволяет не только физически работать с самим стендом, но и управлять ею с помощью компьютера. Также данный стенд можно использовать для повышения квалификации работников, которые работают непосредственно с системами пожарной сигнализации.

Таким образом, стенды помогут студентам, устраивающимся на работу получить знания в той области, в которой работает организация. А это в свою очередь повлияет на скорость работы, усвоения новых знаний, так как разбираться в новых системах проще, когда есть хоть какие-то знания. Можно сделать вывод, что внедрение стендового оборудования в учебные заведения игра-

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.  
ет важную роль, так как повысит уровень знаний студентов именно в той области, в какой они хотят работать.

### **Список источников**

1. Борисов А.М., Нестеров А.С., Горожанкин А.Н., Драчев Г.И. Перспективы развития лабораторного практикума по курсу «Автоматизация типовых технологических процессов и производственных установок». Брянск, 2012. 6 с.

2. Борисов А.М., Нестеров А.С. Лабораторный практикум для изучения средств автоматизации и управления. Брянск, 2010. 4 с.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

### **Информация об авторе**

*Долгий Д. С.* – инженер-конструктор без категории отдела разработок систем автоматизации.

Научная статья  
УДК 681.51

## Научный анализ проблемы повышения качества работы систем автоматического регулирования

Денис Григорьевич Крутохвостов

АО «НПО "Спецэлектромеханика"», Брянск, Россия

krutohvastovdg@semgroup.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5448-5993>

**Аннотация.** Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы широко используются в нефтехимической промышленности. Основным условием для успешного внедрения систем автоматического управления с использованием ПИД-регуляторов на предприятиях нефтехимического комплекса является качественная настройка системы управления. Один из способов, который способен повысить качество работы регуляторов базовой системы управления, – это использование существующих методов настройки ПИД-регуляторов и создание новых методов и моделей настройки. Большое число методов настройки ПИД-регуляторов приводит к необходимости анализа предложенных методов и выявления их преимуществ и недостатков. В статье приведен сравнительный анализ нескольких наиболее известных методов настройки ПИД-коэффициентов.

**Ключевые слова:** ПИД-регулятор, метод Циглера–Никольсона, метод Стогестада, метод Чина–Хронеса–Ресвика, автонастройка регулятора.

**Для цитирования:** Крутохвостов Д. Г. Научный анализ проблемы повышения качества работы систем автоматического регулирования // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 19–24.

### Введение

В настоящий момент в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) ПИД-регулятор является самым популярным, так как его использование уменьшает реакцию системы и отклонения регулируемого параметра от нормативного значения. Эффективная настройка параметров ПИД-регулятора основная задача системы автоматического регулирования (САР). Исследования проводятся для замкнутых систем автоматического управления, в которых выходное воздействие рассчитывается в постоянной зависимости от управляемой величины, эта зависимость, которая связывает вход и выход системы, получила название обратная связь.

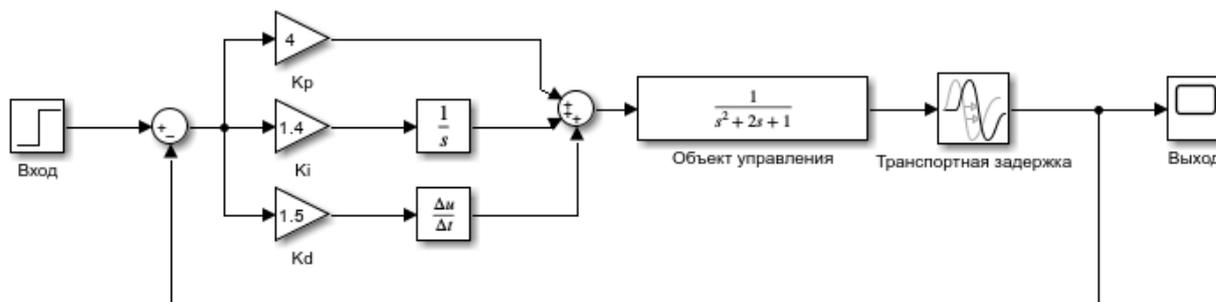
### 1. Математическая модель ПИД-регулятора

Для определения эффективности методов настройки ПИД-регуляторов [1], необходимо провести научный анализ основных методов по отношению к одному ОУ (объекту управления). В качестве ОУ будем использовать непре-

рывный динамический объект с транспортной задержкой, математическая модель объекта задается передаточной функцией [2]:

$$W(x) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1} e^{-0.2s}. \quad (1)$$

Для моделирования используем программу Matlab Simulink. Время шага 0,01с, время моделирования 120с. На *рис. 1* представлена схема для моделирования.



*Рис. 1.* Схема моделирования объекта (1) с ПИД-регулятором в программе MatLab

## 2. Методы настройки ПИД-регулятора

*Частотный метод Циглера-Никольса.* В основе метода лежит поиск границы устойчивости (автоколебаний), при которой сдвиг по фазе в контуре равен сто восемьдесят градусов. Вместо переходной характеристики объекта, использует параметры: полный период колебаний ( $dt$ ) и значение пропорционального коэффициента при котором возникают автоколебания ( $K_{ust}$ ), определяемые по переходной характеристике объекта управления при автоколебаниях. Параметры регулятора определяются по формулам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Формулы для определения коэффициентов

Регулятор	$K_p$	$K_i$	$K_d$
ПИД	$0,6 * K_{ust}$	$2 * K_p / dt$	$K_p * dt / 8$

Коэффициенты, рассчитанные по методу Циглера-Никольса:  $K_p = 3,54$ ;  $K_i = 2,45$ ;  $K_d = 1,285$ . Переходный процесс с настройками по методу Циглера-Никольса изображен на *рис. 2*.



Рис. 2. Метод настройки Циглера-Никольса

Главным недостатком этого метода является минимальный запас устойчивости системы из-за медленного выравнивания колебательного процесса, так же в нем не учитываются требования к устойчивости. Он часто используется для генерации начальных параметров, которые затем настраиваются с использованием методов оптимизации.

*Метод Стогестада.* По идентифицированным параметрам ОУ находят оптимальные коэффициенты настройки. Принцип настройки методом Стогестада основывается на задании желаемого вида переходной характеристики замкнутой САУ путем выбора желаемой постоянной времени ( $T_c$ ). Формула расчета коэффициентов приведена ниже (2).

$$k_p = T_1/k * (T_c + \tau), T_i = \min[T_1; c(T_c + \tau)], T_d = T_2, \quad (2)$$

где  $T_1, T_2, k, \tau$  – параметры ОУ,  $T_c$  – желаемая постоянная времени,  $c$  – параметр.

Коэффициенты, рассчитанные по методу Стогестада:  $K_p = 0,543$ ;  $K_i = 1$ ;  $K_d = 2$ . Переходный процесс с настройками по методу Стогестада показан на рис. 3.

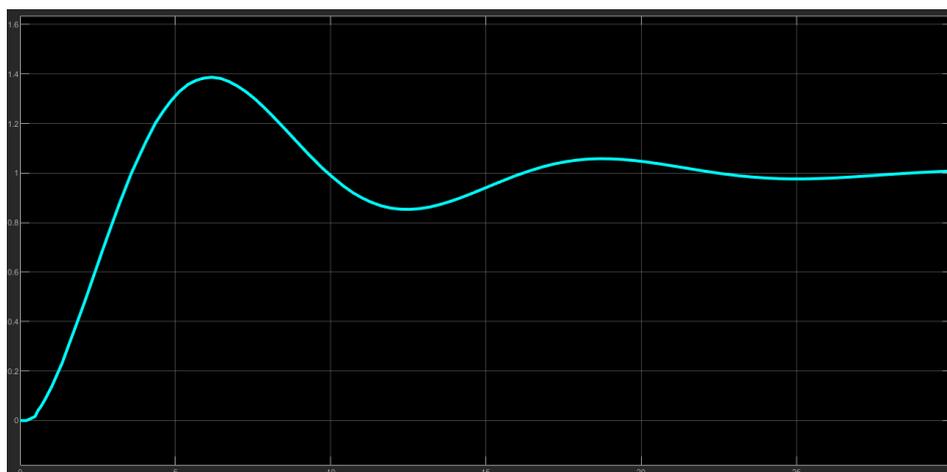


Рис. 3. Метод настройки Стогестада

*Метод Чина-Хронеса-Ресвика.* Является доработанным методом Циглера-Никольса. В основе метода лежит определение значений ( $a, L$ ) по переходной характеристике ОУ исходя из ее графика. Чин, Хронес и Ресвик в отличие от Циглера и Никольса, использовавших декремент затухания, использовали

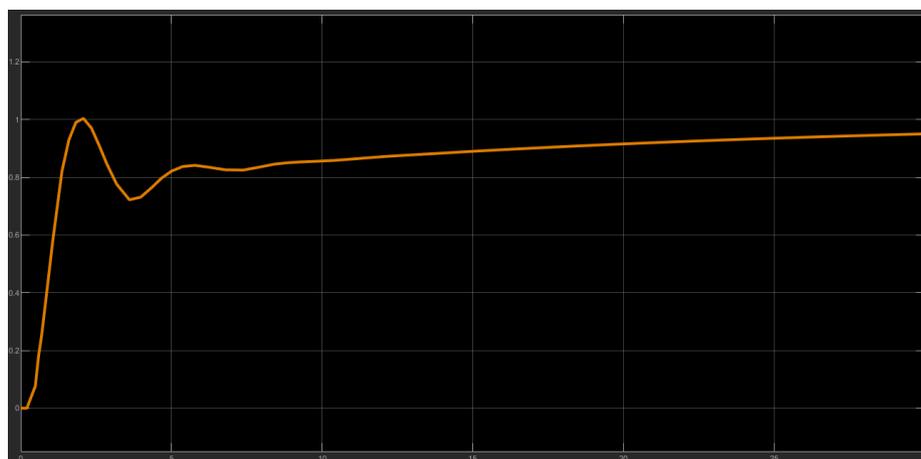
максимальную скорость возрастания при перерегулировании не больше 20% или полном отсутствии перерегулирования, этот критерий дает хороший запас устойчивости системы. Главные преимущества метода - легкость настройки параметров. Параметры регулятора определяются по формулам, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Параметры настройки и качества системы

Регулятор	$K_p$	$K_i$	$K_d$
Без перерегулирования	0,6/a	L/ $K_p$	0,5*L/ $K_p$
С перерегулированием 20%	0,95/a	1,4*L/ $K_p$	0,5*L/ $K_p$

Коэффициенты, рассчитанные по методу Чина-Хронеса-Ресвика:  $K_p=2,85$ ;  $K_i = 0,198$ ;  $K_d = 0,066$ . Переходный процесс с настройками без перерегулирования по методу Чина-Хронеса-Ресвика представлен *рис. 4*.



*Рис. 4.* Метод настройки Чина-Хронеса-Ресвика

Приближенная настройка и малый запас устойчивости системы определяют основные недостатки этого метода.

Для сравнения методов настройки, рассмотренных выше, используем основные показатели качества регулирования: перерегулирование ( $d$ ) и время переходных процессов ( $t_p$ ). В табл. 3 представлены параметры настройки и показатели качества работы регуляторов.

Таблица 3

Параметры настройки и качества системы

Метод	$K_p$	$K_i$	$K_d$	$d, \%$	$t_p, c.$
Циглера-Никольса	3,54	2,45	1,285	28,9	6,9
Стогестада	0,543	1,0	2,0	38,7	40
Чина-Хронеса-Ресвика	2,85	0,198	0,066	0,08	80

Исходя из данных приведенных в табл. 3 видно, что наиболее оптимальным методом для настройки коэффициентов приведенной модели является ча-

стотный метод Циглера-Никольса, при нем достигается наименьшее перерегулирование (28,9%) и оптимальное время переходного процесса (6,9 с). Общий график со всеми рассмотренными методами настройки регулятора представлен на рис. 5

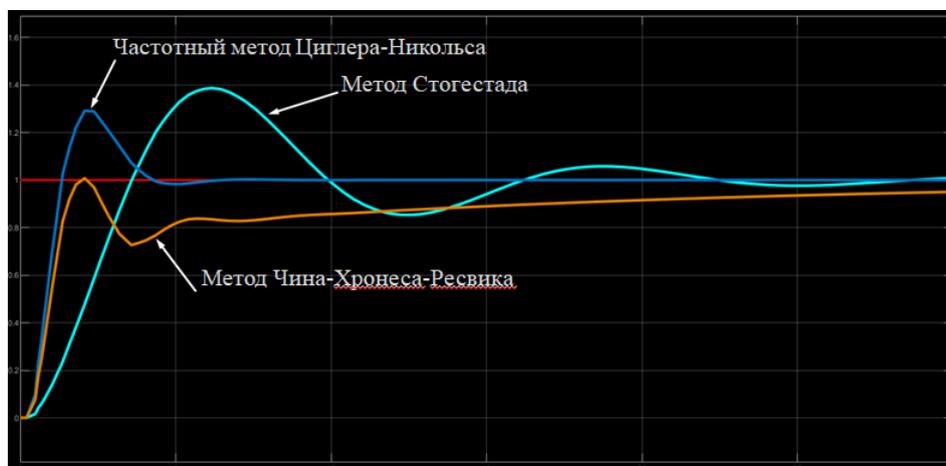


Рис. 5. Переходные процессы (Циглера-Никольса, Стогестада, Чина-Хронеса-Ресвика)

### Заключение

На практике мы проанализировали только несколько основных методов настройки ПИД-регуляторов. Они повсеместно применяются, но имеют глобальные недостатки: низкое качество работы регулятора и большие трудозатраты на нахождение коэффициентов. Проанализировав научную литературу в области настройки и повышения качества регулирования, обнаружил, что малое внимание уделяется вопросам автоматической настройки и адаптации ПИД-регулятора к изменениям в технологическом процессе, а также применению нейронных сетей для настройки коэффициентов. Считаю необходимым более глубокое изучение данного вопроса, а также разработку отечественных программно-технических комплексов и методов для подбора качественных коэффициентов ПИД-регулятора.

### Список источников

1. Жмудь В.А. О методах расчета ПИД-регуляторов // Автоматика и программная инженерия. 2013. № 4.
2. Сидорова А.А. Определение наиболее эффективного метода настройки ПИД-регулятора // ИТСА. 2012. № 5. С. 140–150.
3. Попадько В.Е., Барашкин Р.Л., Калашников П.К., Данилов Д.К. Разработка учебного программно-технического комплекса для исследования алгоритмов автоматической настройки регуляторов. Инновационные технологии в подготовке кадров для нефтегазового комплекса // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2021. № 8 (577). С. 69–74.
4. Егупов Н.Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. 744 с.

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.

5. Ключев А.С. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. М.: Альянс, 2009. 368 с.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

**Информация об авторе**

*Крутохвостов Д. Г.* – ведущий инженер-программист отдела разработки программного обеспечения АО «НПО "Спецэлектромеханика"».

Научная статья  
УДК 658.5+004.4

## **Методы мониторинга АСУ ТП на базе программируемых логических контроллеров и SCADA-систем: современное состояние и перспективы развития**

**Игорь Григорьевич Крутохвостов**

АО «НПО «Спецэлектромеханика», Брянск, Россия

KrutohvastovIG@semgroup.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7879-0796>

***Аннотация.*** Основу автоматизированных систем управления технологическим процессом составляют системы, построенные на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) и SCADA-систем. Данный выбор позволяет эффективно провести автоматизацию объекта практически любой сложности для различных отраслей промышленности. В условиях постоянной модернизации АСУ ТП остро стоит вопрос разработки и внедрения методов мониторинга функционального соответствия АСУ ТП требованиям нормативной и проектной документации. В статье рассмотрены способы реализации мониторинга АСУ ТП.

***Ключевые слова:*** мониторинг АСУ ТП, автоматизированный контроль АСУ ТП, тестирование АСУ ТП.

***Для цитирования:*** Крутохвостов И. Г. Методы мониторинга АСУ ТП на базе программируемых логических контроллеров и SCADA-систем: современное состояние и перспективы развития // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 25–29.

Надежное функционирование подобных АСУ ТП напрямую зависит от качества разработанного программного обеспечения, методов и способов его поддержки, а также своевременного обслуживания. Большое разнообразие используемого оборудования, уникальность каждой отдельно взятой системы ставят перед эксплуатирующим персоналом непростую задачу по типизации и максимальному повышению эффективности контроля, технического обслуживания и ремонта. Дополнительную сложность вызывает непрерывный процесс модернизации АСУ ТП, в том числе в условиях действующего производства.

На каждом этапе внесения изменений в программное обеспечение требуется проведение комплексных испытаний для подтверждения соответствия функциональных характеристик, предусмотренных техническим заданием. В подавляющем большинстве случаев выполнение данных работ возложено на инженерный персонал производственного объекта.

Контроль качества разработанного программного обеспечения для новых и дорабатываемых АСУ ТП осуществляется в соответствии с техническими,

нормативными и руководящими документами и в большинстве случаев проводится специально созданными комиссиями или рабочими группами.

Можно выделить следующие основные этапы проверки системы на соответствие:

1. Внутренние заводские испытания на территории организации разработчика АСУ ТП
2. Заводские приемо-сдаточные испытания с участием представителей заказчика
3. Проведение испытаний АСУ ТП на соответствие на специализированных промышленных полигонах
4. Проведение автономных индивидуальных испытаний системы на промышленном объекте
5. Проведение комплексного опробования системы на промышленном объекте

В условиях, когда выполнение каждого этапа тестирования, проводимого человеком, занимает значительное время, остро стоит вопрос разработки методов, позволяющих осуществлять автоматизированный мониторинг, диагностику и тестирование АСУ ТП. Основными требованиями, предъявляемыми к методам автоматизированного мониторинга, являются: возможность быстрой конфигурации под постоянно меняющийся состав аппаратно-программных средств АСУ ТП и требования нормативной документации, отсутствие влияния компонентов системы мониторинга на работоспособность и быстродействие всей системы.

Решение задачи может быть выполнено на основе методов:

1. Прямой контроль (изменение технологических параметров, влияющих на состояние объекта).
2. Косвенный контроль (основан на наблюдениях за технологическими параметрами для прогнозирования технического состояния объекта в будущем).
3. Программный контроль (основан на использовании специальных программных кодов, внедряемых в АСУ ТП).
4. Аппаратный контроль (основан на внедрении в систему АСУ ТП контрольной аппаратуры осуществляющей технический контроль и диагностику основной системы).
5. Комбинированные методы контроля (как правило, представляют собой комбинации программного и аппаратного контроля).

Каждый из указанных способов обладает рядом достоинств и недостатков. Использование для мониторинга методов прямого и косвенного контроля, выполняемого человеком не эффективно в полной мере, так как требует большого количества времени для анализа получаемой информации. Использование аппаратного контроля может быть эффективно с точки зрения полученных результатов и скорости работы, но невыгодным в экономическом отношении. Поэтому наиболее перспективными и выгодными в финансовом плане являются методы, основанные на программном контроле.

Достоинство программного контроля в том, что он не требует дополнительных затрат и не усложняет состав объекта, обладает широкими возможностями - может выполнять функции контроля состояния, диагностирования и прогнозирования, а также контроля за выполнением заданных функций. Из недостатков стоит отметить, что расширение объема программного контроля приводит к усложнению программного обеспечения, увеличению объема памяти, в случае внедрения в действующее программное обеспечение может наблюдаться падение быстродействия системы.

Среди решений, реализуемых на практике, наиболее часто встречаются методы мониторинга, основанные на: программном контроле АСУ ТП в режиме реального времени, мониторинге реакций ПО АСУ ТП на специальных программно-аппаратных стендах и анализе информации, формируемой АСУ ТП в процессе эксплуатации. Дополнительно, стоит отметить активное изучение возможности применения технологий искусственного интеллекта в процессе мониторинга АСУ ТП.

Среди решений, основанных на мониторинге АСУ ТП в режиме реального времени, стоит выделить методы, выполняющие анализ сетевого трафика между компонентами АСУ ТП. Данное решение реализуется в виде специального ПО, подключенного в сеть передачи данных, и может использоваться для противодействия угрозам техногенного, антропогенного и природного характера. Система контролирует состояние технологических параметров, а также проводит анализ сетевых потоков на наличие аномалий и несанкционированных действий с информацией. Указанные методы разрабатываются для использования в распределенных системах управления. Стоит отметить сложность реализации мониторинга данным методом в системах с использованием большого количества коммуникационных протоколов для организации связи между компонентами АСУ ТП (Modbus TCP, Modbus RTU, Modbus ASCII, OPC DA, OPC UA, SNMP, Ethernet/IP). Кроме того, в условиях постоянно усиливающихся требований информационной безопасности получение информации от многих компонентов АСУ ТП ограничено или невозможно.

Крайне перспективными выглядят методы, построенные на имитационном моделировании. Имитационная модель АСУ ТП интегрируется с реальным программным обеспечением АСУ ТП. Интеграция заключается в генерации в модели входных сигналов в формате тестируемой системы, посылке сигналов в тестируемую систему вместо реальных входных сигналов от технологического оборудования и получения обратной связи от тестируемой системы [2]. Применение данного метода позволяет наиболее полным образом провести проверку функционального соответствия системы. Решается проблема отсутствия полного перечня технологического оборудования на территории организации, выполняющей разработку или доработку системы. При использовании данного метода могут быть автоматически проверены действия АСУ ТП в аварийных ситуациях, тестирование которых на реальном объекте нецелесообразно или невозможно.

Кроме описанных выше методов на практике встречаются методы, основанные на анализе информации формируемой АСУ ТП в процессе эксплуата-

ции. В качестве информации для анализа могут использоваться следующие данные:

1. Оперативные и исторические журналы событий АСУ ТП
2. Исторические тренды технологических параметров АСУ ТП
3. Исходные коды программного обеспечения АСУ ТП
4. Состояние каналов модулей ввода-вывода, а также сигналов от смежных систем подключенным по интерфейсным линиям связи
5. Состояние внутренних переменных и регистров программного обеспечения ПЛК и SCADA систем
6. Данные OPC-серверов (в случае использования OPC-сервера для организации связи между компонентами АСУ ТП)

Использование этих данных позволяет наиболее точно идентифицировать состояние системы в заданный момент времени. Для оценки состояния системы (конечного результата анализа) используются: нормативные документы и регламенты, технологические карты АСУ ТП (например, карты уставок, защит и блокировок АСУ ТП, карты проверок отдельных элементов АСУ ТП, таких как задвижки, магистральные насосы и т.д.).

С развитием и повсеместным внедрением АСУ ТП разрабатываются и методы мониторинга, использование которых позволяет существенно повысить надежность, эффективность и безопасность систем. Рассматриваемой теме уделяется большое внимание со стороны организаций разрабатывающих и эксплуатирующих данные АСУ ТП, высших учебных заведений, научно-исследовательских центров. На практике же, процесс внедрения данных технологий на промышленных объектах находится на начальном этапе, прежде всего по причине сложности реализации, дополнительных финансовых затрат, необходимости технического обслуживания систем мониторинга. Что же касается перспектив, то нет никаких сомнений в повсеместном распространении и внедрении систем автоматизированного мониторинга АСУ ТП в будущем.

### **Список источников**

1. Аралбаев Т.З., Аралбаева Г.Г., Абрамова Т.В., Галимов Р.Р., Манжосов А.В. Оптимизация методов контроля технического состояния распределенных автоматизированных систем: монография / Оренбург. гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019.

2. Журавлев С.С., Окольнішников В.В., Рудометов С.В. Инструментальные средства отладки и тестирования программ управления АСУ ТП / Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН. Новосибирск, 2016.

3. Основина О.Н. Диагностика и надежность автоматизированных систем: методическое пособие. Старый Оскол. СТИ МИСиС, 2006.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.

**Информация об авторе**

*Крутохвостов И. Г.* – начальник отдела разработки программного обеспечения АО «НПО "Спецэлектромеханика"».

Научная статья  
УДК 621.314

## Разработка регулируемого источника высокого напряжения

**Сергей Владимирович Седых**

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия  
Serezha.sedyh2017@yandex.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-3624-1255>

**Аннотация.** В статье описан высоковольтный источник напряжения (ВВИН), обеспечивающий регулировку как по напряжению в диапазоне 60...8000 В, так и по току 0...3 А. Рассмотрен выбор оптимальной топологии высоковольтного источника для обеспечения максимальной выходной мощности 15 кВт и высоких показателей энергоэффективности. Приведена математическая модель ВВИН с пояснениями его структурных блоков.

**Ключевые слова:** высоковольтный источник напряжения, ZVS, ZVT.

**Для цитирования:** Седых С. В. Разработка регулируемого источника высокого напряжения // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 30–33.

На сегодняшний день использование высоковольтной силовой техники нашло отражение во многих отраслях народного хозяйства. В медицине она используется при рентгенографии, в магнитно-резонансной томографии (МРТ), медицинских лазерах, при лечении раковых опухолей методом электротерапии и т.д. В сельском хозяйстве высокое напряжение используют при дезинфекции воды от опасных микроорганизмов и бактерий и т.д. Самые обширные области применения техники высоких напряжений находятся в промышленной сфере, а также экспериментальных исследования различных направлений развития физики. Например, для контроля металлоконструкций и обеспечение безопасности, радиопередающая и радиолокационная аппаратура для гражданских и военных целей и т.д. [1].

Построение любого импульсного источника питания начинается с изучения характера нагрузки и выбора оптимальной топологии схемы силовой части. Но поскольку нагрузка представляла собой физико-исследовательскую установку со сложным поведением, полагаться оставалось только на основные требования заказчика, а именно: диапазон регулирования по напряжению 60...8000 В, по току 0...3 А, с полосой пропускания 5 кГц и максимальной статической мощностью 15 кВт. Топологий силового канала на данный момент разработано большое количество. Основное разделение осуществляется на изолированные и не изолированные схемные решения. Так остановившись на изолированном типе, наибольшей производительностью обладают схемы полу- или полно- мостовых преобразователей, а также на их базе многоуровневые. Двухтактные схемы двух транзисторного прямоходового преобразователя «ко-

сой мост» позволяет получить до 1 кВт, полумостового и преобразователя типа «push-pull» до 2 кВт мощности. В полномостовых можно извлечь от одного до десятков кВт. В инверторах подобного типа возможно реализовать переключения с малыми коммутационными потерями, так называемое «мягкое переключение» [2].



Рис. 1. Классификация типов преобразователей напряжения

Модель силового канала содержит блок «DC Voltage Source», имитирующий выпрямитель сетевого напряжения, блок «Inverter», учитывающий не только схему и тип силовых ключей, но и их реальные параметры. Блоки «C16» нейтрализующий подмагничивание сердечника трансформатора «TV1» и снабберная цепь «R49, R50, C40» моделируют элементы демпфирующие перенапряжения на диодах с высоким  $du/dt$ .

Модель силового трансформатора TV1 линеаризована, что допустимо при сравнительно небольших значениях магнитной индукции. Модель высоковольтного выпрямителя («VD5»...«VD20») воспроизводит принципиальную схему с учётом элементов выравнивания обратных напряжений. Выходной фильтр представлен на схеме модели элементами «C17», «L3», «L4». Имитаторами нагрузки служат блоки «RLoad1», «RLoad2», «Breaker».

Представленная на рис. 2 математическая модель не охватывает все устройства в составе высоковольтного источника напряжения (ВВИН) и базируется на ряде упрощений, но может быть основой для проведения дополнительных имитационных экспериментов.

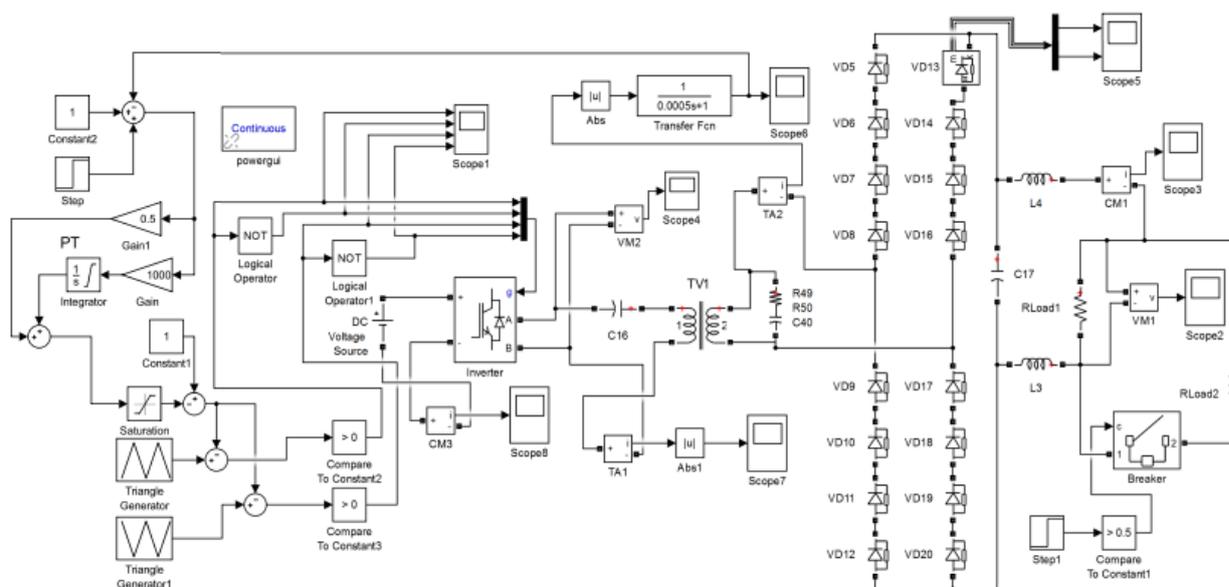


Рис. 2. Математическая модель высоковольтного источника напряжения

Диаграмма, представленная на рисунке 3, отражает реакцию системы регулирования (стабилизации) среднего значения выходного тока на следующие воздействия. В момент времени  $t=0$  формируется задание тока в 1 А. В момент времени  $t = 0,002$  с задание ступенчато увеличивается до 2 А. Всё это время сопротивление нагрузки («RLoad1»), составляет 3,5 кОм. В момент времени  $t = 0,006$  с с помощью коммутатора (блок «Breaker») нагрузка увеличивается за счёт дополнительного подключения сопротивления 5 кОм.

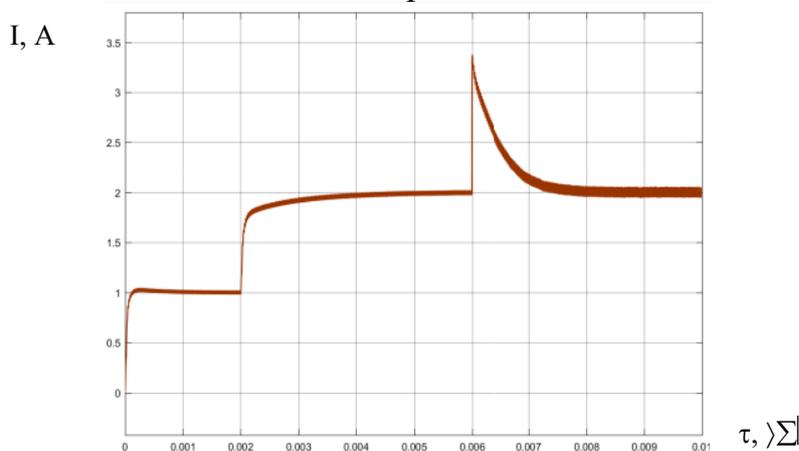


Рис. 3. Диаграмма среднего значения выходного тока

Конструктивно ВВИН представляет собой 2 секции: низковольтную и высоковольтную части. Секции представляют собой закрытые металлические коробки с отверстиями под вентиляцию, входным питающим и выходным клеммниками, а также органами управления. В низковольтной части расположены входные фильтры от помех и сглаживающие, модули диодного моста и силовых транзисторных сборок, а также контроллер управления. В высоковольтной части находится повышающий трансформатор (1:13), дополнительный дроссель для настройки резонансного контура и конденсатора в первичной це-

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.  
пи. Выпрямительный блок, собранный по схеме полного моста, установленного на изолированные стойки из полиацетала.

### **Список источников**

1. Bharagv A., Kumar R., Tapan S., Gupta L. and Gupta A.R. High Voltage and its Applications: A Review // 2018 IEEE 8th Power India International Conference (PICON). Kurukshetra, India, 2018. P. 1–6. DOI 10.1109/POWERI.2018.8704370.

2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005. 632 с. ISBN 978-5-94836-051-2.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

### **Информация об авторе**

*Седых С. В.* – аспирант 4 курса Брянского государственного технического университета.

Научная статья

УДК 338.45+004.3'144 : 621.314

## **Результаты анализа состояния и тенденций развития современного рынка источников бесперебойного питания**

**Максим Сергеевич Сиротский**

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

sirotskiys@gmail.com✉, <https://orcid.org/0009-0003-0269-3031>

**Аннотация.** Построение современных электротехнических комплексов электроснабжения потребителей первой категории особой группы получает все большее распространение при использовании в нефтегазовом секторе промышленности, центрах обработки и хранения данных, медицине, а также других отраслях промышленности и народного хозяйства. Отличительным признаком таких систем является обязательное наличие третьего независимого взаимно резервирующего источника питания, в качестве которого применяются дизельные генераторы и источники бесперебойного электропитания (ИБП).

Главной идеей данной статьи является исследование рынка источников бесперебойного питания с постановкой задач и направлений поиска решений, которые позволят повысить эффективность выбора электротехнического оборудования, а также обеспечить бесперебойную эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла изделий в дальнейшем.

**Ключевые слова:** ИБП, электротехнический комплекс, первая категория электроснабжения, особая группа.

**Для цитирования:** Сиротский М. С. Результаты анализа состояния и тенденций развития современного рынка источников бесперебойного питания // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 34–40.

### **Анализ рынка ИБП**

На мировом рынке в 20 веке существовала парадигма, в которой ИБП считался опциональным и необязательным продуктом. У эксплуатирующих компаний и потребителей отсутствовала готовность к тому, что оборудование нужно защищать от перепадов напряжения в электросети и его аварийного отключения. Однако в 21 веке произошел тектонический сдвиг в сознании пользователей, который тесно связан со значительным ростом использования электрических устройств.

Главной движущей силой глобального рынка ИБП является значительное увеличение числа сбоев в работе электрооборудования, связанных с отключением электроэнергии и скачками напряжения. По данным ряда исследований за последние двадцать лет частота отключений электроэнергии удвоилась [1]. При этом доля новых технологий на рынке растет. Оборудование с машинным обу-

чением, искусственный интеллект, центры обработки данных (ЦОД) и робототехнические технологии, все они подталкивают также к росту количества ИБП на мировом рынке. Также стоит отметить переход рынка на литий-ионные батареи взамен традиционных свинцово-кислотных вариантов устройств.

По прогнозам английских аналитиков, мировой рынок ИБП в 2022 году превысил 10 млрд. долларов (рис. 1, 2) [1], при этом доля в промышленном сегменте превысила 2 млрд. долларов.

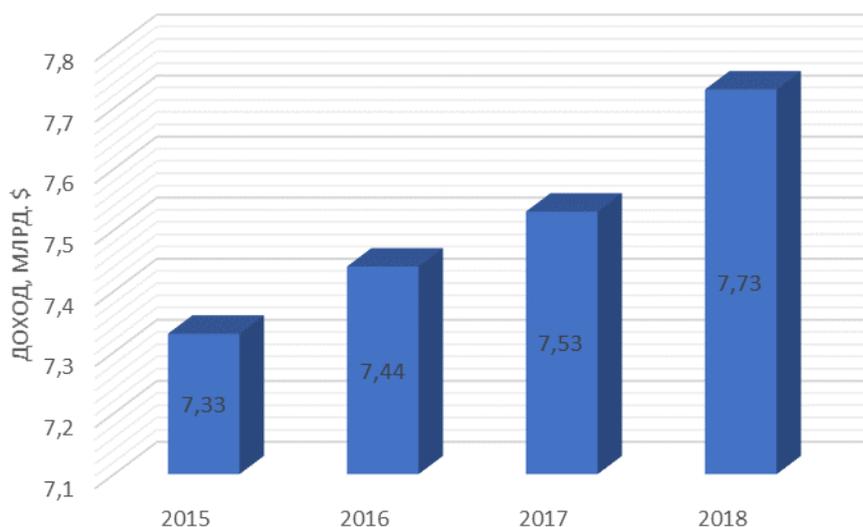


Рис. 1. Динамика изменения объема мирового рынка ИБП

Рынок стран Азиатско-Тихоокеанского региона, будет иметь самый быстрый рост в ближайшем будущем (рис. 2) [1].

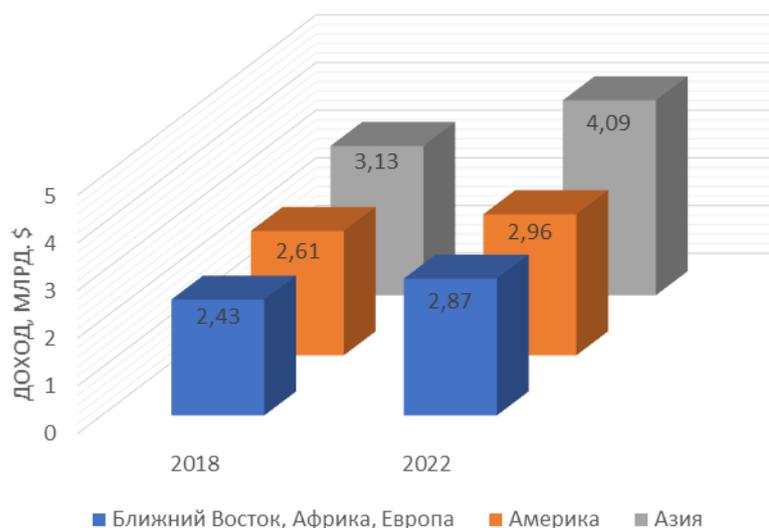


Рис. 2. Продажи ИБП в регионах

По данным индийской аналитической компании Mordor Intelligence объем глобального рынка ИБП, в 2023 году уже достиг 11,24 млрд. долларов, а к 2028 году вырастет до 13,83 млрд. долларов при среднегодовом темпе роста в 4,23% [2].

Российский рынок ИБП обладал большим ростом до 2007 года, в период первичного насыщения рынка компьютерами и связанными с ними ИБП. После чего были периоды плавного «сползания» и роста, связанные с периодическими кризисами (рис. 3). Из графика видно по итогам 2022 года в России было продано около 1,128 млн. штук в денежном эквиваленте на 312 млн. долларов, что ниже 2021 года на 17,3%.

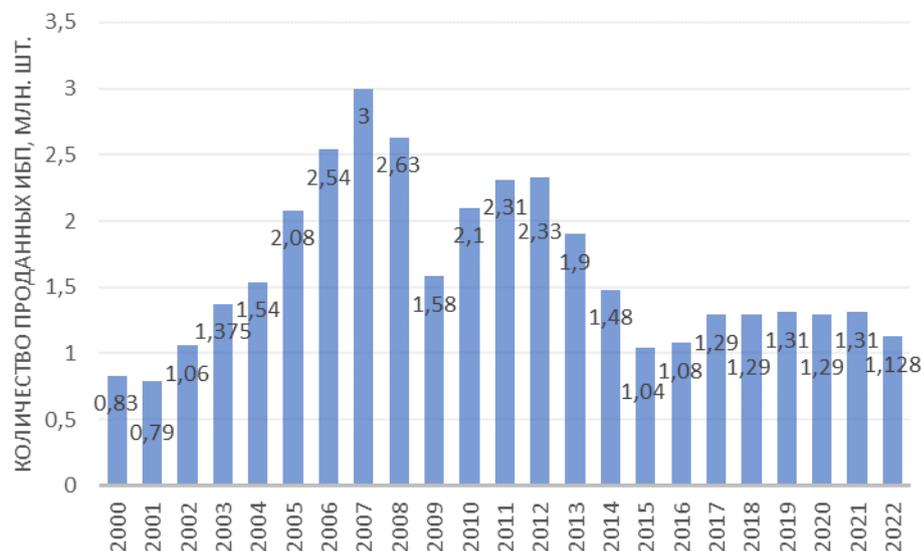


Рис. 3. Динамика российского рынка ИБП

По итогам второго квартала 2023 года уже виден резкий рост российского рынка ИБП, увеличение в денежном выражении от продажи оборудования выросло на 45,6% относительно аналогичного периода 2022 года. Об этом свидетельствуют данные аналитиков, опубликованные в августе 2023 года [3].

На фоне всех событий производство онлайн ИБП внутри страны резко взлетело (с низким уровнем локализации). В денежном эквиваленте доля произведенного оборудования в стране составляет 15%. В штуках много меньше – около 3%, поскольку в России не производится линейно-интерактивное оборудование.

Всего с 2000 года по настоящее время на российский рынок поставлено 37,6 млн. ИБП (рис. 3). Но очевидно, что большинство из них уже вышло из обращения. ИБП в целом довольно надежное оборудование, однако в нем есть одно менее надежное звено - аккумуляторная батарея (АБ), которая в среднем имеет ресурс на 3-5 лет эксплуатации [4, 5, 6, 7], а иногда и меньше (зависит от ее качества и эксплуатационных характеристик). На рынке также присутствуют батареи с ресурсом эксплуатации 10 лет, но доля их небольшая. Дополнительно, следует отметить срок использования ИБП на массовом рынке зачастую ограничивается сроком эксплуатации аккумуляторной батареи.

Для оценки установленной базы ИБП на основании реальных продаж, ряд аналитических компаний формируют расчетный коэффициент выбывания  $K_{\text{выб}}$ , который связан с износом компонентной базы (включая аккумуляторные батареи), физическим и моральным старением оборудования, а также экономическими факторами.

Для построения графиков расчетного коэффициента выбывания  $K_{\text{выб}}$  на макроуровне необходимо разделить ИБП на три класса (рис. 4):

1. массовый с офлайн и линейно-интерактивными устройствами (с высоким коэффициентом нелинейных искажений (КНИ) синусоиды по ГОСТ ИЕС 62040-3-2018 при работе от батарей). Для массового рынка, очень дешевые, которые во многих случаях не ремонтируют и не меняют батарею после исчерпания срока ее жизни.

2. корпоративный с линейно-интерактивными (с низким КНИ синусоиды по ГОСТ ИЕС 62040-3-2018) и онлайн устройствами до 3 кВА. Это ИБП уже для достаточно критичных приложений, изначально более надежное оборудование, в которых обязательно заменяются батареи, проводят обслуживание и ремонт.

3. промышленный с онлайн устройствами мощностью выше 3 кВА (после 8 кВА обычно трехфазные). Оборудование с высоким качеством обслуживанию и ремонта.

Классификация ИБП с заявленным сроком службы приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация ИБП						
Класс ИБП						
массовый		корпоративный		промышленный		
Сфера применения						
защита офисных и индивидуальных ПК, периферия		рабочие станции, серверное и сетевое оборудование, медицинские приборы		промышленное оборудование, ЦОД, IT-системы		
Топология						
офлайн	линейно-интерактивный с высоким КНИ	линейно-интерактивный с низким КНИ	онлайн	онлайн с моноблочной и модульной архитектурой		
Фазы						
1:1	1:1	1:1	1:1	1:1 / 3:1 / 3:3	1:1 / 3:1 / 3:3	3:3
Диапазон мощности (кВА)						
0,3-1	0,4-2,2	0,5-6	1-3	3-10	10-100	120-1500 и более
Средняя мощность эксплуатирующихся ИБП (кВА)						
0,65	0,98	1,73	1,98	7,36	35,8	175
Заявленный производителями срок службы ИБП (лет)						
7	7	5-8	10	10	10-15	15

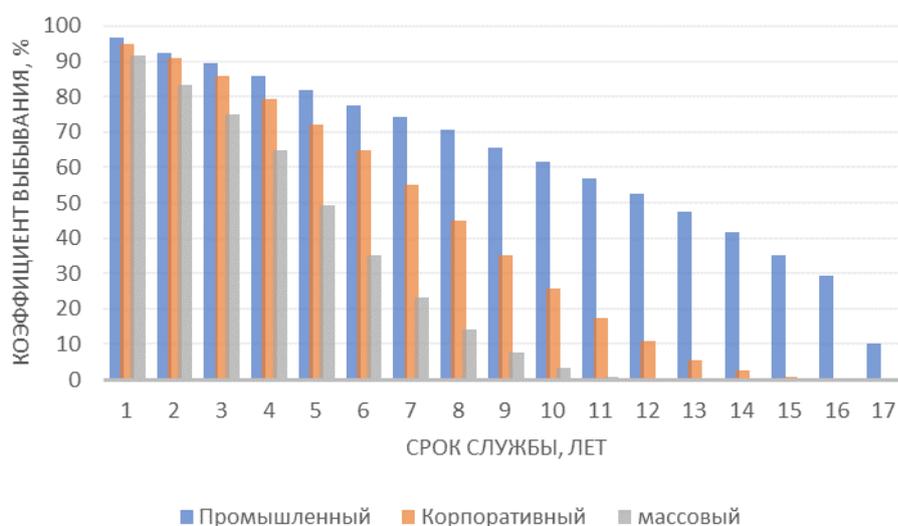


Рис. 4. Коэффициент выбывания  $K_{\text{выб}}$  ИБП по годам

На начало 2023 г. в России в реальной эксплуатации находится 5,97 млн. массовых ИБП, 1,4 млн. корпоративных и 201 тыс. промышленных ИБП [3]. В общем количестве 7,56 млн. ИБП (рис. 5).



Рис. 5. Динамика эксплуатируемых ИБП по годам

Исходя из приведенных данных на рис. 5 видно, что снижение рынка ИБП в 2022 году (рис. 3) произошло за счет массового класса (завязанного на ПК). Корпоративный и промышленный класс при этом фактически немного подрос, что в целом отвечает тенденциям, описанным ранее на основе аналитических данных компании Mordor Intelligence.

В результате анализа рынка ИБП, с целью выбора оптимальной стратегии повышения эксплуатационных характеристик, следует отметить следующие важные показатели:

1. АБ наиболее ненадежное звено в ИБП, что предполагает проведение дополнительного анализа мирового и российского рынка АБ;

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.

2. В 2023 году на территории России в эксплуатации находится 7,56 млн. ИБП;
3. В среднем только 23,3% массовых, 45% корпоративных и 52,5% промышленных ИБП находятся в эксплуатации до заявленного производителем срока.

На основе описанного анализа и эмпирических данных, накопленных в ходе профессиональной деятельности, прослеживается огромный потенциал проведения работ в части повышения эксплуатационных характеристик ИБП.

Российский рынок ИБП за последние два года очень быстро изменился и стал более конкурентным, а с уходом крупных западных игроков у остальных производителей появилась возможность побороться за долю рынка. С полной уверенностью можно сказать, что закрепиться после ухода европейских и американских производителей ИБП на рынке можно будет только при условии высочайшего контроля и повышения эксплуатационных характеристик ИБП, при этом поддерживая экономическую составляющую на рыночном уровне.

### Список источников

1. Информационный материал от ведущего международного поставщика программного обеспечения Cision Ltd. Data Center UPS Market Revenue to Surpass \$10,096.5 Million by 2030, says P&S Intelligence [Электронный ресурс]. URL: <https://www.prnewswire.co.uk/news-releases/data-center-ups-market-revenue-to-surpass-10-096-5-million-by-2030-says-p-amp-s-intelligence-855058663.html> (дата обращения: 19.11.2023).

2. Информационный материал от аналитической компании Mordor Intelligence. Анализ размера и доли рынка ИБП – тенденции роста и прогнозы (2023-2028 гг.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/uninterruptible-power-supply-market> (дата обращения: 19.11.2023).

3. Информационный материал от журнала «Бестселлеры IT-рынка». Сколько в России ИБП на начало 2023 года? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itbestsellers.ru/reviews/detail.php?ID=53967> (дата обращения: 19.11.2023).

4. Инструкция по установке и руководство пользователя. Eaton 5PX [Электронный ресурс]. С. 33. URL: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/eaton-5px-g2-ups/eaton-5px-g2-ups-emea/eaton-5px-g2-ups-emea-resources/eaton-5pxgen2-advanceduserguide-guide-ru-ru.pdf> (дата обращения: 19.11.2023).

5. Technical Specifications. APC Symmetra LX [Электронный ресурс]. С. 13. URL: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Specification+guide&p\\_File\\_Name=SCON-8SBNC7\\_R1\\_EN.pdf&p\\_Doc\\_Ref=SPD\\_SCON-8SBNC7\\_EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Specification+guide&p_File_Name=SCON-8SBNC7_R1_EN.pdf&p_Doc_Ref=SPD_SCON-8SBNC7_EN) (дата обращения: 19.11.2023).

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.

6. Руководство пользователя. Ippon Innova RT II 6000/10000 [Электронный ресурс]. С. 11. URL: [https://static.ippon.ru/data/cert/innova\\_rt\\_ii\\_6000-10000\\_ibp\\_manual\\_06-07-2023.pdf](https://static.ippon.ru/data/cert/innova_rt_ii_6000-10000_ibp_manual_06-07-2023.pdf) (дата обращения: 19.11.2023).

7. Руководство по эксплуатации. ИБП Delta – Семейство Amplon [Электронный ресурс]. С. 27. URL: <https://www.delta-ups.ru/doc/Manual-UPS-RT-1-3kVA-ru-ru.pdf> (дата обращения: 19.11.2023).

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

### **Информация об авторе**

*Сиротский М. С.* – аспирант направления подготовки 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы ФГБОУ ВО «БГТУ».

Научная статья

УДК 621.643/.644+519.711.3

## Математическая модель для имитатора системы автоматического регулирования давления

**Виктор Александрович Хандожко**

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

vichandozhko@gmail.com<sup>✉</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5212-0616>

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы разработки математической модели гидравлической и электромеханической систем для автоматического регулирования давления в магистральном трубопроводе с дроссельным исполнительным механизмом. Особенность данной модели заключается в том, что она сочетает в себе адекватное представление физических процессов в нефтепроводе и простоту для реализации в реальном времени на программируемом логическом контроллере (ПЛК). При исследовании были применены системный подход, гидравлика, теория электропривода и теория автоматического управления.

**Ключевые слова:** математическая модель магистрального трубопровода, имитация, система управления.

**Для цитирования:** Хандожко В. А. Математическая модель для имитатора системы автоматического регулирования давления // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 41–45.

Современные системы автоматики являются сложными микропроцессорными устройствами с количеством сигналов от нескольких десятков до нескольких сотен и более. Наиболее сложные из них обрабатывают до 500 тыс. сигналов. Очевидно, что время на внедрение таких систем зависит от количества сигналов.

Требования к качеству и срокам пуско-наладочных работ автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) сделали невозможным их создание и опытную эксплуатацию без заводских испытаний на специальных стендах-имитаторах. Например, на опасных производственных объектах (ОПО) или производствах с непрерывным циклом время перехода со старой системы управления на новую может быть ограничено несколькими часами. Стенд-имитатор представляет собой программно-технический комплекс для имитации физических процессов реального объекта управления. При этом качественного соответствия физической природы протекающих процессов обычно вполне достаточно, чтобы провести приемо-сдаточные испытания на стенде-имитаторе. Например, упрощения в стенде-имитаторе математической модели магистрального трубопровода для испытания системы автоматического регулирования давления (САРД) могут не учитывать такие параметры как чис-

ло работающий магистральных насосных агрегатов (МНА) на перекачивающих станциях (ПС), их технические характеристики, диаметр и длины нефтепровода и др.

Подобные стенды являются многофункциональными и могут быть также использованы в учебном процессе в организациях среднего и высшего профессионального образования для подготовки персонала, занимающегося обслуживанием, эксплуатацией, настройкой и проектированием соответствующих АСУТП.

Для этого математическая модель объекта управления должна полностью отвечать физическим процессам, протекающим на реальных объектах. В данной работе была сделана попытка получить математическую модель эксплуатационного участка нефтепровода для работы стенда для изучения САРД.

Данная модель загружается в программируемый ПЛК САРД и работает в составе типового программного обеспечения (ПО).

Структурная схема САРД представлена на рис. 1.

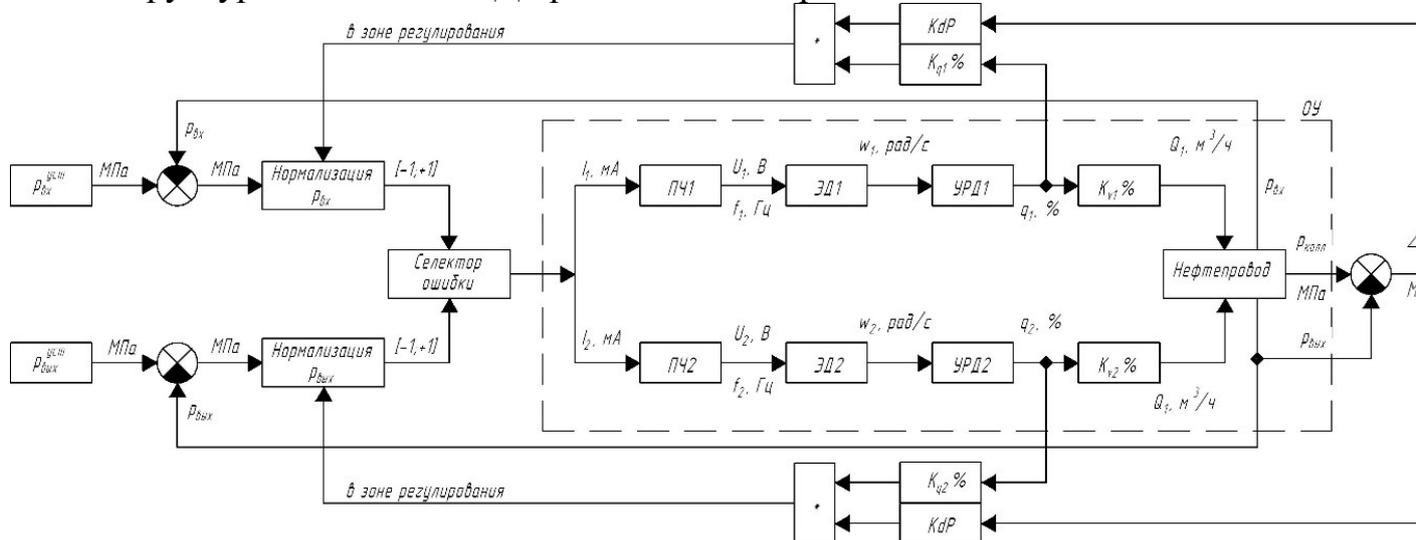


Рис. 1. Структурная схема САРД

Блоки задания уставок САРД реализуются в SCADA-приложении. Блоки сумматоров, нормализации, селектора ошибки рассогласования и вычисления коэффициентов демпфирования реализованы в типовом ПО.

Пунктиром выделена часть блок-схемы, которая относится к объекту управления (ОУ). Входными сигналами ОУ являются токовые сигналы  $I_1$  и  $I_2$  задания частоты вращения частотно-регулируемого привода (ЧРП) заслонки. К внутренним переменным относят напряжения  $U$  и частоту питающего напряжения  $f$ , угловую скорость вала двигателя  $w$ , степень открытия заслонки  $q$  и расход нефти  $Q$ . Выходными переменными являются давления на входе  $p_{вх}$ , в коллекторе  $p_{колл}$  и на выходе ПС  $p_{вых}$ .

Расчетная схема единой гидросистемы (ЕГС) имеет вид, показанный на рис. 2. Перекачка ведется по схеме из «насоса-в-насос». При этом НПС-1 и КП оснащены резервуарными парками, что дает основание применять уравнение Бернулли для участка нефтепровода.

Если по трассе отсутствуют сбросы и подкачки, то в общем виде уравнение баланса напоров для каждого перегона на рис. 2 имеет вид:

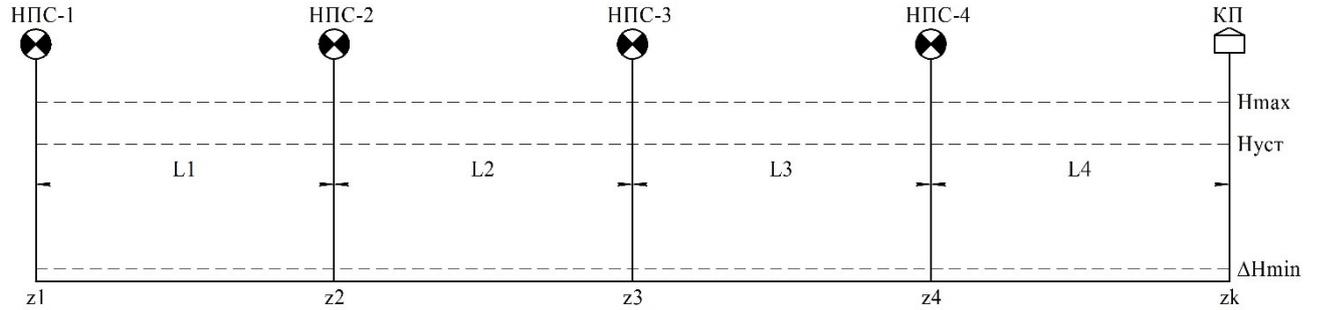


Рис. 2. Расчетная схема нефтепровода: НПС-1 – НПС-4 – нефтеперекачивающие станции; КП – конечный пункт; L1 – L4 – расстояния между смежными НПС; z1 – z4 – геодезические отметки НПС

$$\begin{cases} h_{п1} + \sum_{j=1}^m \left( \varphi_{1j} \cdot (a_{1j} - b'_{1j} \cdot Q^2) \right) = 1.02 \cdot i(Q) \cdot L_1 + (z_2 - z_1) + h_{п2}, \\ h_{п2} + \sum_{j=1}^m \left( \varphi_{2j} \cdot (a_{2j} - b'_{2j} \cdot Q^2) \right) = 1.02 \cdot i(Q) \cdot L_2 + (z_3 - z_2) + h_{п3}, \\ h_{п3} + \sum_{j=1}^m \left( \varphi_{3j} \cdot (a_{3j} - b'_{3j} \cdot Q^2) \right) = 1.02 \cdot i(Q) \cdot L_3 + (z_4 - z_3) + h_{п4}, \\ h_{п4} + \sum_{j=1}^m \left( \varphi_{4j} \cdot (a_{4j} - b'_{4j} \cdot Q^2) \right) = 1.02 \cdot i(Q) \cdot L_4 + (z_k - z_4) + h_{ост}. \end{cases} \quad (1)$$

В системе уравнений (1) приняты следующие обозначения:  $h_{п1}, h_{п2}, h_{п3}, h_{п4}$  – подпоры (кавитационный запас) на НПС-1, НПС-2, НПС-3 и НПС-4 соответственно;  $m$  – число последовательно включенных магистральных насосных агрегатов (МНА);  $\varphi_{ij}$  – коэффициент матрицы состояния МНА ( $\varphi_{ij}=1$  при работающем МНА и  $\varphi_{ij}=0$  при остановленном МНА);  $a_{ij}, b'_{ij}$  – константы напорной характеристики МНА ( $b'_{ij} = 3600 \cdot b_{ij}$ );  $L_i$  – длины прогонов между НПС;  $z_i$  – геодезические отметки  $i$ -й НПС;  $h_{ост}$  – остаточный напор для заполнения резервуарного парка КП.

В системе уравнений (1) четыре неизвестных: расход  $Q$  и подпоры перед промежуточными НПС  $h_{п2}, h_{п3}$  и  $h_{п4}$ . Сложив сначала правые части уравнений, а затем – левые, получают уравнения баланса напора для всего трубопровода:

$$h_{п1} + \sum_{i=1}^{N_{ст}} \sum_{j=1}^m \left( \varphi_{ij} \cdot (a_{ij} - b'_{ij} \cdot Q^2) \right) = 1.02 \cdot i(Q) \cdot L_p + \Delta z + h_{ост} \quad (2)$$

После выражения расхода из уравнения (2) получают:

$$Q = \sqrt{\frac{a_{п1} + \sum_{i=1}^{N_{ст}} \sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \cdot a_{ij} - \Delta z - h_{ост}}{8.16 \cdot \frac{\lambda \cdot L_p}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} + \frac{b_{п1}}{n^2} + \sum_{i=1}^{N_{ст}} \sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \cdot b_{ij}}} \quad (3)$$

Здесь  $N_{ст}$  – количество НПС на участке;  $n$  – число параллельно работающих подпорных насосных агрегатов (ПНА);  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $D$  – внутренний диаметр трубопровода.

Для  $k$  параллельно включенных заслонок функция перепада напора на заслонке  $h_{др}(Q, q_1, q_2)$ , м, имеет вид:

$$h_{др}(Q, q_1, q_2) = \frac{10^5 \cdot \Delta p_{др}(Q, q_1, q_2)}{\rho \cdot g} = \frac{10^2}{g} \cdot \frac{Q^2}{\sum_{k=1}^2 K_{vk}^2(q_{ik})} \quad (4)$$

Здесь  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $K_{vk}(q_{ik})$  – пропускная способность  $k$ -той заслонки как функция ее степени открытия  $q_{ik}$  в процентах, м<sup>3</sup>/ч;  $k$  – индекс заслонки.

В качестве примера в модели рассмотрены характеристики заслонки модели Vanessa 3000 с пропускной способностью, показанной на рис. 3.

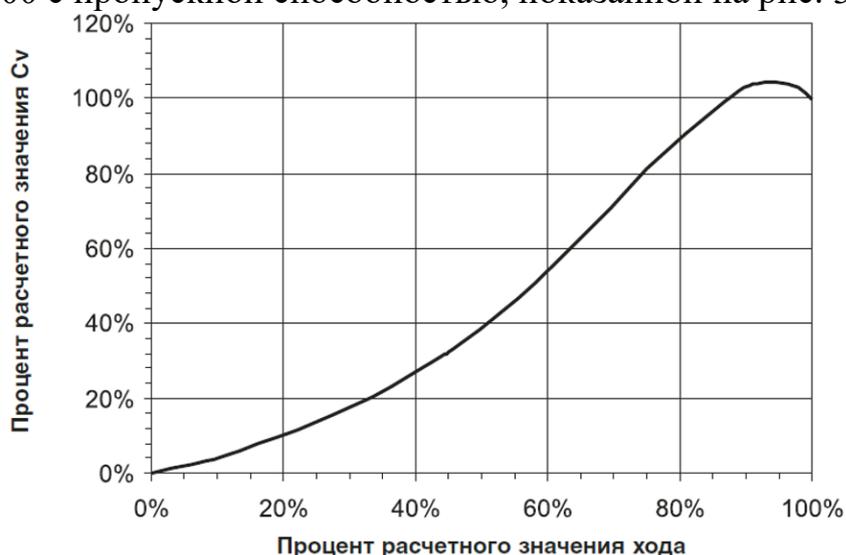


Рис. 3. Зависимость относительной пропускной способности от степени открытия заслонки

С учетом (4) выражение (3) можно переписать в следующем виде:

$$Q = \sqrt{\frac{a_{п} + \sum_{i=1}^{N_{ст}} \sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \cdot a_{ij} - \Delta z - h_{ост}}{8.16 \cdot \frac{\lambda L_p}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} + \frac{b_{п}}{n^2} + \sum_{i=1}^{N_{ст}} (\sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \cdot b_{ij}) + \frac{10^2}{g \cdot \sum_{k=1}^2 K_{vk}^2(q_{ik})}}} \quad (5)$$

Расчет по формуле (5) позволяет определить выходные параметры математической модели. Также в полученной модели отражена динамика работы электропривода.

Первая апробация полученной математической модели проведена в инструментальной среде разработки CoDeSys для виртуального ПЛК. После получения удовлетворительных результатов математическая модель была портирована на реальный ПЛК Modicon M340 модель и в настоящий момент успешно используется на имитационном стенде для изучения САРД в учебном центре «БГТУ–Транснефть–Дружба».

### **Список источников**

1. Матлахов В.П., Хандожко В.А., Агеенко А.В. Автоматизация стенда системы контроля уровня и температуры резервуарного парка // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2023. № 1. С. 4-11. DOI 10.30987/2658-6436-2023-1-4-11.
2. Барабанов Д.В., Хвостов В.А. Частотно-регулируемый электропривод насоса магистрального нефтепровода с управлением по положению регулирующей заслонки // САПР и моделирование в современной электронике: сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции. Брянск, 2020. С. 146–148.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

### **Информация об авторе**

*Хандожко В. А.* – к.т.н, доцент кафедры «Автоматизированные технологические системы» Брянского государственного технического университета.

Научная статья  
УДК 630+658.5

## Разработка системы управления автоматизированной линии сортировки лесоматериалов

**Алексей Николаевич Школин**

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия  
uXe@yandex.ru, [http:// orcid.org/0000-0001-5210-1370](http://orcid.org/0000-0001-5210-1370)

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме разработки и построения автоматизированной линии сортировки лесоматериалов для случая лесоматериала округлого типа, в том числе бревенчатого типа. Приведен опыт разработки программно-аппаратной части для подобной системы. Рассмотрена проблематика определения геометрических параметров круглого лесоматериала, в том числе не имеющего предварительно обработанной поверхности, посредством моделирования его геометрии. Также рассмотрена методика определения геометрических параметров круглого лесоматериала, которая позволяет минимизировать количество лазерных сканеров в составе сканирующего узла сортировочных линий.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, моделирование, линия сортировки лесоматериалов.

**Для цитирования:** Школин А. Н. Разработка системы управления автоматизированной линии сортировки лесоматериалов // Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции. Брянск, 2024. С. 46–48.

Автоматизация производства лесоматериалов в целях обеспечения качества продукции при одновременном повышении требований к нему является актуальной научно-технической задачей для современной отрасли отечественного лесопромышленного производства [1, 2].

В данной работе решалась задача разработки автоматизированной системы управления (АСУ) линии сортировки лесоматериалов (ЛСЛ) для лесоматериала круглого типа, в том числе бревен (рис. 1.)

Предлагаемая АСУ ЛСЛ состоит:

- Ⓜ шкафы силовые электроприводов с преобразователями частоты (ПЧ);
- Ⓜ шкаф управления с ПЛК ICPDAS WinPAC;
- Ⓜ лазерный сканер LPS 36 фирмы Leuze electronic;
- Ⓜ пульты управления операторов ЛСЛ;
- Ⓜ пульт дистанционного радиоуправления;
- Ⓜ АРМ оператора на базе персональной ЭВМ;
- Ⓜ информационная сеть Ethernet, объединяющая компьютер АРМ оператора, сканер и ПЛК;

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.

- ⌚ информационная сеть на базе RS485 с протоколом Modbus, объединяющая ПЛК с преобразователями частоты (ПЧ);
- ⌚ комплект программного обеспечения (ПО) для ПЛК и АРМ оператора, разработанные с применением SCADA-системы TRACE MODE 6 от отечественной компании АдАстра (рис. 2. и 3).

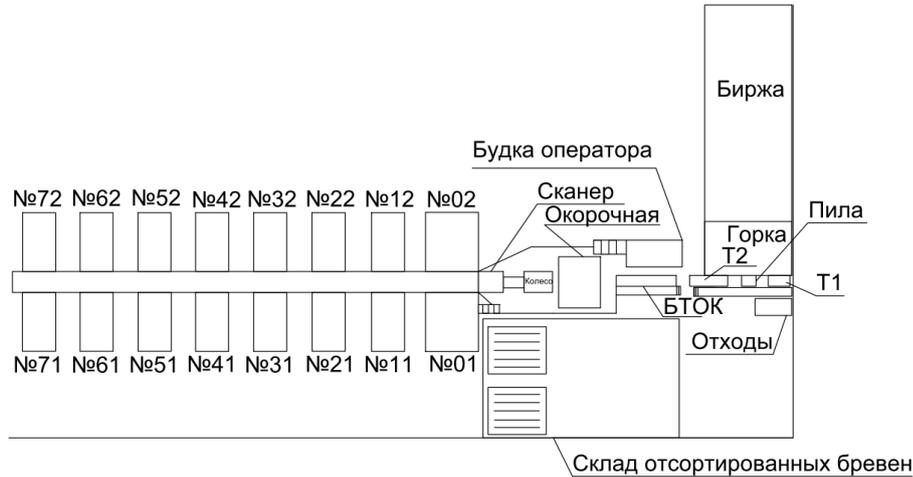


Рис. 1. Схема линии сортировки лесоматериала (ЛСЛ)

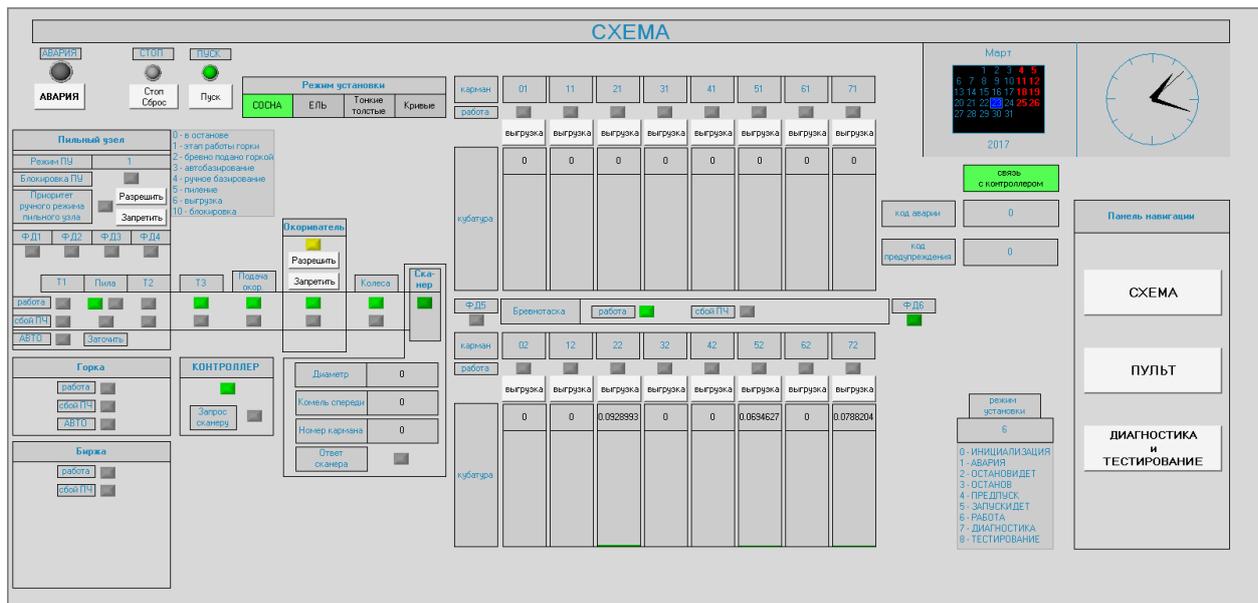


Рис. 2. Главный экран АРМ оператора АСУ ЛСЛ

Наиболее существенным вопросом при разработке ПО АСУ ЛСЛ являлась разработка программного модуля определения положения вершины бревна и его диаметра с помощью одного лазерного сканера, считывающего профили верхней части бревна в процессе его движения через сканирующий узел ЛСЛ. Для решения данной задачи было использовано моделирование одномерного продольного профиля путем получения серии поперечных профилей, а именно использовалась двухэтапная аппроксимация продольного профиля, полученная методом наименьших квадратов [3]. Данное решение позволило обеспечить

Обеспечение и повышение качества выпускаемой продукции, Брянск, 14 декабря 2023 г.  
 точность определения диметра до 1 см при использовании всего лишь одного лазерного сканера в составе сканирующего узла ЛСЛ.

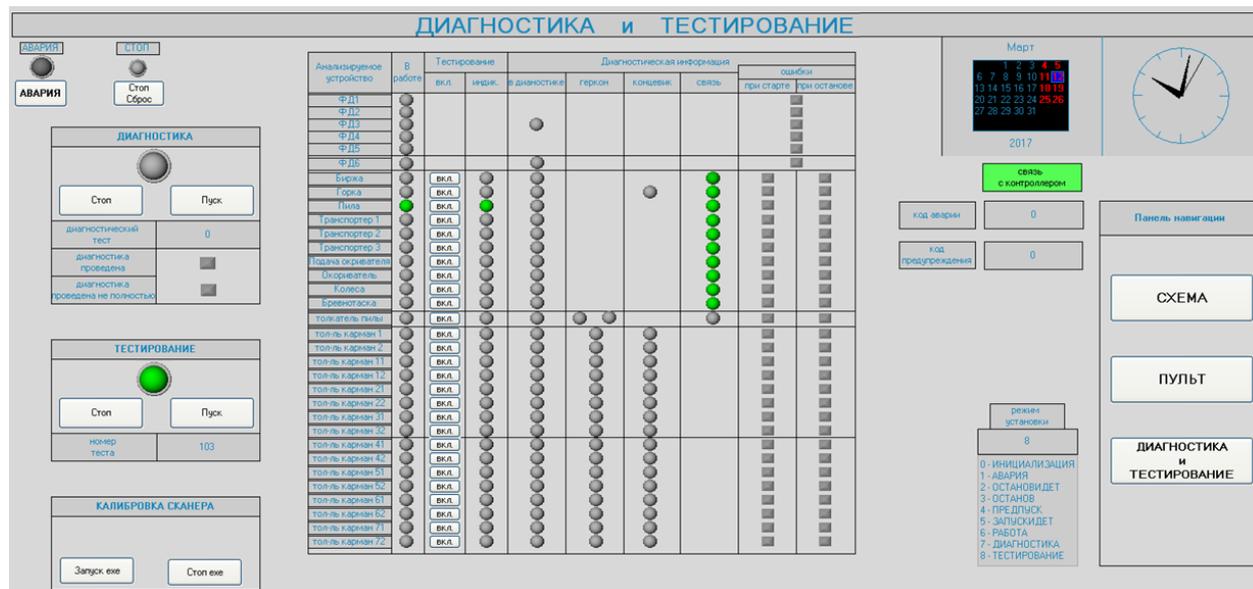


Рис. 3. Вспомогательный экран АРМ оператора для режимов диагностики и тестирования АСУ ЛСЛ

### Список источников

1. Галактионов О.Н., Крупко А.М., Полежаев К.В. Обоснование параметров работы сортировочной линии круглых лесоматериалов // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. URL: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_55\\_Galaktionov.pdf\\_66fa3b6bf9.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_Galaktionov.pdf_66fa3b6bf9.pdf).
2. Казаков Н.В., Абузов А.В. Автоматизированные системы управления процессами промышленного лесопользования // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. URL: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_107\\_Kazakov.pdf\\_2426.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_107_Kazakov.pdf_2426.pdf).
3. Калиткин Н.Н., Альшина Е.А. Численные методы. В 2 кн. Кн. 1. Численный анализ: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Академия, 2013. 304 с.

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; принята к публикации 15.11.2024

### Информация об авторе

Школин А. Н. – к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «БГТУ».