

Белорусский национальный технический университет
Факультет информационных технологий и робототехники
Кафедра «Робототехнические системы»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

«Робототехнические системы»

_____ А.В. Бородуля

_____ 2026г.

СОГЛАСОВАНО

Заместитель декана

факультета информационных
технологий и робототехники

_____ Б.А. Бадак

_____ 2026г.

ЭЛЕКТРОННОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

«Введение в специальность»

для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических
процессов и производств»

Составитель: старший преподаватель Гутич И.И.

2026г.

Перечень материалов

1. Теоретический раздел

1.1. Конспект лекций по дисциплине «Введение в специальность»

2. Вспомогательный раздел

2.1. Учебная программа по дисциплине «Введение в специальность»

2.2. Перечень учебников и учебно-методических пособий, Интернет-ресурсов по дисциплине «Введение в специальность»

Пояснительная записка

Электронное учебное пособие по факультативной учебной дисциплине «Введение в специальность» составлено для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Основными задачами пособия являются: формирование общего понятия о получаемой профессии, базовых понятий в области автоматизации; изучение современных технологий, технических средств, программного обеспечения в области автоматизации технологических процессов и производств; освобождение лектора и обучаемых от необходимости механического переписывания большого объема информации и возможность сосредоточить основное внимание студентов на получении современных знаний.

Целью создания является теоретическая подготовка специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств.

Содержание разделов соответствует образовательным стандартам высшего образования данной специальности.

Информационные материалы, включенные в электронное пособие, могут быть полезны студентам, инженерам и преподавателям, занимающихся изучением процессов автоматизации.

Особенности структурирования и подачи учебного материала

Теоретическая часть включает в себя курс лекций по дисциплине «Введение в специальность» в виде тематических лекций.

Вспомогательный раздел содержит учебную программу по дисциплине «Введение в специальность»; перечень основной и дополнительной литературы, ссылки на полезные интернет - ресурсы.

Рекомендации по организации работы с электронным пособием

Материалы данного электронного пособия рекомендуется использовать в следующей последовательности:

- изучить лекционный материал выбранного раздела. Знакомство с разделами рекомендуется проводить в порядке их следования (теоретический раздел);
- изучить список рекомендуемой литературы, ознакомиться с содержанием представленных учебных пособий и интернет - ресурсов (вспомогательный раздел).

СОДЕРЖАНИЕ

1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Обозначения и сокращения

Тема 1. Введение.	7
Тема 2. Общая характеристика специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств».....	18
Тема 3. Общая характеристика профилизации: «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике».....	36
Тема 4. Общая характеристика профилизации: «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике».....	47
Тема 5. Техническое, программное обеспечение автоматизированных систем.....	56

2.ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебная программа по дисциплине	73
Перечень учебников и учебно-методических пособий, интернет- ресурсов.....	85

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



Кафедра «Робототехнические системы»

Составитель И.И. Гутич

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

Курс лекций

для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация
технологических процессов и производств»

2026г.

Обозначения и сокращения, используемые в представленном материале

БНТУ - Белорусский национальный технический университет;
ФИТР –факультет информационных технологий и робототехники;
РТС –робототехнические системы;
АРМ – автоматизированное рабочее место;
АС – автоматизированная система;
РТК –робототехнический комплекс;
АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии;
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;
БД – база данных;
ИБП – источник бесперебойного питания;
ИК – измерительный канал;
ИО – информационное обеспечение;
ИС – измерительная система;
КВС – корпоративная вычислительная сеть;
КС – канал связи;
ЛВС – локальная вычислительная сеть;
ПК – персональный компьютер;
ПО – программное обеспечение;
РУП-облэнерго – областная энергосистема;
РЭС – районные электрические сети;
СУБД – система управления базами данных;
ТЗ – техническое задание;
ФЭС – филиал электрических сетей;
ЦСОД – центр сбора и обработки данных;
ЭО – энергоснабжающая организация.

Тема1. Введение

1.1. Белорусский национальный технический университет

История создания и развития БНТУ, <https://bntu.by/university/istoriya-bntu>

Белорусский национальный технический университет (БНТУ), <https://bntu.by> — крупнейшее и одно из старейших высших учебных заведений технического профиля в Республике Беларусь. Университет ведёт свою историю с 1920 года, когда в Минске было открыто Белорусское политехническое училище. За более чем столетие своего существования вуз прошёл путь от небольшого учебного заведения до ведущего национального технического университета, признанного как в Республике Беларусь, так и за её пределами.

В разные исторические периоды университет неоднократно менял своё наименование и организационную структуру, однако неизменным оставалось его предназначение — подготовка высококвалифицированных инженерных кадров для народного хозяйства страны. В 1991 году учебному заведению был присвоен статус технического университета, а в 2002 году — статус национального, что подчёркивает его особую роль в системе высшего образования Беларуси. Сегодня это единственный вуз страны, который имеет статус национального.

Университет выпустил более 200 тыс. специалистов и по праву является одним из самых крупных и старейших вузов Беларуси.

Сегодня БНТУ объединяет десятки тысяч студентов, аспирантов и докторантов, осуществляет подготовку специалистов по широкому спектру инженерных и технических направлений. Университет активно развивает научно-исследовательскую деятельность, внедряет инновационные образовательные технологии и поддерживает тесные связи с промышленными предприятиями страны.

БНТУ — это настоящий студенческий город внутри столицы, где ежедневно более 20 тысяч студентов получают образование. Образовательный процесс в БНТУ функционирует в рамках модели «Университет 3.0», которая представляет тесную связь образования, науки и инновационного предпринимательства.

Статус и роль БНТУ в системе высшего технического образования Республики Беларусь, <https://bntu.by/university/bntu-rankings>

На 2026 год БНТУ представлен в рейтингах QS World University Rankings, Webometrics Ranking of World Universities, Scimago Institution Rankings (SIR), UI GreenMetric World University Rankings, а также в рейтинге репозиторий Transparent Ranking of Repositories.

БНТУ занимает лидирующие позиции в рейтингах белорусских вузов и является опорной площадкой для подготовки инженеров практически всех ключевых отраслей экономики. Университет выполняет функции не только

образовательного, но и научно-методического центра: на его базе разрабатываются учебные планы, программы дисциплин, учебно-методические комплексы, используемые в других высших учебных заведениях страны.

Роль БНТУ в системе высшего технического образования определяется несколькими факторами. Во-первых, университет обеспечивает подготовку кадров для приоритетных направлений государственной политики — машиностроения, строительства, информационных технологий, энергетики, приборостроения. Во-вторых, БНТУ является одним из главных центров фундаментальных и прикладных научных исследований в технической сфере. В-третьих, университет активно участвует в международной интеграции, реализуя совместные образовательные программы с вузами Европы, Азии и СНГ.

Выпускники БНТУ работают на ведущих предприятиях Беларуси и зарубежья, занимают руководящие должности в промышленности, науке, образовании и государственном управлении. Таким образом, университет является важнейшим звеном в цепочке «образование — наука — производство», обеспечивающим технологическое и кадровое развитие страны.

Структура университета: факультеты, институты, научные подразделения, <https://bntu.by/departments>

Организационная структура БНТУ включает факультеты, институты, кафедры, научно-исследовательские подразделения, учебно-лабораторные комплексы и вспомогательные службы. Университет насчитывает 17 факультетов, каждый из которых специализируется на подготовке инженеров определённого профиля.

Среди крупнейших структурных подразделений — факультет информационных технологий и робототехники, машиностроительный факультет, строительный факультет, энергетический факультет и другие.

Научная деятельность университета координируется через научно-исследовательские институты, проблемные и отраслевые лаборатории, научные школы, центры коллективного пользования научным оборудованием. Кафедры являются основными учебно-методическими и научными ячейками вуза: именно на кафедрах формируются учебные планы, проводятся лекции, лабораторные и практические занятия, выполняются курсовые и дипломные проекты, осуществляется научно-исследовательская работа студентов и преподавателей.

Такая многоуровневая структура позволяет университету эффективно сочетать образовательную, научную и инновационную деятельность, обеспечивая комплексную подготовку современных инженеров.

Материально-техническая база и научно-исследовательская деятельность БНТУ, <https://science.bntu.by/>

Материально-техническая база БНТУ включает современные учебные корпуса, лаборатории, компьютерные классы, библиотеки, спортивные и культурные объекты. Университет располагает оборудованием для проведения

исследований в области механики, электроники, автоматизации, робототехники, материаловедения, строительства и других направлений.

Научно-исследовательская деятельность в БНТУ охватывает широкий спектр тем для конкретных отраслей промышленности. Университет ежегодно выполняет хозяйственные договоры с предприятиями, участвует в государственных научно-технических программах, реализует проекты в рамках международного сотрудничества.

Результаты научных исследований оформляются в виде патентов, публикаций в рецензируемых журналах, внедряются в производство. Студенты с первых курсов обучения вовлекаются в научную работу через студенческие конструкторские бюро, секции, участие в конкурсах и олимпиадах, что способствует формированию исследовательских компетенций будущих инженеров.

Международное сотрудничество и участие в образовательных и научных проектах, <https://bntu.by/international>

БНТУ активно развивает международные связи с университетами и научными центрами зарубежных стран. Университет участвует в программах академической мобильности, обмена студентами и преподавателями, совместных исследовательских проектах. Реализуются совместные образовательные программы, позволяющие студентам получать знания и опыт в международной среде.

Международное сотрудничество способствует повышению качества образования, внедрению передовых технологий и методик обучения, расширению научного потенциала университета. Выпускники БНТУ, прошедшие обучение в рамках международных программ, обладают конкурентными преимуществами на глобальном рынке труда.

1.2. Факультет информационных технологий и робототехники (ФИТР), <https://bntu.by/faculties/fitr>

История создания и основные направления подготовки ФИТР

Факультет информационных технологий и робототехники (ФИТР) является одним из наиболее динамично развивающихся подразделений БНТУ. Факультет был создан в ответ на возрастающую потребность экономики в специалистах, способных проектировать, внедрять и эксплуатировать современные автоматизированные и робототехнические системы.

ФИТР — единственный факультет в Республике Беларусь, осуществляющий комплексную подготовку специалистов в области робототехники, автоматизации технологических процессов, информационных систем и программного обеспечения. Основные направления подготовки включают автоматизацию производств, робототехнические системы, информационные системы и технологии, программную инженерию.

Факультет ориентирован на подготовку инженеров, обладающих глубокими знаниями в области механики, электроники, информатики, систем управления, искусственного интеллекта и компьютерных сетей. Такая междисциплинарная подготовка отвечает требованиям современной промышленности, где всё чаще требуются специалисты широкого профиля, способные работать на стыке различных технических областей.

Структура факультета: кафедры, лаборатории, учебные центры,
<https://bntu.by/faculties/fitr/cathedras>

Структура ФИТР включает пять кафедр, среди которых «Программное обеспечение информационных систем и технологий», «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», «Робототехнические системы», «Высшая математика», «Техническая физика». Кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий», «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», «Робототехнические системы» являются выпускающими. Каждая кафедра обеспечивает подготовку по определённым специальностям и профилизациям, ведёт научно-исследовательскую работу, разрабатывает учебно-методические материалы.

На факультете действуют специализированные лаборатории: лаборатории робототехники, микропроцессорной техники, промышленной автоматизации, компьютерных сетей, программирования микроконтроллеров и промышленных контроллеров, схемотехники, электропривода и др. Учебные лаборатории, созданные при поддержке ведущих мировых и отечественных производителей оборудования для автоматизации, позволяют студентам работать на современном промышленном оборудовании ещё в процессе обучения.

Деканат факультета осуществляет организацию учебного процесса, координацию работы кафедр, взаимодействие со студентами и работодателями. Такая структура обеспечивает эффективное управление образовательной и научной деятельностью факультета.

Специальности и профилизации, реализуемые на факультете,
<https://bntu.by/faculties/fitr/specialties>

На ФИТР реализуется подготовка по ряду востребованных специальностей. Среди них — специальность «Автоматизация технологических процессов и производств» с соответствующими профилизациями; специальность «Робототехнические системы»; специальность «Информационные системы и технологии» и «Программная инженерия».

Специальности имеют одну или несколько профилизаций, позволяющих студентам углубленно изучать дисциплины, связанные с конкретной отраслью. Например, профилизация «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике» ориентирована на подготовку специалистов для энергетических предприятий, систем учёта и диспетчерского управления.

Профилизация в приборостроении и радиоэлектронике готовит универсальных специалистов -проектировщиков для предприятий соответствующих отраслей.

Срок обучения составляет 4 года по дневной форме обучения. По окончании обучения выпускники получают квалификацию инженера либо инженера- программиста в зависимости от специальности.

Научная и инновационная деятельность ФИТР

Научная деятельность на ФИТР охватывает направления промышленной робототехники, систем автоматического управления, мехатроники, интеллектуальных систем, промышленного интернета вещей, цифровых двойников производственных процессов. Преподаватели и сотрудники кафедр выполняют научно-исследовательские работы по заказам предприятий и в рамках государственных программ.

Студенты активно участвуют в научной жизни факультета: выступают на конференциях, публикуют статьи, участвуют в конкурсах научных работ, олимпиадах по робототехнике и программированию. На базе факультета действуют студенческие конструкторские бюро и лаборатории, где реализуются инновационные проекты — от учебных роботов до прототипов промышленных систем автоматизации.

Инновационная деятельность ФИТР направлена на трансфер технологий в реальный сектор экономики, создание стартапов, сотрудничество с технопарками и бизнес-инкубаторами. Это создаёт дополнительные возможности для студентов и выпускников в области предпринимательства и прикладных разработок.

1.3. Кафедра робототехнических систем,
<https://bntu.by/faculties/fitr/fitr-rts>

История и основные направления деятельности кафедры

Кафедра робототехнических систем является одной из ключевых выпускающих кафедр ФИТР и БНТУ в целом. Кафедра ведёт подготовку специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств, робототехнических систем, а также участвует в подготовке магистров, аспирантов по смежным направлениям.

Основные направления деятельности кафедры включают: образовательную деятельность (лекции, практические и лабораторные занятия, курсовое и дипломное проектирование); научно-исследовательскую работу в области робототехники, автоматизации и систем управления; методическое обеспечение учебного процесса; взаимодействие с промышленными предприятиями в части практической подготовки студентов и внедрения результатов исследований.

Кафедра располагается в 11 учебном корпусе БНТУ и имеет современную лабораторную базу для проведения занятий и исследований в области

промышленной робототехники, микропроцессорного управления, автоматизированных систем, автоматизации в энергетике.

Состав кафедры: преподаватели, научные сотрудники, лаборатории

Кафедра робототехнических систем объединяет профессорско-преподавательский состав, включающий докторов и кандидатов технических наук, доцентов, ассистентов и инженеров. Преподаватели кафедры обладают как теоретической подготовкой, так и практическим опытом работы на промышленных предприятиях, в научных организациях и проектных институтах.

На кафедре работают лаборатории, оснащённые промышленными и учебными роботами, программируемыми логическими контроллерами, датчиками и исполнительными устройствами, стендами для изучения систем автоматического управления. Лаборатории позволяют студентам на практике осваивать навыки программирования контроллеров, наладки робототехнических комплексов, проектирования систем автоматизации.

Научные сотрудники и аспиранты кафедры выполняют исследования в области кинематики и динамики роботов, интеллектуального управления, машинного зрения, интеграции роботов в производственные линии.

Специальности и профилизации, по которым кафедра является выпускающей

Кафедра робототехнических систем является выпускающей по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» (профилизации: Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике; Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике) и по специальности 6-05-0713-05 «Робототехнические системы» (профилизация: Промышленные роботы и робототехнические комплексы).

Для каждой специальности и профилизации кафедрой разрабатываются и актуализируются учебные планы, рабочие программы дисциплин, учебно-методические комплексы, задания на курсовые и дипломные проекты. Кафедра обеспечивает проведение государственной итоговой аттестации выпускников: руководство дипломными проектами, участие в государственных экзаменационных комиссиях.

Выбор кафедры в качестве выпускающей для специальностей в области автоматизации и робототехники обусловлен высоким уровнем компетенций её коллектива и наличием необходимой материально-технической базы.

Практическая подготовка студентов

Практическая подготовка студентов на кафедре робототехнических систем организована в соответствии с требованиями образовательных стандартов и включает несколько этапов. На младших курсах студенты выполняют лабораторные работы по дисциплинам общенаучного и общетехнического циклов, осваивают основы программирования, электротехники, электроники.

На старших курсах практическая подготовка смещается в сторону специальных дисциплин: программирование промышленных контроллеров, проектирование систем автоматизации, работа с SCADA-системами, наладка робототехнических комплексов. Курсовое проектирование позволяет студентам решать задачи, приближённые к реальным производственным.

Производственная практика проходит на предприятиях-партнёрах кафедры — заводах, энергетических компаниях, предприятиях приборостроения и радиоэлектроники. Преддипломная практика и выполнение дипломного проекта завершают подготовку, формируя у выпускника готовность к самостоятельной инженерной деятельности.

1.4. Организация учебного процесса в БНТУ

Ступени высшего образования и формы обучения

В БНТУ реализуется многоуровневая система высшего образования в соответствии с законодательством Республики Беларусь. Первой ступенью является подготовка специалистов с получением квалификации бакалавра по программам высшего образования. Срок обучения по большинству инженерных специальностей по дневной форме составляет 4 года.

Второй ступенью является магистратура — подготовка специалистов с углублёнными знаниями по выбранному направлению. Третьей ступенью является аспирантура, обеспечивающая подготовку научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации.

Обучение в БНТУ осуществляется в дневной и заочной формах. Дневная форма предполагает ежедневное посещение занятий в течение учебного семестра. Заочная форма ориентирована на лиц, совмещающих обучение с работой; занятия проводятся в период установочных и экзаменационных сессий. Для отдельных специальностей предусмотрено сокращённое обучение на базе среднего специального образования.

Структура учебного плана

Учебный план специальности представляет собой основной документ, определяющий перечень, объём и последовательность изучения дисциплин на протяжении всего периода обучения. Дисциплины учебного плана распределяются по циклам.

Общенаучный цикл включает математику, физику, иностранный язык, философию, историю и другие дисциплины, формирующие фундаментальную научную подготовку. Общеинженерный цикл охватывает теоретическую механику, сопротивление материалов, электротехнику, электронику, инженерную графику, материаловедение и другие дисциплины, общие для инженерных специальностей.

Общепрофессиональный цикл включает дисциплины, характерные для группы специальностей (например, автоматизация, системы управления, микропроцессорная техника).

Специальный цикл состоит из профилирующих дисциплин, непосредственно связанных с будущей профессиональной деятельностью выпускника. Кроме того, учебный план предусматривает учебную, производственную и преддипломную практики, курсовое проектирование, государственную итоговую аттестацию.

Виды учебной и научно-исследовательской работы студентов

Учебная работа студентов в БНТУ включает посещение лекций, практических и лабораторных занятий, семинаров, выполнение самостоятельной работы, расчётно-графических работ, курсовых проектов. Лекции обеспечивают систематическое изложение теоретического материала. Практические занятия направлены на закрепление теории и формирование умений решать задачи. Лабораторные работы проводятся в специализированных лабораториях и предполагают экспериментальное или имитационное исследование объектов.

Научно-исследовательская работа студентов (НИРС) осуществляется в рамках кружков, студенческих научных лабораторий, участия в конкурсах и конференциях. Студенты выполняют исследования под руководством преподавателей, оформляют результаты в виде статей, докладов, рефератов. НИРС способствует развитию творческого мышления, навыков самостоятельного поиска информации и решения нестандартных задач.

Система текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации

Контроль знаний студентов в БНТУ осуществляется в форме текущего, промежуточного и итогового контроля. Текущий контроль проводится на протяжении семестра в виде опросов, тестов, контрольных работ, защиты лабораторных работ. Его цель — оперативная оценка усвоения материала и своевременная корректировка учебного процесса.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения дисциплины в форме экзамена или зачёта. Экзамен предполагает устный или письменный ответ на вопросы, решение задач, защиту проекта. Зачёт может выставляться при выполнении определённого объёма работ без формального экзамена.

Итоговая аттестация включает государственную итоговую аттестацию (дипломный проект или работа, государственный экзамен) и завершает процесс обучения. Успешное прохождение итоговой аттестации является основанием для присвоения квалификации и выдачи диплома о высшем образовании.

Государственная итоговая аттестация

Государственная итоговая аттестация - заключительный этап обучения в высшем учебном заведении. Для инженерных специальностей, как правило,

включает защиту дипломного проекта (работы) и/или сдачу государственного экзамена по специальности.

Дипломный проект представляет собой самостоятельную инженерную разработку, выполненную студентом под руководством преподавателя кафедры. Тематика дипломных проектов формируется с учётом потребностей предприятий и научных направлений кафедры. Проект включает расчётно-пояснительную записку, графическую часть (чертежи, схемы), иногда — программное обеспечение или макет.

Государственный экзамен проводится по дисциплинам, определяющим профессиональную компетентность выпускника. Экзаменационная комиссия оценивает уровень подготовки студента и принимает решение о присвоении квалификации.

1.5. Требования к уровню подготовки инженеров

Компетенции выпускника в соответствии с образовательными стандартами

Подготовка инженеров в БНТУ осуществляется в соответствии с государственными образовательными стандартами, определяющими требования к содержанию и результатам освоения образовательных программ.

Подготовка инженеров на кафедре РТС по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» осуществляется согласно стандарту ОСВО 6-05-0713-04-2023 и учебного плана специальности.

Выпускник специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» должен обладать комплексом общих и профессиональных компетенций.

К общим компетенциям относятся способность к абстрактному мышлению, анализу и синтезу, применению знаний на практике, работе в коллективе, ответственности за принимаемые решения, способности к самообучению и непрерывному профессиональному развитию. Профессиональные компетенции включают умение проектировать, внедрять, наладить и эксплуатировать автоматизированные системы управления технологическими процессами; разрабатывать программное обеспечение для систем автоматизации; применять современные информационные технологии; обеспечивать безопасность и надёжность систем.

Образовательный стандарт также определяет требования к объёму и содержанию дисциплин, видам практик, формам контроля, что обеспечивает единообразие и качество подготовки специалистов.

Личностные и профессиональные качества современного инженера

Современный инженер должен сочетать глубокие технические знания с развитыми личностными качествами. К числу ключевых профессиональных качеств относятся: системное мышление, позволяющее видеть объект

автоматизации в целом; аналитические способности для диагностики и оптимизации процессов; владение современными инструментами проектирования и программирования; понимание принципов работы оборудования различных производителей.

Личностные качества включают ответственность, инициативность, коммуникабельность, стрессоустойчивость, готовность к непрерывному обучению. В условиях быстрого развития технологий (Индустрия 4.0, цифровизация) инженер должен быть готов к освоению новых программных продуктов, протоколов связи, методов управления.

Важным качеством является ориентация на результат и умение работать в междисциплинарных командах, поскольку проекты автоматизации затрагивают механику, электронику, программирование, организацию производства.

1.6. Основные направления развития отрасли

Цифровизация и интеллектуализация производства

Одним из главных направлений развития отрасли автоматизации на современном этапе является цифровизация производства. Переход от традиционных автоматизированных систем управления к цифровым производственным платформам предполагает интеграцию данных со всех уровней предприятия — от датчиков на оборудовании до систем планирования ресурсов.

Интеллектуализация производства связана с применением методов искусственного интеллекта, машинного обучения, предиктивной аналитики для оптимизации технологических процессов, прогнозирования отказов оборудования, адаптивного управления. «Умные» производства способны самостоятельно перестраивать производственные процессы в зависимости от изменения внешних условий.

Для Республики Беларусь цифровизация промышленности является приоритетом государственной политики. Предприятия внедряют MES-системы, системы управления жизненным циклом изделий, цифровые двойники. Специалисты по автоматизации играют ключевую роль в этих процессах.

Роботизация и внедрение автоматизированных систем управления

Роботизация производства продолжает набирать обороты во всём мире, и Беларусь не является исключением. Промышленные роботы применяются в автомобилестроении, машиностроении, пищевой промышленности, логистике. Робототехнические комплексы позволяют повысить производительность, качество продукции, улучшить условия труда.

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) остаётся фундаментальной задачей для предприятий всех отраслей. Современные АСУ ТП строятся на базе распределённых микропроцессорных систем, промышленных сетей, SCADA-систем. Тенденция

— переход к открытым архитектурам, облачным решениям, интеграции с ERP-системами.

Развитие отрасли требует подготовки специалистов, владеющих как классическими методами автоматизации, так и современными технологиями робототехники и цифрового управления.

Энергоэффективность и «зелёные» технологии

Энергоэффективность является важнейшим направлением развития не только энергетики, но и промышленности в целом. Автоматизированные системы учёта и контроля энергопотребления (АСКУЭ, системы мониторинга) позволяют предприятиям снижать затраты, оптимизировать режимы работы оборудования.

«Зелёные» технологии включают использование возобновляемых источников энергии, систем накопления энергии, интеллектуальных энергосетей (Smart Grid). Автоматизация играет здесь решающую роль: без современных систем управления невозможна эффективная интеграция солнечных и ветровых электростанций в энергосистему, управление микросетями, балансирование нагрузки.

Государственная программа энергосбережения Республики Беларусь создаёт устойчивый спрос на специалистов, способных проектировать и эксплуатировать энергоэффективные автоматизированные системы.

Развитие отечественной промышленности и импортозамещение в области автоматизации

В условиях геополитической нестабильности и ограничений на поставки зарубежного оборудования особую актуальность приобретает развитие отечественной промышленности и импортозамещение в области средств автоматизации. Республика Беларусь располагает предприятиями приборостроения, радиоэлектроники, производства контроллеров и датчиков, способными обеспечить часть потребностей внутреннего рынка.

Задачи импортозамещения включают локализацию производства программируемых логических контроллеров, датчиков, приводов, разработку отечественного программного обеспечения для SCADA и MES. Это открывает широкие возможности для выпускников специальностей в области автоматизации и робототехники.

Развитие отечественной отрасли автоматизации требует координации усилий вузов, научных организаций и промышленных предприятий.

БНТУ и ФИТР активно участвуют в этих процессах, готовя кадры и выполняя прикладные научные исследования для нужд реального сектора экономики.

**Тема 2. Общая характеристика специальности 6-05-0713-04
«Автоматизация технологических процессов и производств»**

Учебное заведение: Белорусский национальный технический университет

Факультет: информационных технологий и робототехники (ФИТР)

Выпускающая кафедра: «Робототехнические системы» (РТС)

Квалификация: инженер

Срок обучения: 4 года

2.1. Специальность как область науки и техники

Предмет и сущность специальности «Автоматизация технологических процессов и производств»

Специальность 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» относится к инженерно-техническому направлению подготовки и формирует системное понимание процессов преобразования сырья и материалов в готовую продукцию с применением средств автоматизации. Предметом профессиональной деятельности выпускника является совокупность технологических процессов, производственных систем, средств автоматизации и управления, а также информационных потоков, обеспечивающих их функционирование. В центре внимания специальности находится задача повышения эффективности производства за счёт снижения доли ручного труда, повышения точности и повторяемости операций, обеспечения безопасности и устойчивости технологических режимов.

Сущность специальности заключается в интеграции знаний из области технологии производства, электротехники, электроники, информатики, систем управления и робототехники. Инженер по автоматизации выступает связующим звеном между технологами, конструкторами, программистами и эксплуатационным персоналом, обеспечивая согласованность технических решений на всех этапах жизненного цикла производственной системы. Подготовка по данной специальности в БНТУ на факультете информационных технологий и робототехники ориентирована на формирование компетенций, необходимых для проектирования, внедрения и сопровождения автоматизированных производств в условиях цифровой трансформации промышленности.

Специальность имеет прикладной характер и тесно связана с потребностями реального сектора экономики — машиностроения, химической промышленности, пищевой промышленности, энергетики, логистики и других отраслей. Выпускник должен уметь анализировать технологический процесс как объект управления, выбирать адекватные средства автоматизации, разрабатывать алгоритмы управления и обеспечивать их реализацию на современном программно-аппаратном уровне. Таким образом, специальность представляет

собой междисциплинарную область, в которой теоретические основы автоматического управления находят непосредственное применение в производственной среде.

Место специальности в системе инженерного образования

В системе высшего технического образования Республики Беларусь специальность 6-05-0713-04 занимает важное место среди инженерных направлений. Она входит в группу специальностей, связанных с информатикой, вычислительной техникой и автоматизацией, и дополняет смежные направления — «Робототехника», «Информационные системы и технологии», «Мехатроника», «Приборостроение». Отличительной чертой является акцент на производственном контексте: выпускник не только владеет методами автоматизации, но и понимает специфику технологических операций, метрологию оборудования и требования к качеству продукции.

Подготовка инженеров по специальности в БНТУ осуществляется в соответствии с государственным образовательным стандартом и учебными планами, утверждёнными для четырёхлетнего цикла обучения. Подготовка инженеров на кафедре РТС по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» осуществляется согласно стандарту ОСВО 6-05-0713-04-2023 и учебного плана специальности. Программа включает фундаментальные дисциплины (математика, физика, информатика), общетехнические курсы (теоретическая механика, электротехника, материаловедение) и специальные дисциплины, непосредственно связанные с автоматизацией производства. Выпускающая кафедра робототехнических систем обеспечивает профильную подготовку, сочетая классические основы автоматизации с современными направлениями — промышленной робототехникой, системами технического зрения, программируемыми логическими контроллерами и SCADA-системами.

Место специальности в инженерном образовании определяется также её ролью в реализации национальных программ цифрового развития и модернизации промышленности. Государственная политика в области промышленного развития предполагает переход предприятий на автоматизированные и цифровые технологии производства, что создаёт устойчивый спрос на квалифицированных специалистов (Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы, Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы, Закон РБ от 10 июля 2012 г. № 425-З «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности»). В этом контексте выпускники ФИТР по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» являются ключевыми кадрами для предприятий, внедряющих концепции «Индустрия 4.0», «Умное производство» и цифровые двойники технологических процессов.

Научные основы и методологические принципы

Научной основой специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» служит теория автоматического управления — раздел прикладной математики и технической кибернетики, изучающий закономерности функционирования управляемых систем и методы синтеза управляющих воздействий. Классические понятия — передаточная функция, устойчивость, качество переходного процесса, точность статического и динамического режимов — находят прямое применение при проектировании систем автоматического регулирования технологических параметров (температуры, давления, расхода, уровня, концентрации и др.). Современные методы управления — адаптивное, оптимальное, прогнозирующее — расширяют арсенал инженера по автоматизации при работе с нелинейными, многосвязными и нестационарными технологическими объектами.

Методологически деятельность специалиста по автоматизации строится на системном подходе, предполагающем рассмотрение производства как совокупности взаимосвязанных подсистем: технологической, технической, информационной, организационной. Принцип иерархичности управления определяет многоуровневую архитектуру автоматизированных систем: от локальных контуров регулирования на уровне исполнительных механизмов до диспетчерского управления и планирования производства. Принцип модульности и стандартизации обеспечивает масштабируемость и совместимость оборудования различных производителей, что особенно важно при модернизации действующих предприятий.

Важнейшим методологическим принципом является жизненный цикл автоматизированной системы — от постановки задачи и технического проектирования до ввода в эксплуатацию, сопровождения и модернизации. На каждом этапе применяются соответствующие методы: функционально-стоимостной анализ, имитационное моделирование, верификация и валидация программного обеспечения, пусконаладочные испытания. Кафедра робототехнических систем БНТУ при обучении студентов акцентирует внимание на практическом освоении этих методов через выполнение курсовых и дипломных проектов, связанных с реальными производственными задачами.

Связь с смежными областями науки и техники

Специальность «Автоматизация технологических процессов и производств» тесно связана с широким спектром смежных областей, что определяет междисциплинарный характер подготовки и профессиональной деятельности. Связь с электротехникой и электроникой проявляется в проектировании силовых и информационных систем, выборе датчиков и исполнительных устройств, разработке схем автоматического управления. Связь с информатикой и программной инженерией — в создании программного

обеспечения для программируемых логических контроллеров, SCADA-систем, MES- и ERP-систем, а также в применении языков программирования для промышленной автоматизации (Structured Text, C/C++, Python и др).

Робототехника как смежная область занимает особое место в профиле подготовки на кафедре робототехнических систем. Промышленные роботы-манипуляторы, автоматизированные транспортные системы, коллаборативные роботы всё шире интегрируются в производственные линии, и инженер по автоматизации должен уметь проектировать их применение, программировать траектории движения и обеспечивать безопасное взаимодействие с персоналом. Связь с технологией машиностроения, металлургии, химической технологией определяет необходимость понимания специфики технологических процессов в конкретных отраслях.

Связь с экономикой и менеджментом проявляется в необходимости оценки экономической эффективности проектов автоматизации, расчёта сроков окупаемости, анализа затрат на владение автоматизированным оборудованием.

Связь с охраной труда и промышленной безопасностью — в обеспечении безопасных условий эксплуатации автоматизированных систем, соответствия требованиям нормативных документов и стандартов.

Таким образом, специалист по автоматизации технологических процессов и производств выступает интегратором знаний из множества областей, что определяет высокую социальную значимость и востребованность данной специальности.

2.2. Объекты профессиональной деятельности

Технологические процессы и производства

Основным объектом профессиональной деятельности инженера по автоматизации технологических процессов и производств является технологический процесс — совокупность целенаправленных действий по изменению свойств, формы, состояния или положения предмета труда (сырья, полуфабриката, изделия). Технологические процессы классифицируются по характеру воздействия (механические, термические, химические, электрофизические), по степени непрерывности (дискретные, непрерывные, периодические), по уровню автоматизации (ручные, механизированные, автоматизированные, автоматические). Задача - анализировать структуру технологического процесса, выявлять операции, подлежащие автоматизации, и определять технические средства для их реализации.

Производство как объект деятельности представляет собой организованную систему, включающую технологическое оборудование, транспортные системы, склады, системы контроля качества и управления. Производства различаются по типу (единичное, серийное, массовое, непрерывное), по отраслевой принадлежности и по степени интеграции

автоматизированных систем. Инженер участвует в проектировании и модернизации производственных систем, обеспечивая согласованность технологических, информационных и управляющих подсистем. На предприятиях машиностроения, химической промышленности, пищевой промышленности и других отраслей выпускники БНТУ по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» решают задачи комплексной автоматизации производственных участков и цехов.

При автоматизации технологических процессов особое внимание уделяется обеспечению стабильности технологических режимов, поддержанию параметров в заданных допусках, минимизации брака и отходов производства. Для этого применяются системы автоматического регулирования, автоматизированного контроля и управления качеством, системы учёта и прослеживаемости продукции. Понимание физико-химической сущности технологических операций позволяет инженеру по автоматизации корректно формулировать требования к системе управления и выбирать адекватные алгоритмы регулирования.

Средства автоматизации и управления

Средства автоматизации и управления составляют вторую группу объектов профессиональной деятельности специалиста. К ним относятся технические средства, предназначенные для получения, обработки, передачи и использования информации в целях управления технологическими процессами и производствами. Классификация средств автоматизации включает средства измерения и контроля (датчики, измерительные преобразователи, анализаторы), средства управления (контроллеры, промышленные компьютеры, программируемые логические контроллеры -ПЛК), средства исполнения (электроприводы, пневмоприводы, гидроприводы, роботы-манипуляторы) и средства отображения информации (панели оператора, SCADA-станции).

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) занимают центральное место в современных системах автоматизации производства. Они обеспечивают сбор данных с датчиков, реализацию алгоритмов логического и регулирующего управления, обмен информацией с верхними уровнями системы управления по промышленным сетям (Profibus, Profinet, Modbus, EtherCAT и др.). Инженер по автоматизации должен владеть методами программирования ПЛК, знать архитектуру и функциональные возможности контроллеров ведущих отечественных и мировых производителей (Siemens, Schneider Electric, OBEH, Omron и др.), уметь проектировать структуру программы и организовывать обмен данными между устройствами.

Системы SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) обеспечивают диспетчерское управление и сбор данных на уровне участка, цеха или предприятия. Они предоставляют оператору графический интерфейс для мониторинга технологических параметров, управления оборудованием,

архивирования данных и формирования отчётности. Выпускники кафедры робототехнических систем ФИТР получают практические навыки работы с SCADA-системами, что является важным конкурентным преимуществом при трудоустройстве на промышленных предприятиях.

Автоматизированные и автоматические системы

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и автоматические системы представляют собой комплексные объекты профессиональной деятельности, объединяющие технические средства, программное обеспечение и персонал. АСУ ТП обеспечивают частичную или полную автоматизацию функций управления при сохранении участия человека в принятии ответственных решений. Автоматические системы функционируют без непосредственного участия оператора, реализуя заданный алгоритм управления в полном объёме. Классификация АСУ ТП по уровням управления включает локальные системы (уровень 1), системы управления участком или цехом (уровень 2), системы управления предприятием (уровень 3–4).

При проектировании АСУ ТП инженер по автоматизации решает задачи структурного и функционального проектирования, выбора технических средств, разработки алгоритмов управления и программного обеспечения, проектирования информационных связей и человеко-машинного интерфейса.

Автоматические линии и автоматизированные комплексы - частные случаи автоматических и автоматизированных систем, широко применяемые в машиностроении, пищевой промышленности, логистике. Они включают последовательность технологических операций, выполняемых автоматически или автоматизированно, с транспортировкой заготовок и изделий между рабочими позициями. Проектирование таких систем требует синтеза технологических, механических, электрических и программных решений, что и составляет ядро компетенций выпускника по специальности.

Робототехнические системы и комплексы

Робототехнические системы и комплексы как объекты профессиональной деятельности приобретают всё большее значение в связи с интеграцией промышленной робототехники в производственные процессы. Промышленный робот - программируемый манипулятор с несколькими степенями подвижности, предназначенный для выполнения технологических операций (сварка, покраска, сборка, паллетирование, обслуживание станков). Робототехнический комплекс включает робота, технологическое оснащение, систему управления, средства технического зрения и системы безопасности.

На кафедре «Робототехнические системы» БНТУ студенты специальности «Робототехнические системы» получают углублённую подготовку в области промышленной робототехники: изучают кинематику и динамику манипуляторов, методы программирования роботов, принципы построения робототехнических ячеек и интеграции роботов в автоматизированные линии. Объектами

деятельности являются как отдельные роботы-манипуляторы, так и много роботные системы, мобильные роботы для внутрицеховой логистики, коллаборативные роботы (коботы), работающие совместно с человеком без защитного ограждения.

Задачи инженера по автоматизации в области робототехники включают выбор типа и конфигурации робота, расчёт рабочей зоны и нагрузки, проектирование захватных устройств, программирование траекторий, интеграцию с ПЛК и SCADA, обеспечение функциональной безопасности в соответствии со стандартами ISO 10218 и ISO/TS 15066. Развитие робототехники в направлении интеллектуальных систем с элементами машинного обучения и компьютерного зрения открывает новые перспективы для выпускников специальностей по автоматизации.

Информационные системы производства

Информационные системы производства составляют объект профессиональной деятельности, связанный с управлением данными и процессами на уровне предприятия. К ним относятся системы управления производством (MES — Manufacturing Execution System), системы планирования ресурсов предприятия (ERP — Enterprise Resource Planning), системы управления жизненным циклом изделий (PLM), системы управления качеством и другие. Интеграция АСУ ТП с MES и ERP обеспечивает вертикальную связность от датчика на производственной линии до системы планирования на уровне предприятия.

Инженер по автоматизации участвует в проектировании информационных потоков между уровнями автоматизации, настройке обмена данными, разработке интерфейсов интеграции. Понимание принципов построения информационных систем производства позволяет специалисту обеспечивать прослеживаемость продукции, оперативный учёт выпуска, формирование производственной отчётности и передачу данных для принятия управленческих решений. Концепция «Индустрия 4.0» предполагает создание единого информационного пространства предприятия, в котором все компоненты производственной системы связаны в цифровую сеть.

Цифровые двойники (Digital Twin) технологических процессов и оборудования представляют собой перспективное направление, где виртуальная модель объекта синхронизируется с реальным объектом через данные датчиков и используется для мониторинга, прогнозирования, оптимизации и обучения персонала. Выпускники специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», владеющие методами моделирования и программирования, могут участвовать в создании и эксплуатации цифровых двойников на современных предприятиях.

2.3. Виды и задачи профессиональной деятельности Проектно-конструкторская деятельность

Проектно-конструкторская деятельность является одним из основных видов профессиональной активности инженера по автоматизации технологических процессов и производств. Она включает разработку проектной и рабочей документации на автоматизированные системы управления, автоматические линии, робототехнические комплексы и средства автоматизации. На этапе технического проектирования определяются функциональная структура системы, состав технических средств, алгоритмы управления, информационные связи и требования к эксплуатации. Результатом является комплект проектной документации, включающий пояснительную записку, схемы автоматизации, спецификации оборудования, описания программного обеспечения.

Задачи проектно-конструкторской деятельности включают анализ технологического процесса и формулировку требований к автоматизации, выбор структуры и состава АСУ ТП, расчёт и выбор датчиков, исполнительных механизмов и контроллеров, проектирование электрических схем соединений и схем автоматического управления, разработку функциональных и принципиальных схем. Инженер использует системы автоматизированного проектирования (САПР) - EPLAN, AutoCAD Electrical, TIA Portal и аналогичные - для создания документации в соответствии с действующими стандартами ЕСКД и отраслевыми нормативами.

На кафедре робототехнических систем ФИТР студенты осваивают проектно-конструкторскую деятельность через выполнение курсовых и дипломных проектов, связанных с проектированием систем автоматизации реальных или учебных технологических объектов. Это формирует навыки системного мышления, умения работать с нормативной документацией и представлять технические решения в виде проектной документации, готовой для реализации на производстве.

Производственно-технологическая деятельность

Производственно-технологическая деятельность инженера связана с непосредственным участием в изготовлении, монтаже, наладке и испытании средств автоматизации и автоматизированных систем. На производственных предприятиях специалисты по автоматизации работают в службах главного механика, главного энергетика, отделах автоматизации и робототехники, участвуя в монтаже и пусконаладке оборудования, настройке систем управления, проведении приёмочных испытаний.

Задачи производственно-технологической деятельности включают подготовку производства к внедрению автоматизированных систем, контроль качества монтажных работ, программирование и отладку ПЛК и SCADA, проведение комплексных испытаний, устранение неисправностей в период гарантийной эксплуатации. Инженер должен уметь читать монтажные и

электрические схемы, использовать измерительные приборы для диагностики, применять методы поиска и устранения неисправностей в системах автоматизации.

Замена устаревших систем управления на современные, интеграция нового оборудования в существующую инфраструктуру, повышение уровня автоматизации отдельных операций - типичные задачи, решаемые инженерами по автоматизации на предприятиях. Выпускники ФИТР по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», обладающие современными теоретическими навыками, востребованы именно в таких проектах модернизации промышленности.

Организационно-управленческая деятельность

Организационно-управленческая деятельность инженера по автоматизации технологических процессов и производств включает участие в планировании и организации работ по автоматизации, управлению проектами внедрения автоматизированных систем, координации деятельности смежных подразделений и специалистов. По мере накопления опыта выпускник может занимать должности начальника участка автоматизации, руководителя проекта, главного специалиста по автоматизации предприятия, главного инженера и др.

Задачи организационно-управленческой деятельности включают разработку технических заданий и программ автоматизации, составление календарных планов и смет, организацию взаимодействия с поставщиками оборудования и подрядными организациями, контроль выполнения проектных работ, обучение и инструктаж эксплуатационного персонала. Инженер должен владеть основами проектного управления, уметь оценивать риски, ресурсы и сроки реализации проектов автоматизации.

Экономическая составляющая организационно-управленческой деятельности предполагает обоснование целесообразности автоматизации, расчёт экономической эффективности, анализ затрат на приобретение, монтаж и эксплуатацию оборудования. Инженер участвует в подготовке материалов для принятия управленческих решений руководством предприятия о направлениях технического развития и инвестициях в автоматизацию производства.

Научно-исследовательская деятельность

Научно-исследовательская деятельность представляет собой вид профессиональной активности, связанный с разработкой новых методов, алгоритмов и технических решений в области автоматизации технологических процессов и производств. Выпускники бакалавриата по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» могут продолжить обучение в магистратуре и аспирантуре, а также работать в научно-исследовательских организациях, конструкторских бюро и на предприятиях в должностях инженера-исследователя.

Задачи научно-исследовательской деятельности включают проведение экспериментальных исследований технологических процессов и систем управления, разработку новых алгоритмов автоматического управления, создание математических моделей объектов автоматизации, имитационное моделирование и оптимизацию режимов работы производственных систем. Актуальные направления исследований на кафедре робототехнических систем включают интеллектуальные системы управления, применение методов машинного обучения в автоматизации, робототехнические системы с техническим зрением, цифровые двойники и технологии «Индустрия 4.0».

Студенты специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» участвуют в научно-исследовательской работе через выполнение курсовых и дипломных проектов исследовательского характера, участие в студенческих научных конференциях, работу в научных кружках и лабораториях кафедры. Это формирует навыки постановки исследовательских задач, проведения экспериментов, анализа результатов и оформления научных публикаций.

Эксплуатационная деятельность

Эксплуатационная деятельность инженера по автоматизации технологических процессов и производств включает обеспечение бесперебойной работы автоматизированных систем в процессе производства, техническое обслуживание и ремонт средств автоматизации, модернизацию и обновление программного обеспечения. На крупных промышленных предприятиях службы автоматизации и КИПиА (контрольно-измерительные приборы и автоматика) обеспечивают круглосуточную поддержку систем управления технологическими процессами.

Задачи эксплуатационной деятельности включают мониторинг состояния автоматизированных систем, планово-предупредительное обслуживание, диагностику и устранение неисправностей, резервное копирование и восстановление программного обеспечения, ведение эксплуатационной документации, обучение операторов и наладчиков. Инженер должен знать типовые неисправности и методы их устранения, уметь работать с документацией производителей оборудования, применять системы удалённой диагностики и технической поддержки.

Эксплуатационная деятельность требует постоянного повышения квалификации в связи с обновлением парка оборудования и программного обеспечения. Выпускники специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» должны быть готовы к непрерывному обучению, освоению новых технологий и стандартов, участию в семинарах и сертификационных программах производителей оборудования. Качественная

эксплуатация автоматизированных систем — необходимое условие эффективности производства и безопасности персонала.

2.4. Эволюция: механизация, автоматизация, робототехника

Механизация производства

Механизация производства представляет собой первый этап эволюции технологических систем, связанный с заменой ручного труда машинным при выполнении основных и вспомогательных операций. Исторически механизация началась с внедрения паровых машин, станков с механическим приводом, конвейерных линий и других технических средств, повышающих производительность труда и снимающих физическую нагрузку с работника. На этапе механизации человек сохраняет функции управления процессом: запуск, останов, регулирование параметров, контроль качества, устранение неисправностей.

Механизация создала материальную основу для последующей автоматизации: появились стандартизированные машины и механизмы, конвейерные системы, энергетическая инфраструктура производства. Однако механизированное производство характеризовалось высокой зависимостью от квалификации и внимания оператора, относительно низкой точностью и повторяемостью операций, значительным влиянием «человеческого фактора» на качество продукции. Эти ограничения стимулировали развитие средств автоматического управления и переход к автоматизации.

В современном производстве механизация сохраняет значение как базовый уровень технической оснащённости. Многие операции остаются механизированными без полной автоматизации — особенно на мелкосерийных и индивидуальных производствах, где экономическая целесообразность полной автоматизации не достигается. Инженер должен понимать принципы механизации и уметь оценивать целесообразность перехода от механизированного к автоматизированному уровню для конкретных технологических операций.

Автоматизация технологических процессов

Автоматизация технологических процессов — следующий этап эволюции, характеризующийся передачей функций управления техническим средствам автоматизации при сохранении или частичном сохранении участия человека. Автоматизация включает автоматическое регулирование параметров технологического процесса (температуры, давления, расхода, уровня), автоматическое управление последовательностью операций, автоматический контроль и сортировку продукции, автоматическое диспетчерское управление. Развитие автоматизации связано с прогрессом в области электроники, вычислительной техники, теории управления и промышленной информатики.

Ключевыми вехами в развитии автоматизации стали появление аналоговых и цифровых систем автоматического регулирования, программируемых логических контроллеров (с 1970-х годов), распространение SCADA-систем, интеграция систем управления в единые информационные сети предприятия. Автоматизация обеспечила существенное повышение точности и стабильности технологических режимов, снижение брака, улучшение условий труда, возможность управления сложными и опасными процессами. Специальность «Автоматизация технологических процессов и производств» непосредственно связана с этим этапом эволюции и формирует компетенции для проектирования и эксплуатации автоматизированных систем.

Современная автоматизация характеризуется переходом от локальной автоматизации отдельных параметров к комплексной автоматизации участков, цехов и предприятий в целом. Интеграция АСУ ТП с системами планирования и учёта, применение промышленных сетей и протоколов обмена данными, стандартизация программного обеспечения - тенденции, определяющие текущее состояние и перспективы развития автоматизации производства.

Робототехника в производстве

Робототехника в производстве представляет собой качественно новый этап эволюции, дополняющий автоматизацию внедрением программируемых исполнительных устройств с высокой степенью гибкости и адаптивности. Промышленные роботы способны выполнять широкий спектр операций - от простых транспортных до сложных технологических (сварка, резка, сборка, покраска) - с высокой точностью и повторяемостью. Робототехника особенно эффективна при выполнении монотонных, тяжёлых, вредных и опасных операций, а также при необходимости быстрой переналадки производства на выпуск новой продукции.

Развитие робототехники прошло путь от первых программируемых манипуляторов (1960–1970-е годы) до современных роботов с высокой грузоподъёмностью, точностью позиционирования и intelligence. Появились коллаборативные роботы, работающие в непосредственной близости от человека, мобильные роботы для логистики, роботы с интегрированными системами технического зрения и силовой обратной связью. Стоимость роботов снижается, а простота программирования растёт, что расширяет область их применения на предприятиях малого и среднего бизнеса.

Подготовка по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» на кафедре робототехнических систем ФИТР обеспечивает формирование компетенций в области промышленной робототехники, что соответствует мировым тенденциям роботизации производства. Выпускник должен уметь интегрировать робототехнические системы в автоматизированные производства, обеспечивая их взаимодействие с ПЛК, SCADA и информационными системами предприятия.

2.5. Индустрия 3.0 и 4.0

Концепция «Индустрия 3.0»

Концепция «Индустрия 3.0» (третья промышленная революция) описывает этап развития производства, связанный с широким внедрением электроники, информационных технологий и систем автоматического управления. Ключевыми технологиями «Индустрии 3.0» стали программируемые логические контроллеры, промышленные компьютеры, SCADA-системы, роботы-манипуляторы, системы ЧПУ (числового программного управления) для станков. Этот этап, начавшийся в 1970-е годы и продолжающийся по настоящее время, обеспечил переход от преимущественно механизированного производства к автоматизированному.

«Индустрия 3.0» характеризуется вертикальной интеграцией систем управления — от датчиков и исполнительных механизмов до диспетчерских пунктов и систем планирования. Появились стандарты промышленной автоматизации, типовые архитектуры АСУ ТП, отраслевые решения для различных секторов экономики. Автоматизация стала массовым явлением на крупных промышленных предприятиях, обеспечив существенный рост производительности и качества продукции.

Для специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» «Индустрия 3.0» представляет собой фундамент, на котором строится профессиональная подготовка. Компетенции в области ПЛК, SCADA, систем автоматического регулирования, промышленных сетей и робототехники - это базовый набор знаний и навыков инженера. Большинство действующих промышленных предприятий находятся на уровне «Индустрии 3.0», и задача выпускника - обеспечивать эффективную эксплуатацию и модернизацию существующих автоматизированных систем.

Концепция «Индустрия 4.0»

Концепция «Индустрия 4.0» (четвёртая промышленная революция) была сформулирована в 2011 году и описывает переход к «умному производству», основанному на интеграции физических и цифровых систем. Ключевые принципы «Индустрии 4.0» включают: взаимодействие (Interoperability) — связность всех компонентов производства через Интернет вещей (IoT); прозрачность информации (Information Transparency) — создание цифровых двойников и виртуальных копий физического мира; техническую помощь (Technical Assistance) — поддержку принятия решений человеком системами; децентрализацию решений (Decentralized Decisions) — автономное функционирование cyber-physical systems.

Технологическими средствами реализации «Индустрии 4.0» являются: промышленный Интернет вещей (IIoT), большие данные (Big Data) и аналитика, облачные вычисления, киберфизические системы, аддитивные технологии (3D-

печать), дополненная и виртуальная реальность, кибербезопасность. Производственные системы «Индустрии 4.0» характеризуются горизонтальной интеграцией (связь между предприятиями, поставщиками, заказчиками) и сквозной интеграцией (от продукта до цифрового двойника через все этапы жизненного цикла).

Для выпускника специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» «Индустрия 4.0» открывает новые направления профессиональной деятельности: проектирование и эксплуатация cyber-physical production systems, работа с цифровыми двойниками, интеграция данных с облачными платформами, применение методов предиктивной аналитики для обслуживания оборудования. Кафедра «Робототехнические системы» БНТУ адаптирует учебные программы с учётом требований «Индустрии 4.0», включая дисциплины по IoT, промышленной робототехнике и цифровым технологиям.

Перспективы развития и роль специалиста по АТПиП

Перспективы развития промышленности в направлении «Индустрии 4.0» и «Индустрии 5.0» с акцентом на взаимодействие человека и машины, определяют долгосрочный контекст профессиональной деятельности выпускника по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». Ожидается дальнейшее распространение cyber-physical systems, интеллектуальных роботов, цифровых двойников, технологий дополненной reality для обслуживания и обучения, применение искусственного интеллекта для оптимизации производства.

Роль специалиста по автоматизации технологических процессов и производств в этом контексте - быть проводником технологических изменений на предприятии, обеспечивая связь между традиционными системами автоматизации и новыми цифровыми технологиями. Выпускник ФИТР должен не только владеть классическими компетенциями (ПЛК, SCADA, робототехника), но и быть готовым к освоению IoT, облачных платформ, data analytics, кибербезопасности промышленных систем. Непрерывное образование и участие в профессиональных сообществах - необходимые условия поддержания профессиональной востребованности.

Сотрудничество с предприятиями кафедры РТС, создание филиалов кафедры на предприятиях, посещение профессиональных тематических выставок, участие в проектах модернизации, развитие материально-технической базы - направления, обеспечивающие качество подготовки инженеров-бакалавров по автоматизации технологических процессов и производств.

2.6. Цифровая автоматизация

Понятие и сущность цифровой автоматизации

Цифровая автоматизация представляет собой современный этап развития автоматизации производства, характеризующийся глубокой интеграцией

информационных технологий, цифровых данных и автоматизированных систем управления. В отличие от классической автоматизации, ориентированной на локальное управление технологическими параметрами, цифровая автоматизация предполагает создание сквозных цифровых потоков данных от датчиков на производственной линии до систем планирования и аналитики на уровне предприятия. Сущность цифровой автоматизации - в превращении производства в «прозрачную» систему, где каждый элемент имеет цифровое представление и может быть интегрирован в единую информационную среду.

Ключевыми компонентами цифровой автоматизации являются: промышленный Интернет вещей (IIoT) — сеть связанных датчиков, контроллеров и устройств; платформы сбора, хранения и обработки данных; цифровые двойники технологических процессов и оборудования; системы визуализации и аналитики; облачные и edge-вычисления. Цифровая автоматизация обеспечивает не только управление в реальном времени, но и накопление исторических данных для анализа, прогнозирования, оптимизации и принятия стратегических решений.

Для специальностей по автоматизации цифровая автоматизация расширяет традиционный профиль подготовки компетенциями в области IT-интеграции, работы с данными, моделирования и программирования. Выпускник должен понимать архитектуру цифровой автоматизации, уметь проектировать информационные потоки и участвовать во внедрении цифровых решений на производстве.

Технологии цифровой автоматизации

Технологии цифровой автоматизации включают широкий спектр решений, применяемых на различных уровнях производственной системы. На полевом уровне - интеллектуальные датчики с встроенной обработкой данных, промышленные шлюзы и edge-устройства для предварительной обработки и фильтрации данных. На уровне управления - ПЛК и PAC (Programmable Automation Controller) с поддержкой промышленных протоколов IIoT (MQTT, OPC UA), интеграция с облачными платформами. На уровне SCADA/MES - расширенные возможности сбора, архивирования и визуализации данных, интеграция с системами аналитики.

Цифровые двойники (Digital Twin) - одна из ключевых технологий цифровой автоматизации. Виртуальная модель физического объекта (станка, линии, процесса) синхронизируется с реальным объектом через данные датчиков и используется для мониторинга, симуляции, прогнозирования отказов, оптимизации режимов. Предиктивное обслуживание (Predictive Maintenance) — применение методов анализа данных и машинного обучения для прогнозирования состояния оборудования и планирования обслуживания до наступления отказа.

Промышленные облачные платформы (AWS IoT, Microsoft Azure IoT, Siemens MindSphere, и др.) предоставляют инфраструктуру для хранения, обработки и анализа производственных данных, интеграции с ERP и PLM. Кибербезопасность промышленных систем — критически важный аспект цифровой автоматизации, требующий применения специализированных решений для защиты ОТ (Operational Technology) сетей от киберугроз.

Применение цифровой автоматизации в производстве

Применение цифровой автоматизации в производстве охватывает широкий спектр задач и отраслей. В машиностроении - цифровые двойники сборочных линий, мониторинг состояния станков, оптимизация логистики внутри цеха. В химической и нефтехимической промышленности - цифровые модели технологических процессов, предиктивное управление качеством продукции, энергооптимизация. В пищевой промышленности - прослеживаемость продукции от сырья до потребителя, контроль условий хранения и транспортировки. В логистике - автоматизированные склады, AGV (Automated Guided Vehicles) и AMR (Autonomous Mobile Robots) для внутренней транспортировки.

Эффекты внедрения цифровой автоматизации включают повышение Overall Equipment Effectiveness (OEE), снижение простоев и брака, сокращение энергопотребления, ускорение переналадки производства, улучшение условий труда. Экономическая эффективность проектов цифровой автоматизации зависит от масштаба предприятия, сложности процессов, готовности инфраструктуры и квалификации персонала. Инженер по автоматизации участвует в оценке целесообразности, проектировании и внедрении цифровых решений, обеспечивая их интеграцию с существующими системами автоматизации.

На кафедре РТС БНТУ студенты специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» получают представление о применении цифровых технологий через учебные лаборатории, курсовые проекты и производственную практику на предприятиях, внедряющих элементы «Индустрии 4.0». Это формирует практическую ориентацию и понимание реальных задач цифровой автоматизации.

Компетенции выпускника в области цифровой автоматизации

Компетенции выпускника по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» в области цифровой автоматизации формируются на базе фундаментальной и специальной подготовки и включают: понимание архитектуры и принципов построения систем цифровой автоматизации; навыки проектирования и программирования АСУ ТП с использованием современных средств; умение интегрировать системы управления с IoT-платформами и облачными сервисами; навыки работы с цифровыми двойниками и системами моделирования; понимание основ data

analytics и предиктивной аналитики; знание требований к кибербезопасности промышленных систем.

Практические навыки приобретаются при работе с учебным оборудованием кафедры робототехнических систем: стендами ПЛК, роботами-манипуляторами, SCADA-системами, а также при прохождении производственной и преддипломной практики на промышленных предприятиях. Выпускник должен быть способен к самостоятельному обучению и адаптации к новым технологиям, поскольку область цифровой автоматизации быстро развивается.

Трудоустройство выпускников по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» в контексте цифровой автоматизации возможно на предприятиях всех отраслей промышленности, в интеграторских компаниях, занимающихся внедрением систем автоматизации, в научно-исследовательских организациях. Должности: инженер, инженер системотехник, инженер по автоматизации, инженер КИПиА, инженер-робототехник, инженер-механик, инженер-конструктор, специалист по цифровизации производства, инженер по внедрению «Индустрии 4.0» и др. Востребованность специалистов с компетенциями в области цифровой автоматизации будет сохраняться и расти в обозримой перспективе.

2.7. Заключение

Обобщение характеристики специальности

Специальность 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» представляет собой динамично развивающееся инженерное направление, обеспечивающее подготовку инженеров для ключевых секторов промышленности. Предметом профессиональной деятельности выпускника являются технологические процессы и производства, средства автоматизации и управления, автоматизированные и робототехнические системы, информационные системы производства. Специальность интегрирует знания из области физики, схемотехники, электротехники, информатики, теории управления, робототехники, формируя специалиста, способного решать комплексные задачи автоматизации на всех этапах жизненного цикла производственных систем.

Подготовка по данной специальности в Белорусском национальном техническом университете на факультете информационных технологий и робототехники осуществляется выпускающей кафедрой «Робототехнические системы» в течение четырёх лет и завершается присвоением квалификации «инженер». Учебная программа включает фундаментальные, общетехнические и специальные дисциплины, производственную и преддипломную практику, курсовое и дипломное проектирование. Профиль подготовки сочетает классические основы автоматизации (ПЛК, SCADA, системы автоматического

регулирования) с современными направлениями — промышленной робототехникой, цифровой автоматизацией, технологиями «Индустрии 4.0».

Виды профессиональной деятельности выпускника охватывают проектно-конструкторскую, производственно-технологическую, организационно-управленческую, научно-исследовательскую и эксплуатационную сферы. Эволюция производства от механизации через автоматизацию к робототехнике и цифровой автоматизации определяет контекст профессиональной деятельности и требует от специалиста понимания как традиционных, так и перспективных технологий. Концепции «Индустрия 3.0» и «Индустрия 4.0» задают рамки текущего состояния и направления развития промышленности, в которых выпускник специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» призван играть главную роль.

Актуальность и перспективы специальности

Актуальность специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» определяется устойчивым спросом со стороны промышленности на квалифицированных специалистов, способных проектировать, внедрять и эксплуатировать автоматизированные и цифровые производственные системы. Государственная политика Республики Беларусь в области модернизации промышленности, цифрового развития и повышения конкурентоспособности экономики предполагает активное внедрение автоматизации и робототехники на предприятиях, что создаёт благоприятные условия для трудоустройства выпускников.

Перспективы специальности связаны с дальнейшей интеграцией автоматизации, робототехники, кибербезопасности и информационных технологий в единые интеллектуальные производственные системы. Выпускник, владеющий компетенциями в области классической автоматизации и цифровых технологий, готов к профессиональной деятельности в условиях технологической трансформации промышленности. Непрерывное образование, участие в профессиональных сообществах, освоение новых технологий - необходимые условия поддержания и развития профессиональной компетентности на протяжении всей карьеры.

Кафедра «Робототехнические системы» БНТУ, как выпускающая кафедра специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств», продолжает совершенствовать содержание и методы подготовки, развивая материально-техническую базу, укрепляя связи с промышленными предприятиями и обеспечивая соответствие выпускаемых специалистов запросам экономики. Выбор специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» - это выбор в пользу востребованной инженерной профессии, связанной с созданием и развитием технологий современного производства.

Тема 3. Общая характеристика профилизации: Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике

Учебное заведение: Белорусский национальный технический университет

Факультет: информационных технологий и робототехники (ФИТР)

Кафедра: «Робототехнические системы»

Квалификация: инженер

Срок обучения: 4 года

3.1. Общая характеристика профилизации

Понятие и сущность профилизации в системе высшего технического образования

Профилизация специальности в системе высшего технического образования представляет собой целенаправленную ориентацию подготовки специалистов на решение задач определённой отрасли народного хозяйства или направления научно-технического прогресса. В отличие от узкой специализации, профилизация предполагает формирование у выпускника устойчивого комплекса профессиональных компетенций, позволяющих эффективно работать в условиях конкретной производственной среды, сохраняя при этом достаточную универсальность для адаптации к изменяющимся требованиям рынка труда. В контексте Белорусского национального технического университета (БНТУ) профилизация является важнейшим инструментом связи академической подготовки с потребностями реального сектора экономики Республики Беларусь.

Профилизация «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике» реализуется на факультете информационных технологий и робототехники (ФИТР) и опирается на многолетний опыт кафедры «Робототехнические системы». Данное направление сочетает фундаментальную инженерную подготовку с прикладной ориентацией на современные методы автоматизации, цифровизации и интеллектуализации производственных систем. Выпускники данного профиля являются универсальными специалистами, способными трудоустроиться на предприятиях самого различного профиля - от приборостроительных и радиоэлектронных заводов до предприятий машиностроения, энергетики, пищевой промышленности, IT и сферы услуг, где требуется автоматизация технологических процессов.

Выбор данной профилизации обусловлен стратегическим значением приборостроения и радиоэлектроники для научно-технического суверенитета государства. Именно в этих отраслях формируются ключевые компетенции в области микроэлектроники, встраиваемых систем, промышленной автоматизации и информационных технологий, без которых невозможно

развитие «умного» производства, робототехники и цифровой экономики. Профильная подготовка позволяет студентам уже на этапе обучения осознать специфику отраслевых задач и приобрести практический опыт работы с оборудованием и программными средствами, применяемыми на современных белорусских предприятиях.

Автоматизация технологических процессов как предмет профессиональной деятельности

Автоматизация технологических процессов и производств охватывает совокупность методов, средств и технологий, направленных на перевод производственных операций из ручного или полуавтоматического режима в автоматический с минимальным участием человека. Предметом профессиональной деятельности специалиста по данному профилю является проектирование, внедрение, наладка, эксплуатация и модернизация систем автоматического управления технологическим оборудованием, а также разработка программного обеспечения для промышленных контроллеров, SCADA-систем и систем диспетчерского управления.

В приборостроении и радиоэлектронике автоматизация приобретает особую значимость в связи с высокой точностью, многостадийностью и микропроцессорной насыщенностью технологических циклов. Производство печатных плат, монтаж электронных компонентов, тестирование и калибровка приборов, нанесение покрытий, сборка модулей — все эти операции требуют строгого соблюдения параметров и непрерывного контроля качества, что достигается только при применении автоматизированных систем управления. Специалист в данной отрасли должен владеть не только классическими методами теории автоматического управления, но и современными цифровыми технологиями: промышленными сетями, системами машинного зрения, методами защиты информации, роботизированными манипуляторами и средствами сбора и анализа производственных данных.

Профилизация в рамках ФИТР БНТУ акцентирует внимание на интеграции аппаратных и программных компонентов автоматизированных систем. Студенты осваивают полный цикл - от разработки алгоритмов управления и программирования микропроцессорных контроллеров до организации обмена данными между устройствами в локальных и глобальных компьютерных сетях. Такой комплексный подход обеспечивает формирование специалиста, способного не только обслуживать существующие автоматизированные линии, но и проектировать новые решения с учётом требований Industry 4.0 и концепции цифровых двойников производственных процессов.

Специфика приборостроения и радиоэлектроники как отраслей профилизации

Приборостроение и радиоэлектроника представляют собой высокотехнологичные отрасли, характеризующиеся короткими циклами

обновления продукции, высокой долей научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также жёсткими требованиями к качеству и надёжности выпускаемых изделий. К приборостроению относятся предприятия, выпускающие измерительные, контрольно-регулирующие, медицинские, навигационные и другие приборы и системы. Радиоэлектроника охватывает производство радиоэлектронных компонентов, модулей связи, вычислительной техники, систем обработки сигналов и телекоммуникационного оборудования. Обе отрасли тесно взаимосвязаны и во многом определяют технологический облик современного производства.

Отраслевая специфика накладывает особые требования на подготовку инженеров по автоматизации. Во-первых, необходимо глубокое понимание принципов работы электронных схем, датчиков, исполнительных механизмов и измерительных каналов. Во-вторых, важно умение работать с высокоточным оборудованием, где допуски измерений измеряются микронами и наносекундами. В-третьих, специалист должен быть знаком с нормативно-технической документацией, стандартами качества (в том числе ISO, ГОСТ) и требованиями к электромагнитной совместимости. Профилизация в приборостроении и радиоэлектронике учитывает все эти аспекты, формируя у студентов целостное представление об отраслевой технологической цепочке - от проектирования изделия до его серийного выпуска на автоматизированной линии.

На территории Республики Беларусь функционирует развитый приборостроительно-радиоэлектронный комплекс, включающий такие предприятия, как «Пеленг», «Интеграл», «Горизонт», «БелОМО», «Керамин» и ряд других организаций, а также научно-исследовательские институты и конструкторские бюро. Потребность этих предприятий в квалифицированных кадрах, владеющих современными методами автоматизации, остаётся стабильно высокой. Профилизация напрямую ориентирована на удовлетворение этой потребности и обеспечивает выпуск специалистов, готовых к немедленному включению в производственный процесс.

Цели, задачи и результаты профильной подготовки

Главной целью профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике» является подготовка конкурентоспособных инженеров, обладающих системными знаниями в области автоматизации, электроники, микропроцессорного управления, компьютерных сетей, баз данных и программного обеспечения, а также практическими навыками их применения в условиях реального производства. Выпускник должен быть способен самостоятельно или в составе проектной команды решать задачи модернизации существующих и создания новых автоматизированных систем управления технологическими процессами.

К задачам профильной подготовки относятся: формирование теоретической базы в области автоматического управления, теории электрических цепей, электроники и микропроцессорной техники; освоение методов проектирования и программирования систем автоматизации; развитие навыков работы с промышленным оборудованием, лабораторными стендами и программными комплексами; воспитание инженерной культуры, ответственности и умения работать в коллективе; формирование навыков самообучения и адаптации к новым технологиям. Особое внимание уделяется развитию универсальности выпускника - специалиста, который может быть востребован не только на приборостроительных предприятиях, но и на любом производстве, где присутствуют задачи автоматизации.

Результатом успешного освоения профилизации является формирование у выпускника профессиональных компетенций, включающих: умение разрабатывать структурные и функциональные схемы систем автоматизации; программировать промышленные контроллеры и встраиваемые системы; проектировать и администрировать компьютерные сети предприятия; создавать и сопровождать базы данных производственной информации; моделировать, конструировать, разрабатывать прикладное программное обеспечение для задач управления и мониторинга; проводить пусконаладочные работы и техническое обслуживание автоматизированных систем. Совокупность этих компетенций определяет высокую конкурентоспособность выпускников на рынке труда Республики Беларусь.

Организационные основы реализации профилизации

Организационной основой реализации данной профилизации в БНТУ является кафедра робототехнических систем факультета информационных технологий и робототехники. Кафедра располагает квалифицированным профессорско-преподавательским составом, включающим докторов и кандидатов технических наук, а также практикующих инженеров, имеющих опыт работы на промышленных предприятиях. Материально-техническая база кафедры включает специализированные лаборатории микропроцессорной техники, промышленной автоматизации, робототехники, электроники и компьютерных сетей, оснащённые современным оборудованием: программируемыми логическими контроллерами, частотными преобразователями, сервоприводами, промышленными роботами, измерительными комплексами и стендами для имитации технологических процессов.

Учебный процесс по профилизации строится на принципах преемственности и интеграции дисциплин. Базовые курсы математики, физики, информатики и общетеоретических инженерных дисциплин, изучаемые на младших курсах, создают фундамент для последующего освоения профильных дисциплин на старших курсах. Производственная и преддипломная практики

проходят на ведущих предприятиях приборостроительно-радиоэлектронного комплекса Республики Беларусь, что обеспечивает непосредственное погружение студентов в производственную среду. Курсовые и дипломные проекты, как правило, имеют прикладной характер и выполняются по заказам предприятий или в рамках научно-исследовательской деятельности кафедры.

Важным элементом организации подготовки является взаимодействие с работодателями. Кафедра «Робототехнические системы» поддерживает устойчивые связи с промышленными партнёрами, участвует в совместных научно-технических проектах, организует стажировки и экскурсии на производство, привлекает представителей предприятий к чтению лекций и руководству дипломными проектами. Такой формат подготовки обеспечивает актуальность учебных программ и высокий уровень трудоустройства выпускников.

3.2. Изучаемые дисциплины

Микропроцессорное управление

Дисциплина «Микропроцессорное управление» занимает центральное место в профильной подготовке специалистов по автоматизации в приборостроении и радиоэлектронике. Она охватывает теоретические основы построения микропроцессорных и микроконтроллерных систем, принципы организации памяти, системы команд, методы ввода-вывода информации, а также технологии программирования встраиваемых систем. Студенты изучают архитектуры распространённых семейств микроконтроллеров, применяемых в промышленной автоматизации и приборостроении, специализированные промышленные контроллеры.

Практическая составляющая дисциплины предполагает выполнение лабораторных работ на учебно-лабораторных стендах кафедры робототехнических систем, где студенты осваивают навыки подключения датчиков и исполнительных устройств к микроконтроллерам, разработки алгоритмов управления в реальном времени, организации прерываний и таймеров, реализации цифровой и аналоговой обработки сигналов. Особое внимание уделяется применению микропроцессорных систем в задачах автоматизации технологических процессов: управление приводами, регулирование температуры и давления, контроль положения исполнительных механизмов, сбор данных с датчиков технологических параметров.

Компьютерные сети

Дисциплина «Компьютерные сети» обеспечивает формирование у студентов системных знаний о принципах построения, функционирования и администрирования локальных и глобальных сетей передачи данных. В контексте автоматизации технологических процессов компьютерные сети

являются критически важным элементом инфраструктуры современного предприятия, обеспечивая связь между уровнями управления - от полевого уровня (датчики, исполнительные механизмы, ПЛК) через уровень управления (SCADA, MES) до уровня планирования (ERP). Студенты изучают модели сетевого взаимодействия OSI и TCP/IP, технологии Ethernet, Wi-Fi, промышленных сетей (PROFIBUS, PROFINET, Modbus, CAN), протоколы маршрутизации и коммутации, вопросы сетевой безопасности.

Практические занятия по компьютерным сетям на РТС проводятся в специализированных лабораториях, оснащённых сетевым оборудованием. Студенты осваивают навыки проектирования топологии корпоративной сети предприятия, настройки коммутаторов и маршрутизаторов, организации виртуальных локальных сетей (VLAN), развёртывания служб DHCP, DNS и Active Directory, а также мониторинга и диагностики сетевых неисправностей. Отдельный блок посвящён промышленным сетям и протоколам обмена данными между устройствами автоматизации, что имеет непосредственное значение для специалистов приборостроительных производств.

Электроника

Дисциплина «Электроника» формирует у студентов глубокое понимание принципов работы полупроводниковых приборов, интегральных микросхем, аналоговых и цифровых электронных устройств, а также методов их применения в системах автоматизации и приборостроении. Курс охватывает теорию электрических цепей, физические основы полупроводниковой электроники, схемотехнику усилительных каскадов, генераторов, выпрямителей, стабилизаторов напряжения, логических элементов и цифровых микросхем. Студенты изучают методы анализа и синтеза электронных схем, принципы работы операционных усилителей, аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, датчиков физических величин.

Лабораторный практикум по электронике на кафедре робототехнических систем включает работы по исследованию вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов, сборке и наладке типовых электронных узлов, измерению параметров сигналов с помощью осциллографов и мультиметров, моделированию схем в системах автоматизированного проектирования (САПР). Студенты осваивают навыки чтения принципиальных и монтажных схем, пайки электронных компонентов, поиска и устранения неисправностей в электронных устройствах. Эти практические умения непосредственно применимы при обслуживании и ремонте автоматизированного оборудования на производстве.

Базы данных

Дисциплина «Базы данных» направлена на формирование у студентов компетенций в области проектирования, создания, администрирования и использования систем управления базами данных (СУБД) для хранения и обработки производственной информации. В современных автоматизированных

производства, особенно в приборостроении и радиоэлектронике, базы данных являются неотъемлемой частью информационной инфраструктуры: они хранят технологические параметры, результаты контроля качества, паспортные данные оборудования, сведения о номенклатуре изделий, данные о простоях и эффективности использования оборудования. Студенты изучают реляционную модель данных, язык структурированных запросов SQL, принципы нормализации, методы индексирования, механизмы обеспечения целостности и безопасности данных.

В рамках практических занятий студенты осваивают работу с промышленными и универсальными СУБД (Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL), выполняют проектирование логической и физической модели базы данных для задач автоматизации производства, разрабатывают запросы на выборку, модификацию и агрегацию данных, создают хранимые процедуры и триггеры.

Программное обеспечение

Дисциплины в области программного обеспечения (ПО) в профиле автоматизации технологических процессов охватывают широкий спектр - от основ алгоритмизации и программирования до разработки прикладного программного обеспечения для систем управления и мониторинга. Студенты осваивают языки программирования общего назначения (Python, C#, C++), используемые при разработке приложений для автоматизации, а также специализированные средства и среды: системы SCADA (InTouch, MasterSCADA), программные пакеты для программирования ПЛК, среды моделирования динамических систем (MATLAB/Simulink). Формируются навыки объектно-ориентированного проектирования, работы с библиотеками и фреймворками, отладки и тестирования программного кода.

Практическая подготовка в области ПО на кафедре робототехнических систем включает разработку программных приложений для сбора и визуализации данных с датчиков, создание интерфейсов оператора для управления технологическим оборудованием, написание драйверов и протоколов обмена данными между устройствами, программирование логики управления в средах разработки ПЛК. Студенты выполняют курсовые проекты, в которых создают законченные программные решения для реальных или модельных задач автоматизации.

Смежные и общинженерные дисциплины профиля

Помимо ключевых дисциплин, непосредственно указанных в названии профилизации, программа подготовки включает ряд смежных и общинженерных курсов, обеспечивающих целостность инженерного образования. К ним относятся: «Теория автоматического управления» -изучение математических методов анализа и синтеза систем управления, передаточных функций, устойчивости, качества переходных процессов; «Технические средства

автоматизации» - обзор датчиков, исполнительных механизмов, приводов, контроллеров и средств человеко-машинного интерфейса; «Промышленная робототехника» - основы конструкции, программирования и применения промышленных роботов в технологических процессах; «Электропривод и электрооборудование» - принципы управления электродвигателями и силовыми цепями автоматизированных установок.

Также в программу входят дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», «Охрана труда и техника безопасности», «Экономика и управление на предприятии», «Основы научно-исследовательской деятельности». Эти курсы формируют у студентов понимание нормативных требований к продукции и процессам, культуры безопасного труда, экономических аспектов автоматизации (расчёт эффективности инвестиций в автоматизированное оборудование) и методов проведения научных исследований.

Практическая и научно-исследовательская подготовка

Практическая подготовка является неотъемлемой составляющей профилизации и реализуется через систему лабораторных работ, курсовых проектов, учебной, производственной и преддипломной практик. Лабораторный практикум по профильным дисциплинам на кафедре робототехнических систем охватывает не менее 40 % аудиторного времени, что обеспечивает высокий уровень практических навыков.

Производственная практика проходит на базе ведущих предприятий Республики Беларусь - «Интеграл», «Пеленг», «Горизонт», «БелОМО» и других организаций приборостроительно-радиоэлектронного комплекса, а также на предприятиях других отраслей, где внедрены современные системы автоматизации. В ходе практики студенты знакомятся с организацией производства, участвуют в наладке и обслуживании автоматизированного оборудования, выполняют задания по программированию контроллеров и SCADA-систем под руководством опытных наставников. Преддипломная практика, как правило, связана с темой дипломного проекта и проводится на том предприятии, для которого разрабатывается решение.

Научно-исследовательская подготовка студентов осуществляется через участие в работе научных кружков. Кафедра робототехнических систем ведёт исследования в области интеллектуальных систем управления, робототехнических комплексов, промышленного интернета вещей, цифровых двойников технологических процессов. Студенты, вовлечённые в научную работу, получают дополнительные компетенции в области инновационных технологий, что повышает их конкурентоспособность и создаёт предпосылки для продолжения образования в магистратуре и аспирантуре.

3.3. Место в социально-экономической сфере Республики Беларусь

Роль профилизации в экономике и промышленности Республики Беларусь

Республика Беларусь обладает развитым промышленным потенциалом, в структуре которого значительную долю занимают машиностроение, приборостроение, радиоэлектроника и IT-сектор. В условиях глобальной цифровой трансформации и импортозамещения критически важных технологий потребность в отечественных кадрах, способных проектировать, внедрять и сопровождать системы автоматизации, приобретает стратегическое значение. Профилизация «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике», реализуемая в БНТУ (ФИТР), напрямую отвечает на этот вызов, обеспечивая промышленность квалифицированными универсальными специалистами.

Приборостроительно-радиоэлектронный комплекс Республики Беларусь включает более сотни предприятий и организаций, выпускающих современную продукцию. Ключевые предприятия отрасли- «Интеграл» (микроэлектроника и интегральные схемы), «Пеленг» (радиолокационные и навигационные системы), «Горизонт» (радиоэлектронные изделия), «БелОМО» (оптико-механические приборы), «Керамин» (электронная бытовая техника) — активно модернизируют производства, внедряя автоматизированные линии, роботизированные комплексы и системы управления на основе отечественных и импортных технологий. Для успешной реализации этих проектов необходимы инженеры, владеющие современными методами автоматизации, что и обеспечивает данная профилизация.

Выходцы кафедры робототехнических систем ФИТР БНТУ занимают инженерные и руководящие должности на предприятиях не только приборостроительно-радиоэлектронного комплекса, но и в смежных отраслях: автомобилестроении (БелАЗ, «МЗОР»), энергетике (Белорусская АЭС, «Белэнергоремналадка»), пищевой и химической промышленности, логистике и транспорте. Универсальность подготовки, заложенная в программе профилизации, позволяет выпускникам успешно адаптироваться к специфике любого производства, где присутствуют задачи автоматизации.

Государственная программа социально-экономического развития Республики Беларусь предусматривает ускоренное развитие цифровой экономики, внедрение технологий Industry 4.0, расширение производства высокотехнологичной продукции. Профилизация в области автоматизации технологических процессов вносит прямой вклад в достижение этих целей, формируя человеческий капитал - главный ресурс инновационного развития.

Перспективы трудоустройства и социальная значимость выпускников

Выпускники профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике» пользуются устойчивым спросом на рынке труда Республики Беларусь. По направлениям применения профессиональных компетенций выпускники распределяются следующим образом: проектные и конструкторские бюро (разработка систем автоматизации) — около 25 %; непосредственно производственные предприятия (эксплуатация, наладка, обслуживание автоматизированного оборудования) — около 45 %; интеграторские и сервисные компании (внедрение и сопровождение систем автоматизации) — около 20 %; научно-исследовательские организации и образовательные учреждения — около 10 %. Такое распределение свидетельствует о широком спектре возможностей трудоустройства и подтверждает универсальность подготовки.

Типичные должности, на которые претендуют и которые успешно занимают выпускники, включают: инженер по автоматизации и механизации производства, инженер-программист ПЛК и SCADA, инженер по наладке и испытаниям, специалист по промышленным сетям и кибербезопасности, инженер-робототехник, инженер по техническому обслуживанию автоматизированного оборудования, руководитель группы автоматизации, главный специалист отдела АСУ ТП. Средний уровень заработной платы инженеров-автоматизаторов на белорусских предприятиях превышает средний показатель по промышленности, а на предприятиях с иностранным участием и в IT-секторе достигает конкурентоспособных значений. Карьерный рост выпускников может вести к позициям главного инженера, технического директора, руководителя проектов цифровой трансформации предприятия.

Социальная значимость профилизации проявляется не только в обеспечении занятости и достойного уровня доходов выпускников, но и в повышении производительности и безопасности труда на предприятиях, снижении доли ручного тяжёлого труда, улучшении качества выпускаемой продукции, сокращении производственного брака и отходов. Автоматизация технологических процессов способствует экологизации производства, снижению энергопотребления и выбросов загрязняющих веществ. Выпускники, владеющие современными технологиями автоматизации, являются проводниками научно-технического прогресса на производстве, способствуя повышению конкурентоспособности белорусской экономики в условиях глобализации.

Перспективы дальнейшего развития профилизации связаны с углублением интеграции искусственного интеллекта, машинного обучения, технологий дополненной и виртуальной реальности в учебный процесс и научные исследования кафедры робототехнических систем. Планируется расширение сотрудничества с зарубежными университетами и технологическими

компаниями, развитие программ двойных дипломов и академической мобильности, создание центров компетенций в области промышленного интернета вещей и цифровых двойников. Эти меры обеспечат сохранение лидирующих позиций БНТУ (ФИТР) в подготовке инженеров и укрепят вклад профилизации в социально-экономическое развитие Республики Беларусь на долгосрочную перспективу.

Тема 4. Общая характеристика профилизации: Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике

Учебное заведение: Белорусский национальный технический университет

Факультет: информационных технологий и робототехники (ФИТР)

Кафедра: «Робототехнические системы»

Квалификация: инженер

Срок обучения: 4 года

4.1. Общая характеристика профилизации

Понятие и сущность профилизации в энергетике

Профилизация в системе высшего технического образования представляет собой целенаправленное формирование у обучающихся углублённых знаний, навыков и компетенций в определённой отрасли или направлении профессиональной деятельности. В контексте специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» энергетическое направление профилизации ориентировано на подготовку инженеров, способных проектировать, внедрять, эксплуатировать и совершенствовать автоматизированные системы управления, контроля и учёта энергопотребления в объектах электро-, тепло- и газоснабжения. Энергетика как базовая отрасль экономики Республики Беларусь непрерывно развивается, что обуславливает устойчивый спрос на квалифицированных специалистов, владеющих современными средствами автоматизации.

Сущность энергетической профилизации заключается в интеграции фундаментальной инженерной подготовки с отраслевой специализацией. Студенты, выбравшие данное направление, изучают не только общие принципы автоматизации производственных процессов, но и специфику энергетических объектов: электростанции, подстанции, распределительные сети, котельные, тепловые пункты. Профилизация предполагает освоение процессов автоматизации учёта энергопотребления, принципов построения систем автоматического регулирования, технологий сбора и обработки телеметрической информации, а также нормативно-правовой базы функционирования энергетического комплекса. Таким образом, выпускник получает возможность занимать инженерные должности в проектных, монтажных, эксплуатационных и научно-исследовательских организациях энергетической отрасли.

На кафедре робототехнических систем БНТУ ФИТР энергетическая профилизация рассматривается как одно из приоритетных направлений, согласованное с потребностями национальной экономики. Учебный процесс строится на сочетании теоретических дисциплин и практико-ориентированной подготовки, включающей работу с учебным оборудованием, программными комплексами SCADA, системами АСКУЭ (автоматизированные системы

контроля и учёта электроэнергии), лабораторными стендами параметризации оборудования. Данный подход обеспечивает формирование у будущих инженеров системного мышления и способности к комплексному решению задач автоматизации в условиях многофакторной и динамичной энергетической среды.

Цель и задачи профилизации

Главной целью профилизации в рамках специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» является подготовка конкурентоспособных инженеров по автоматизации, обладающих теоретическими знаниями и практическими умениями, необходимыми для эффективного функционирования и модернизации автоматизированных систем энергопотребления в энергетике. Выпускник должен быть способен участвовать в полном жизненном цикле автоматизированных систем - от технико-экономического обоснования и проектирования до ввода в эксплуатацию, технического обслуживания и модернизации. Эта цель согласуется с требованиями работодателей, предъявляемыми к молодым специалистам в условиях цифровой трансформации энергетического комплекса.

Для достижения указанной цели решается комплекс взаимосвязанных задач. Первая задача - формирование у обучающихся глубокого понимания физических и технологических основ производства, передачи, распределения и потребления энергии. Вторая задача - освоение методов и средств автоматизации: датчиков и исполнительных механизмов, программируемых логических контроллеров, промышленных сетей передачи данных, программного обеспечения верхнего уровня. Третья задача - развитие навыков проектирования и программирования систем АСКУЭ энергетических объектов с учётом требований надёжности, безопасности и энергоэффективности. Четвёртая задача - воспитание профессиональной ответственности и культуры безопасности при работе с энергетическим оборудованием и системами жизнеобеспечения.

Отдельного внимания заслуживает задача формирования компетенций в области интеллектуальных энергетических систем и цифровых технологий. Современная энергетика всё в большей степени опирается на средства дистанционного мониторинга, предиктивной аналитики, интеграции возобновляемых источников энергии и концепции Smart Grid. Профилизация призвана обеспечить студентам базовую подготовку в этих областях, чтобы они могли адаптироваться к быстро меняющимся технологическим условиям и участвовать в инновационных проектах отрасли. Наконец, важной задачей является развитие коммуникативных и организационных навыков, поскольку инженер по автоматизации в энергетике работает в междисциплинарных коллективах, взаимодействуя с энергетиками, программистами, экономистами и руководителями предприятий.

Основные направления подготовки

Энергетическая профилизация в специальности охватывает несколько взаимосвязанных направлений подготовки, каждое из которых отражает определённый аспект профессиональной деятельности инженера. Первое направление - автоматизация процессов генерации электроэнергии. Оно включает изучение систем управления турбинами, генераторами, котельным оборудованием. Студенты знакомятся с принципами регулирования активной и реактивной мощности, защиты и автоматики энергетических агрегатов, а также с требованиями к надёжности работы генерирующего оборудования.

Второе направление - автоматизация электрических сетей и подстанций. Здесь акцент делается на системах диспетчерского управления, релейной защите и автоматике, телемеханике, коммутационном оборудовании с дистанционным управлением. Обучающиеся осваивают топологию распределительных и магистральных сетей, принципы балансировки нагрузки, методы обнаружения и локализации аварийных ситуаций. Третье направление - системы коммерческого и технического учёта энергоресурсов. В его рамках изучаются АСКУЭ, автоматизированные системы учёта тепла, воды и газа, принципы тарификации, метрологическое обеспечение измерений. Четвертое направление - информационные технологии в энергетике: базы данных, сетевые протоколы, системы визуализации. Совокупность этих направлений формирует у выпускника целостное представление об автоматизации энергетического комплекса и позволяет выбрать узкую специализацию в дальнейшей профессиональной деятельности.

Профессиональные компетенции выпускника

К общим компетенциям относятся способность к абстрактному мышлению, анализу и синтезу информации, владение иностранным языком в профессиональной сфере, умение работать в коллективе и руководить проектной деятельностью. Профессиональные компетенции носят отраслевой характер и непосредственно связаны с задачами автоматизации в энергетике.

Ключевой профессиональной компетенцией является способность разрабатывать технические задания и проектную документацию на автоматизированные системы управления технологическими процессами энергетических объектов, автоматизированные системы учета и контроля энергопотребления. Выпускник должен уметь выбирать и обосновывать применение средств автоматизации, составлять структурные и функциональные схемы, выполнять расчёты параметров систем регулирования. Другая важная компетенция - программирование и конфигурирование программируемых логических контроллеров, SCADA-систем, устройств релейной защиты и автоматики. Инженер должен владеть языками структурированного текста, функциональных блок-диаграмм, лестничной логики, а также средствами разработки человеко-машинных интерфейсов.

Выпускник должен обладать компетенциями в области пусконаладочных работ, диагностики и технического обслуживания автоматизированных систем. Это включает умение проводить испытания, настраивать регуляторы, выявлять и устранять неисправности в цепях автоматики. Не менее значимы компетенции в сфере нормативно-технического регулирования: знание правил устройства электроустановок, правил технической эксплуатации, требований к метрологическому обеспечению учёта энергоресурсов. Наконец, выпускник должен быть готов к непрерывному профессиональному развитию, освоению новых технологий и участию в научно-исследовательской деятельности, что особенно актуально в условиях цифровизации энергетики.

Место профилизации в образовательной программе

Энергетическая профилизация в программе специальности по автоматизации реализуется преимущественно на старших курсах обучения и представляет собой логическое завершение базовой инженерной подготовки. На первом и втором курсах студенты получают фундаментальные знания по математике, физике, электротехнике, теории автоматического управления, информатике и программированию. Эти дисциплины создают теоретическую основу, без которой невозможно осмысленное изучение отраслевых дисциплин. На третьем курсе начинается углублённое изучение общих курсов автоматизации: промышленной электроники, микропроцессорной техники, датчиков и исполнительных механизмов, систем автоматического управления, систем контроля и учета энергопотребления.

Четвёртый курс посвящён непосредственно профилиционным дисциплинам и выполнению курсового и дипломного проектирования.

Практическая подготовка осуществляется в ходе учебной, производственной и преддипломной практик на предприятиях РУП «Белэнерго», в проектных институтах, на объектах энергоснабжения промышленных предприятий.

Производственная практика и дипломное проектирование играют особую роль в профилизации, поскольку позволяют студенту применить полученные знания к решению реальной инженерной задачи. Темы дипломных проектов, как правило, формируются на основе актуальных потребностей предприятий-партнёров: разработка алгоритмов управления, модернизация систем АСКУЭ, проектирование SCADA-решений, оптимизация режимов работы энергообъектов. Таким образом, профилизация не ограничивается набором учебных дисциплин, а представляет собой целостный образовательный комплекс, интегрирующий теорию, практику и связь с отраслью.

4.2. Автоматизированные системы в энергетике

Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ)

Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ) представляют собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для непрерывного измерения, сбора, передачи, обработки, хранения и представления данных о потреблении и генерации электроэнергии. АСКУЭ является одним из ключевых элементов автоматизации в энергетике, поскольку обеспечивает достоверный коммерческий и технический учёт, необходимый для расчётов с потребителями, анализа энергопотребления, выявления потерь и несанкционированного подключения. В Республике Беларусь внедрение АСКУЭ регламентируется нормативными актами в области энергосбережения и учёта энергоресурсов.

Архитектура типовой АСКУЭ включает три иерархических уровня. Нижний уровень составляют интеллектуальные счётчики электроэнергии и измерительные комплексы, установленные на границах балансовой принадлежности, в точках поставки и на вводах потребителей. Средний уровень представлен устройствами сбора и передачи данных (УСПД), концентраторами, модемами, обеспечивающими телеметрическую связь между счётчиками и верхним уровнем по каналам GSM, Ethernet, PLC (Power Line Communication) или радиоканалу. Верхний уровень - серверное программное обеспечение и рабочие места операторов, осуществляющие приём, архивирование, обработку и визуализацию данных, формирование отчётности, интеграцию с расчетными системами.

Функциональные возможности современных АСКУЭ выходят далеко за рамки простого учёта. Системы обеспечивают мониторинг параметров качества электроэнергии (напряжение, частота, коэффициент мощности, гармоники), дистанционное считывание показаний, управление нагрузкой (в том числе ограничение мощности), обнаружение фактов хищения электроэнергии. Для инженера по автоматизации владение принципами построения АСКУЭ, знание протоколов обмена данными, умение настраивать и интегрировать компоненты системы являются востребованными профессиональными навыками.

Системы учёта электроэнергии

Системы учёта электроэнергии являются основой коммерческих и технологических расчётов в энергетике и представляют собой совокупность средств измерений, вычислительных устройств, каналов передачи информации и программных средств обработки данных. Коммерческий учёт направлен на определение объёма электроэнергии, поставленной потребителю или полученной от поставщика, для целей выставления счетов и взаиморасчётов. Технологический (оперативный) учёт используется диспетчерскими службами для контроля баланса энергии в сети, анализа режимов, планирования и

оптимизации работы энергосистемы. Оба вида учёта тесно взаимосвязаны и в современных условиях реализуются на единой измерительно-информационной базе.

Инженер, специализирующийся в области учёта электроэнергии, должен знать классификацию точек учёта, правила установки счётчиков, требования к кабельным линиям связи, принципы интеграции данных учёта в корпоративные информационные системы энергоснабжающих организаций. Грамотная организация учёта является необходимым условием эффективного управления энергопотреблением и реализации государственной политики энергосбережения.

Системы диспетчерского управления

Системы диспетчерского управления (СДУ) в энергетике представляют собой автоматизированные комплексы, обеспечивающие централизованный сбор, отображение и анализ телеметрической информации, а также дистанционное управление оборудованием электрических сетей, электростанций и тепловых объектов. Основой СДУ является SCADA-система (Supervisory Control and Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных), которая функционирует в режиме реального времени и является критически важной инфраструктурой энергетического комплекса. Через SCADA диспетчер получает информацию о состоянии выключателей, значениях токов и напряжений, мощностях, частоте, температуре оборудования и может отдавать команды на коммутацию, изменение уставок автоматики и регулирование режимов.

Функции диспетчерского управления охватывают оперативное управление режимами, аварийное управление, расчёт и анализ установившихся и переходных режимов, ведение оперативных журналов, формирование отчётов для руководства. Современные СДУ интегрируют элементы предиктивной аналитики, позволяющие прогнозировать развитие аварийных ситуаций и оптимизировать режимы работы. Для выпускника кафедры робототехнических систем владение принципами построения SCADA, навыками конфигурирования RTU и разработки мнемосхем является одной из наиболее востребованных компетенций. Практика показывает, что специалисты, способные проектировать и сопровождать диспетчерские системы, востребованы как в РУП «Белэнерго», так и на промышленных предприятиях с собственными системами энергоснабжения.

Учёт воды, газа и тепловой энергии

Автоматизация учёта воды, природного газа и тепловой энергии является неотъемлемой частью комплексного энергетического менеджмента и тесно связана с учётом электроэнергии. Теплоснабжение в Республике Беларусь осуществляется преимущественно централизованно, и учёт тепловой энергии на границе балансовой принадлежности выполняется теплосчётчиками, которые измеряют объём теплоносителя и разность температур на подающем и обратном

трубопроводах. Современные ультразвуковые и электромагнитные теплосчётчики обеспечивают высокую точность измерений и могут передавать данные в автоматизированные системы коммерческого учёта (АСКТЭ — автоматизированные системы контроля и учёта тепловой энергии) по цифровым каналам связи.

Комплексный учёт всех энергоресурсов на предприятии позволяет рассчитывать удельные показатели энергопотребления на единицу продукции, выявлять резервы энергосбережения, обосновывать инвестиции в модернизацию оборудования. Инженер по автоматизации, владеющий методами интеграции разнородных систем учёта в единую информационную платформу энергоменеджмента, обладает существенным конкурентным преимуществом на рынке труда. В учебном процессе вопросы учёта тепла, воды и газа рассматриваются в рамках дисциплин по автоматизации энергетических процессов и энергосбережению, что обеспечивает формирование у студентов целостного понимания задач коммерческого и технического учёта в ЖКХ и на промышленных предприятиях.

Дисциплины профилизационного цикла

Профилизационный цикл дисциплин энергетического направления в образовательной программе формирует у обучающихся систему знаний, необходимых для профессиональной деятельности в области автоматизации энергетики. Базовую подготовку обеспечивают дисциплины общенаучного и общепрофессионального цикла: высшая математика, физика, теоретические основы электротехники, теория автоматического управления, микропроцессорная техника, промышленные сети и интерфейсы, программирование. Без усвоения этих курсов невозможно качественное освоение отраслевых дисциплин, поскольку автоматизация энергетических процессов опирается на универсальные инженерные методы и средства.

К специальным профилизационным дисциплинам относятся: «Объекты автоматизации в энергетике»; «Программирование контроллеров»; «Технические средства автоматизации»; «Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ)»; «Проектирование АСКУЭ»; «Информационные технологии», «Энергосбережение» и др.

Роль РУП «Белэнерго» в подготовке и трудоустройстве

Республиканское унитарное предприятие «Белэнерго» является головной организацией электроэнергетического комплекса Республики Беларусь и ключевым работодателем для выпускников энергетической профилизации. В состав «Белэнерго» входят энергоснабжающие организации (РУП-облэнерго), производящие организации (Белорусская АЭС, ТЭЦ, ГРЭС), научно-производственное республиканское унитарное предприятие и другие структуры. Предприятие обеспечивает производство, передачу, распределение и сбыт

электроэнергии, а также координирует развитие отрасли, внедрение новых технологий, модернизацию оборудования.

Связь БНТУ ФИТР с РУП «Белэнерго» реализуется через систему договоров о сотрудничестве, организацию баз практик, совместную разработку тем дипломных проектов, привлечение специалистов предприятия к чтению лекций и руководству к дипломными проектами. Студенты проходят практику в диспетчерских центрах, на подстанциях, в службах релейной защиты и автоматики, в отделах АСКУЭ и информационных технологий. Это позволяет им познакомиться с реальными автоматизированными системами, используемыми в отрасли, и адаптировать свои знания к производственным условиям. Многие выпускники кафедры робототехнических систем трудоустраиваются в структуры РУП «Белэнерго» на должности инженеров, инженеров по автоматизации, инженеров по обслуживанию сетей, инженеров-электриков, монтажниками, инженерами-конструкторами, инженерами –проектировщиками, программистов SCADA, специалистов по АСКУЭ, инженеров релейной защиты и др.

«Белэнерго» активно ведёт работу по цифровизации и модернизации энергетического комплекса: внедрению интеллектуальных счётчиков, созданию единых информационных пространств, обновлению диспетчерских систем, развитию АСКУЭ. Эти процессы генерируют устойчивый спрос на молодых специалистов, владеющих современными технологиями автоматизации.

Социально-экономическая значимость профилизации

Социально-экономическая значимость профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике» определяется ролью энергетики как фундамента функционирования всех отраслей экономики и обеспечения качества жизни населения. Бесперебойное электро-, тепло- и газоснабжение является необходимым условием работы промышленных предприятий, объектов социальной инфраструктуры, жилого фонда. Автоматизированные системы управления, учёта и мониторинга обеспечивают надёжность, прозрачность и эффективность энергетического комплекса. Подготовка квалифицированных инженеров по автоматизации для этой отрасли является социально значимой задачей высшей школы.

С экономической точки зрения профилизация способствует решению задач повышения производительности труда в энергетике, снижения операционных затрат, оптимизации капитальных вложений за счёт внедрения современных АСУ ТП. Автоматизация позволяет сократить численность персонала на рутинных операциях, перераспределив кадры на интеллектуально ёмкие функции - анализ данных, оптимизацию режимов, развитие инфраструктуры. Инвестиции в автоматизацию окупаются за счёт снижения потерь энергии, уменьшения аварийности, точного учёта и тарификации.

В социальном аспекте доступность и качество энергоснабжения напрямую влияют на уровень жизни граждан. Внедрение АСКУЭ и многотарифного учёта

даёт потребителям инструменты контроля своих расходов на энергию. Развитие диспетчерского управления и Smart Grid повышает надёжность сетей и сокращает время ликвидации аварий. Подготовка специалистов в БНТУ ФИТР на кафедре робототехнических систем тем самым вносит вклад в устойчивое развитие Республики Беларусь, обеспечивая энергетическую отрасль кадрами, готовыми к решению текущих и перспективных задач автоматизации в условиях цифровой экономики.

Тема 5. Техническое и программное обеспечение автоматизированных систем

5.1. Автоматизированные системы: общие положения

Понятие и определение автоматизированной системы

Автоматизированная система (АС) представляет собой организационно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации определённых функций деятельности человека или технологического процесса посредством применения средств вычислительной техники, программного обеспечения, средств связи и технических устройств. В отличие от полностью автоматической системы, в автоматизированной системе человек сохраняет роль оператора, диспетчера, инженера-наладчика или руководителя, принимая решения в нестандартных ситуациях и осуществляя контроль за функционированием комплекса.

Согласно общепринятой классификации, автоматизированные системы подразделяются на автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированные системы управления производством (АСУП), автоматизированные системы проектирования (САПР), автоматизированные информационные системы (АИС) и другие. Каждый тип АС решает специфический круг задач, однако все они объединены общими принципами построения: наличием иерархической структуры, разделением на уровни, использованием стандартизированных протоколов обмена данными и программно-аппаратной платформы.

В современной инженерной практике термин «автоматизированная система» охватывает как отдельные локальные комплексы (например, система управления одним технологическим агрегатом), так и распределённые корпоративные системы, объединяющие множество производственных площадок, офисов и логистических центров в единое информационное пространство.

Классификация автоматизированных систем по назначению и масштабу

Классификация автоматизированных систем по назначению является основой для выбора архитектуры, технических средств и программного обеспечения при проектировании. АСУ ТП ориентированы на непрерывное или дискретное управление технологическими процессами в реальном времени: регулирование температуры, давления, расхода, координацию работы исполнительных механизмов, сигнализацию об отклонениях от заданных параметров. АСУП решают задачи планирования, учёта, диспетчеризации и анализа производственной деятельности предприятия, опираясь на данные, поступающие с нижних уровней автоматизации.

По масштабу АС подразделяются на локальные (охватывающие один объект или агрегат), цеховые (объединяющие группу технологических линий или участков), заводские (интегрирующие все производственные подразделения предприятия) и корпоративные (объединяющие несколько предприятий холдинга). Масштаб системы определяет требования к производительности серверного оборудования, пропускной способности сетей связи, объёму хранимых данных и числу одновременно работающих пользователей.

Дополнительным критерием классификации служит режим функционирования: системы реального времени (жёсткие и мягкие), системы пакетной обработки данных, гибридные системы, сочетающие оба режима. Правильная классификация на этапе технического задания позволяет избежать архитектурных ошибок и обеспечить соответствие системы реальным потребностям заказчика.

Роль автоматизированных систем в современной промышленности

Автоматизированные системы являются фундаментом цифровой трансформации промышленности и ключевым элементом концепций «Индустрия 4.0» и «Умное производство». Они обеспечивают повышение производительности труда, снижение брака, оптимизацию энергопотребления, сокращение простоев оборудования и улучшение условий труда персонала. Без развитой системы автоматизации невозможно достичь конкурентоспособности на мировом рынке в отраслях с высокой степенью технологической сложности.

На уровне отдельного предприятия АС обеспечивают сквозной контроль качества продукции, прослеживаемость партий сырья и готовой продукции, оперативное реагирование на отклонения технологических параметров. На макроуровне автоматизированные системы формируют основу для принятия управленческих решений: анализ эффективности производства, прогнозирование потребности в ресурсах, планирование инвестиций в модернизацию оборудования.

В Республике Беларусь автоматизированные системы активно внедряются на предприятиях машиностроения, химической промышленности, сельского хозяйства, пищевой промышленности, энергетики и логистики. Государственная политика цифрового развития экономики стимулирует модернизацию производственных мощностей, что неизбежно влечёт за собой рост потребности в квалифицированных специалистах по проектированию, внедрению и эксплуатации АС.

Основные функции автоматизированных систем

Функциональное назначение автоматизированных систем определяется совокупностью задач, решаемых на каждом уровне иерархии. На полевом уровне основными функциями являются сбор данных с датчиков, управление исполнительными механизмами, локальная логика регулирования и защиты. На уровне операторского управления (SCADA) реализуются функции визуализации

технологического процесса, дистанционное управление, архивирование параметров, формирование тревожных сообщений и журналов событий.

На уровне управления производством (MES) выполняются функции диспетчеризации заказов, управления рецептурами, учёта выпуска продукции, контроля качества, расчёта показателей эффективности оборудования (OEE). На уровне планирования ресурсов предприятия (ERP) реализуются функции финансового учёта, управления запасами, планирования закупок, кадрового учёта и формирования отчётности для руководства.

Помимо производственных функций, современные АС всё чаще включают модули прогнозного обслуживания оборудования (predictive maintenance), энергоменеджмента, управления качеством по методологии, интеграции с системами лабораторного контроля. Многофункциональность системы требует тщательного проектирования информационных потоков и чёткого разграничения зон ответственности между уровнями.

Этапы жизненного цикла автоматизированной системы

Жизненный цикл автоматизированной системы охватывает стадии от формирования потребности до вывода из эксплуатации и включает следующие основные этапы: обследование объекта и разработка технического задания; концептуальное и техническое проектирование; разработка программного обеспечения и конфигурирование оборудования; монтаж, пусконаладочные работы и интеграционное тестирование; опытная и промышленная эксплуатация; сопровождение, модернизация и развитие системы.

На этапе обследования специалисты анализируют существующие технологические процессы, определяют перечень контролируемых и управляемых параметров, оценивают состояние действующего оборудования и инфраструктуры связи. Техническое задание фиксирует функциональные требования, требования к надёжности, безопасности, производительности, совместимости с существующими системами и нормативно-правовой базе.

Этап эксплуатации является наиболее продолжительным и требует наличия штатных специалистов или договора на техническое обслуживание с интегратором. Регулярное обновление программного обеспечения, резервное копирование конфигураций, мониторинг состояния оборудования и обучение персонала — обязательные элементы обеспечения устойчивого функционирования АС на протяжении всего срока службы, который может составлять 15–25 лет.

5.2. Уровни и компоненты автоматизированных систем

Иерархия уровней автоматизации: полевой — SCADA — MES — ERP

Современная промышленная автоматизация строится на многоуровневой пирамидальной модели, отражающей разделение функций по горизонтали и

вертикали. Нижний, полевой уровень (Field Level) включает датчики, исполнительные механизмы, приводы, контроллеры и устройства ввода-вывода, непосредственно взаимодействующие с технологическим оборудованием. На этом уровне осуществляется преобразование физических величин в электрические сигналы и обратно, выполняется локальная логика управления с циклами обработки от единиц миллисекунд до сотен миллисекунд.

Уровень управления и мониторинга (Control Level), реализуемый системами SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), обеспечивает сбор данных с контроллеров полевого уровня, их визуализацию на мнемосхемах, дистанционное управление, архивирование и формирование отчётов. SCADA-система не заменяет контроллеры, а выполняет функции диспетчерского надзора, координируя работу множества технологических объектов.

Уровень управления производством (MES — Manufacturing Execution System) связывает цеховой уровень с корпоративным планированием, обеспечивая диспетчеризацию производственных заказов, управление рецептурами, учёт материалов и выпуска продукции, контроль качества. Верхний уровень ERP (Enterprise Resource Planning) охватывает функции финансового и логистического управления предприятием: планирование потребности в материалах (MRP), управление закупками, складской учёт, расчёт себестоимости, кадровый учёт.

Интеграция уровней осуществляется через стандартизированные интерфейсы и протоколы обмена данными. Вертикальная интеграция обеспечивает передачу производственных данных «снизу вверх» для анализа и планирования, а производственных заданий «сверху вниз» для исполнения. Горизонтальная интеграция связывает системы одного уровня между различными цехами и производственными площадками.

Полевой уровень: датчики и измерительные устройства

Датчики (сенсоры) являются «органами чувств» автоматизированной системы, преобразующими физические величины — температуру, давление, расход, уровень, положение, вибрацию, состав среды — в электрические сигналы, пригодные для обработки контроллером. По принципу действия датчики подразделяются на резистивные (терморезисторы, тензорезисторы), ёмкостные, индуктивные, пьезоэлектрические, оптические, ультразвуковые и другие.

По типу выходного сигнала различают аналоговые датчики (4–20 мА, 0–10 В), цифровые датчики с интерфейсами HART, IO-Link, а также датчики с встроенной интеллектуальной обработкой (smart sensors), способные передавать не только измеренное значение, но и диагностическую информацию о собственном состоянии. Выбор датчика определяется диапазоном измерений, требуемой точностью, условиями эксплуатации (температура, влажность, агрессивная среда, взрывоопасная зона), требованиями к сертификации.

Измерительные устройства полевого уровня включают также преобразователи, нормирующие усилители, блоки питания датчиков. Правильный подбор и монтаж датчиков критически важны для достоверности управления: ошибка измерения на полевом уровне неизбежно приводит к некорректным решениям на всех верхних уровнях системы. Калибровка датчиков, проверка кабельных линий и контроль заземления - обязательные процедуры при вводе системы в эксплуатацию.

Полевой уровень: исполнительные механизмы и приводы

Исполнительные механизмы преобразуют управляющие сигналы контроллера в механические воздействия на технологический процесс. К основным типам относятся электрические, пневматические и гидравлические приводы. Электрические приводы включают серводвигатели, шаговые двигатели, частотные преобразователи, управляющие асинхронными двигателями, и широко применяются в системах позиционирования, транспортировки и приводов рабочих органов роботов.

Пневматические исполнительные механизмы (пневмоцилиндры, поворотные приводы, клапаны с электропневматическим позиционером) обеспечивают быстрое срабатывание, простоту конструкции и взрывобезопасность, что делает их незаменимыми в химической и нефтегазовой промышленности. Гидравлические приводы создают высокие усилия при компактных размерах и применяются в прессах, экскаваторах, тяжёлых манипуляторах.

Регулирующая арматура — запорная, регулирующая, предохранительная — является специализированным классом исполнительных механизмов для управления потоками жидкостей и газов. Современная арматура оснащается интеллектуальными позиционерами с цифровой связью, позволяющими дистанционно диагностировать состояние клапана, выявлять износ уплотнений и отклонения характеристики. Согласованная работа датчиков и исполнительных механизмов образует замкнутый контур управления, обеспечивающий поддержание заданных технологических параметров.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК)

Программируемый логический контроллер (ПЛК, PLC — Programmable Logic Controller) является центральным вычислительным устройством полевого и контрольного уровней автоматизированных систем. ПЛК представляет собой специализированный промышленный компьютер, рассчитанный на работу в жёстких условиях эксплуатации: повышенная вибрация, температура, электромагнитные помехи, длительные сроки непрерывной работы. В отличие от универсальных компьютеров, ПЛК имеет детерминированный цикл сканирования программы пользователя, что гарантирует предсказуемое время реакции на изменение входных сигналов.

Архитектура ПЛК включает центральный процессорный модуль (CPU), модули ввода-вывода (дискретные и аналоговые), модули связи (PROFIBUS, PROFINET, Modbus, Ethernet), блоки питания. Программа ПЛК разрабатывается на специализированных языках, определённых стандартом МЭК 61131-3: релейная логика (LD), функциональные блоки (FBD), структурированный текст (ST), список инструкций (IL), последовательные функциональные схемы (SFC). На практике наибольшее распространение получили LD, FBD и ST.

Ведущими производителями ПЛК являются Siemens (серии S7-1200, S7-1500, S7-300), Schneider Electric (Modicon M340, M580), Allen-Bradley (ControlLogix, CompactLogix), Beckhoff (серия CX), WAGO, ОВЕН. Выбор контроллера определяется числом точек ввода-вывода, требуемой производительностью, поддерживаемыми протоколами связи, наличием сертификатов для применения в опасных зонах и стоимостью экосистемы программирования и обслуживания.

Устройства ввода-вывода и модули связи

Модули ввода-вывода (I/O modules) обеспечивают физическую связь между процессором ПЛК и датчиками, исполнительными механизмами. Дискретные модули ввода принимают бинарные сигналы (включено/выключено, 0/1), дискретные модули вывода формируют управляющие сигналы для пускателей, реле, соленоидных клапанов. Аналоговые модули ввода оцифровывают непрерывные сигналы 4–20 мА или 0–10 В, аналоговые модули вывода формируют управляющие воздействия для регулирующих клапанов, частотных преобразователей, сервоприводов.

Модули ввода-вывода могут размещаться в корпусе ПЛК (централизованная конфигурация) или удалённо, вблизи технологического оборудования (распределённая конфигурация), что сокращает объём кабельной продукции и упрощает монтаж. Для распределённого ввода-вывода применяются специализированные шины, такие как PROFIBUS DP, PROFINET, DeviceNet, AS-Interface, IO-Link. Модули связи обеспечивают интеграцию ПЛК в сеть предприятия, поддерживая одновременно несколько протоколов.

При проектировании системы ввода-вывода необходимо учитывать запас по количеству каналов (рекомендуется 15–20 %), тип сигналов (NPN/PNP для дискретных входов), необходимость гальванической развязки, требования к быстродействию (модули быстрого ввода-вывода для высокоскоростного счёта импульсов и позиционирования). Правильная адресация каналов и документирование клеммных соединений облегчают наладку и обслуживание системы.

Промышленные сети и протоколы обмена данными

Промышленные сети обеспечивают обмен данными между устройствами полевого уровня, контроллерами, операторскими панелями и SCADA-серверами.

Наиболее распространённые протоколы и технологии включают PROFIBUS, Modbus, Ethernet-технологии (PROFINET, EtherNet/IP, Modbus TCP), а также HART и IO-Link для связи с интеллектуальными датчиками.

PROFIBUS (Process Field Bus) — семейство протоколов, разработанных в 1980-х годах и ставших де-факто стандартом в Европе. PROFIBUS DP (Decentralized Periphery) используется для связи ПЛК с удалёнными модулями ввода-вывода и приводами, PROFIBUS PA (Process Automation) — для связи с датчиками и арматурой во взрывоопасных зонах. PROFINET — современная Ethernet-технология, совместимая с PROFIBUS по модели данных и обеспечивающая детерминированную передачу данных в реальном времени поверх стандартного Ethernet.

Modbus — открытый протокол, разработанный компанией Modicon в 1979 году, до сих пор широко применяемый благодаря простоте реализации. Существуют варианты Modbus RTU (последовательная связь RS-485), Modbus ASCII и Modbus TCP (передача поверх Ethernet). Ethernet как физическая среда становится доминирующей в современных АС благодаря высокой пропускной способности, возможности интеграции IT- и OT-сетей (при соблюдении мер кибербезопасности) и поддержке протоколов промышленного интернета вещей.

При выборе протокола учитывают совместимость с имеющимся оборудованием, требования к быстродействию, максимальную длину и топологию сети, наличие инструментов диагностики. Проектирование промышленной сети включает сегментацию с помощью коммутаторов и маршрутизаторов, резервирование каналов связи, планирование IP-адресации и документирование топологии.

5.3. Организация и принципы построения автоматизированных систем

Принципы построения автоматизированных систем

Построение автоматизированных систем руководствуется комплексом инженерных принципов, обеспечивающих надёжность, масштабируемость, сопровождаемость и безопасность. Принцип иерархичности предполагает разделение системы на уровни с чётко определёнными функциями и интерфейсами взаимодействия. Принцип модульности требует, чтобы каждый компонент системы выполнял ограниченный набор функций и мог быть заменён или модернизирован без перестройки всей системы.

Принцип открытости обеспечивает использование стандартизированных протоколов и интерфейсов, позволяющих интегрировать оборудование различных производителей. Принцип достаточности означает, что система должна обладать функциональностью, необходимой для решения поставленных задач, без избыточного усложнения. Принцип резервирования критически

важных элементов (контроллеров, каналов связи, источников питания) применяется для повышения отказоустойчивости.

Принцип развития предусматривает возможность наращивания функциональности и производительности системы в процессе эксплуатации без полной замены. Принцип единства информационного пространства требует согласованности форматов данных, справочников и идентификаторов на всех уровнях. Соблюдение этих принципов на этапе проектирования существенно снижает совокупную стоимость владения (ТСО) автоматизированной системой.

Структурные конфигурации автоматизированных систем

По структуре автоматизированные системы подразделяются на централизованные, распределённые и многоуровневые. В централизованной конфигурации один контроллер управляет всеми объектами данного участка, все модули ввода-вывода подключены непосредственно к нему. Такая структура проста и экономична для небольших объектов с ограниченным числом сигналов (до 200–300 точек ввода-вывода), но при увеличении масштаба возникают проблемы с объёмом кабельной продукции и сложностью обслуживания.

Распределённая конфигурация предполагает наличие нескольких контроллеров, каждый из которых управляет своим технологическим участком, а координация осуществляется через промышленную сеть и SCADA-систему. Распределённая структура снижает объём кабелей, повышает отказоустойчивость (отказ одного контроллера не останавливает всё производство) и упрощает поэтапное наращивание системы.

Многоуровневая конфигурация сочетает распределённые контроллеры полевого уровня, SCADA-серверы уровня мониторинга, MES-серверы уровня управления производством и ERP-систему верхнего уровня. Каждый уровень может иметь собственную резервированную конфигурацию. Выбор структурной конфигурации определяется масштабом объекта, требованиями к отказоустойчивости, бюджетом проекта и перспективами развития.

Функциональная структура и информационные потоки

Функциональная структура автоматизированной системы описывает совокупность функций, выполняемых системой, и связи между ними. Для АСУ ТП типовой набор функций включает: сбор и первичную обработку данных; регулирование и логическое управление; сигнализацию и блокировку; дистанционное управление; архивирование и отчётность; диагностику оборудования. Каждая функция реализуется определённым программным модулем или аппаратным компонентом.

Информационные потоки определяют направление и состав данных, передаваемых между компонентами системы. Восходящие потоки (от полевого уровня к верхним) содержат текущие значения технологических параметров, статусы оборудования, счётчики продукции, сообщения об авариях. Нисходящие

потоки (от верхних уровней к полемому) содержат уставки регуляторов, команды управления, рецептуры, производственные задания.

Проектирование информационных потоков включает определение периодичности обновления данных, форматов сообщений, приоритетов передачи и механизмов обработки конфликтов. Для критически важных сигналов (аварийная сигнализация, команды аварийного останова) предусматриваются прямые физические связи, не зависящие от программного обеспечения верхних уровней. Документирование информационных потоков в виде диаграмм IDEF0, DFD или UML-диаграмм деятельности является обязательным этапом проектирования.

Аппаратная архитектура и размещение оборудования

Аппаратная архитектура определяет состав, размещение и взаимосвязь технических средств автоматизированной системы. Шкафы автоматики (шкафы управления) размещаются в непосредственной близости от обслуживаемого оборудования или в централизованных помещениях (помещения КИПиА, серверные). Шкаф включает ПЛК, модули ввода-вывода, блоки питания, коммутационную аппаратуру, реле, устройства защиты, клеммные колодки.

Серверное оборудование SCADA и MES размещается в серверных помещениях с контролируемым микроклиматом, источниками бесперебойного питания (ИБП) и системами пожаротушения. Операторские панели (HMI — Human Machine Interface) устанавливаются на рабочих местах операторов в диспетчерских и на производственных площадках. Промышленные коммутаторы и маршрутизаторы размещаются в шкафах связи с обеспечением вентиляции и защиты от электромагнитных помех.

При проектировании размещения учитывают требования нормативных документов по пожарной безопасности, электромагнитной совместимости, защите от вибрации и агрессивных сред. Кабельные трассы разделяют на силовые и слаботочные (сигнальные), экранированные и неэкранированные, с соблюдением допустимых расстояний для предотвращения наводок. Маркировка кабелей и оборудования в соответствии с проектной документацией облегчает поиск неисправностей при эксплуатации.

Программная архитектура автоматизированных систем

Программная архитектура описывает организацию программного обеспечения системы, включая системное ПО, прикладные программы, базы данных, интерфейсы пользователя и средства интеграции. На полевого уровне программная архитектура определяется структурой проекта ПЛК: организационными блоками (OB), функциональными блоками (FB), функциями (FC), блоками данных (DB). Программа разбивается на модули по технологическим объектам (агрегат, линия, узел) для упрощения разработки и сопровождения.

На уровне SCADA программная архитектура включает серверные приложения сбора данных, клиентские приложения визуализации, архивные базы данных (обычно на основе SQL Server, PostgreSQL или встроенных СУБД), службы оповещения. Проекты SCADA структурируются по иерархии: технологические объекты, теги (переменные), мнемосхемы, отчёты, скрипты. На уровне MES/ERP применяются трёхзвенные архитектуры: клиент — сервер приложений — сервер баз данных.

Принципы проектирования программной архитектуры включают разделение логики управления и логики отображения, использование стандартных библиотек функциональных блоков, централизованное управление уставками и рецептурами, ведение журналов изменений конфигурации. Версионирование программного обеспечения и хранение резервных копий проектов в системе контроля версий (Git) являются обязательными практиками профессиональной разработки.

5.4. Роботизированные системы

Понятие и классификация роботизированных систем

Роботизированная система (РС) представляет собой автоматизированную систему, в которой ключевую роль играет промышленный робот — программируемый манипулятор, способный автономно или под надзором оператора выполнять производственные и транспортные операции. Промышленные роботы классифицируются по типу кинематической схемы: артикуляционные (аналогичные человеческой руке, 6 степеней свободы), SCARA (селективная комплаентная сборка), порталные (картезианские), дельта-роботы (параллельные механизмы), коллаборативные (коботы, работающие совместно с человеком без защитного ограждения).

По области применения выделяют сварочных, окрасочных, сборочных, палетирующих, упаковочных, литейных роботов. Классификация по способу программирования включает роботов с обучением (lead-through), программируемых с пульта обучения (teach pendant), роботов с офлайн-программированием в CAD/CAM-средах. Современные роботы оснащаются системами технического зрения, силомоментными датчиками, адаптивным захватом, что расширяет спектр решаемых задач.

Роботизированные системы являются частным, но наиболее технологически сложным случаем автоматизированных систем, требующим интеграции механики, электроники, программирования и технологии производства.

Состав роботизированного комплекса

Роботизированный комплекс включает промышленный робот-манипулятор, систему управления (робот-контроллер), источник питания и сервоприводы, рабочий орган (захват, сварочная горелка, окрасочный пистолет),

технологическое оснащение (позиционеры, конвейеры, накопители заготовок), системы безопасности (ограждения, световые завесы, сканирующие лазерные датчики), средства программирования и интеграции.

Робот-контроллер выполняет функции, аналогичные ПЛК, но дополнительно реализует кинематические и динамические расчёты траекторий движения, интерполяцию, управление несколькими осями одновременно. Контроллеры ведущих производителей (KUKA KR C5, ABB IRC5, Fanuc R-30iB, Yaskawa YRC1000) поддерживают интеграцию с ПЛК через промышленные сети PROFINET, EtherNet/IP, а также через цифровые и аналоговые сигналы.

Технологическое оснащение определяет производительность комплекса: двухосевой позиционер позволяет сваривать в нескольких позициях без переустановки заготовки, накопитель заготовок обеспечивает автономную работу в течение смены, конвейерная линия синхронизирует движение робота с перемещением изделия. Проектирование РС требует комплексного подхода, учитывающего технологический процесс, требуемую точность, производительность и условия эксплуатации.

Интеграция роботизированных систем в АСУ ТП

Интеграция роботизированных систем в общую структуру АСУ ТП предполагает согласованную работу робот-контроллера с ПЛК технологической линии, SCADA-системой и MES. Типовая схема интеграции: ПЛК линии управляет общей логикой (пуск, останов, блокировки, сигнализация), робот-контроллер выполняет программу перемещений, обмен сигналами между ними осуществляется через цифровые входы-выходы или сетевой протокол.

SCADA-система отображает состояние роботизированной ячейки на общей мнемосхеме, фиксирует циклы работы, время простоев, аварийные остановки. MES-система получает данные о количестве обработанных изделий, передаёт производственные задания, управляет сменой программ робота в зависимости от выпускаемой продукции. Протокол OPC UA обеспечивает стандартизированный обмен данными между робот-контроллером и SCADA/MES.

При интеграции необходимо обеспечить согласованность систем координат, синхронизацию времени, единую систему кодирования аварийных сообщений. Офлайн-симуляция работы роботизированной ячейки в средах RobotStudio (ABB), KUKA.Sim, FANUC ROBOGUIDE позволяет выявить коллизии и оптимизировать траектории до монтажа оборудования.

Примеры применения роботизированных систем на производстве

На автомобильных заводах роботизированные системы выполняют сварку кузовов (до 90 % сварочных швов), окраску, установку стёкол, сборку сидений. Типичная сварочная ячейка включает два-три робота KUKA или Fanuc, позиционер с поворотным столом, систему удаления сварочных брызг. На

предприятиях пищевой промышленности дельта-роботы осуществляют укладку продукции в упаковку со скоростью до 300 циклов в минуту.

В электронной промышленности SCARA-роботы устанавливают микросхемы на печатные платы с точностью $\pm 0,02$ мм. Коллаборативные роботы Universal Robots и FANUC CRX применяются на малых и средних предприятиях для операций загрузки-выгрузки станков, что позволяет автоматизировать участки с мелкосерийным производством без капитальной реконструкции. На складах автономные мобильные роботы (AMR) транспортируют грузы, интегрируясь с WMS-системой управления складом.

Примеры демонстрируют, что роботизация оправдана при больших объёмах повторяющихся операций, требованиях к высокой точности, работе в опасных условиях (высокая температура, токсичная среда, тяжёлые грузы). Экономическое обоснование роботизированного комплекса включает расчёт срока окупаемости с учётом стоимости робота, оснастки, интеграции, обслуживания и экономии на фонде оплаты труда.

Информационная и кибербезопасность АС

Информационная безопасность автоматизированных систем направлена на защиту данных от несанкционированного доступа, модификации и уничтожения. Кибербезопасность (Cybersecurity) охватывает защиту от целенаправленных атак через сети связи, угроз, характерных для промышленных систем управления (ICS/SCADA). Рост связности АС с корпоративными ИТ-сетями и интернетом существенно расширил поверхность атаки.

Основные угрозы: несанкционированный доступ к SCADA-системе с целью нарушения технологического процесса; внедрение вредоносного ПО через съёмные носители или сеть; атаки типа «отказ в обслуживании» (DoS) на сетевую инфраструктуру; перехват и модификация данных по промышленным протоколам. Известные инциденты (Stuxnet, BlackEnergy, Triton) продемонстрировали реальность киберугроз для критической инфраструктуры.

Меры защиты включают сегментацию сети (зонирование по стандарту МЭК 62443), межсетевые экраны промышленного класса (Industrial Firewall), системы обнаружения вторжений (IDS), антивирусную защиту с учётом специфики ОТ-среды, управление уязвимостями, контроль съёмных носителей, аутентификацию и разграничение доступа, шифрование каналов связи (VPN), мониторинг сетевого трафика. Стандарт МЭК 62443 определяет уровни зрелости кибербезопасности (Cybersecurity Maturity Level) и требования к компонентам, системам и процессам.

5.6. Программное обеспечение автоматизированных систем

Классификация программного обеспечения АС

Программное обеспечение автоматизированных систем подразделяется на системное, прикладное, инструментальное и вспомогательное. Системное ПО включает операционные системы реального времени (RTOS) для ПЛК, операционные системы серверов (Windows Server, Linux), драйверы устройств, сетевые службы. Прикладное ПО реализует функции управления и мониторинга: программы ПЛК, SCADA-проекты, MES- и ERP-модули.

Инструментальное ПО (программные средства разработки) используется инженерами для создания и отладки прикладных программ: TIA Portal, CODESYS, RSLogix, Unity Pro, среды конфигурирования SCADA. Вспомогательное ПО включает клиенты OPC, средства диагностики сети, программы резервного копирования, системы управления версиями. По лицензированию ПО подразделяется на проприетарное (Siemens, Rockwell, Schneider) и открытое (CODESYS Runtime, OpenSCADA, Node-RED).

Выбор программной платформы определяется совместимостью с имеющимся оборудованием, стоимостью лицензий, наличием квалифицированных специалистов на рынке труда, требованиями к функциональности и масштабируемости. Тенденция последних лет — переход к открытым архитектурам с использованием контейнеризации (Docker), облачных сервисов (IIoT-платформы) и стандартных протоколов (OPC UA, MQTT).

SCADA-системы: назначение, функции, архитектура

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — программный комплекс диспетчерского управления и сбора данных, являющийся ключевым элементом уровня мониторинга автоматизированных систем. SCADA-система не выполняет функции регулирования в реальном времени (это задача ПЛК), а обеспечивает оператору обобщённое представление о состоянии технологического процесса, средства дистанционного вмешательства, инструменты анализа и документирования.

Основные функции SCADA: опрос контроллеров полевого уровня по протоколам Modbus, OPC UA, PROFINET; отображение технологических параметров на мнемосхемах в реальном времени; управление исполнительными механизмами (с подтверждением оператора); архивирование исторических данных (тренды); формирование аварийных сообщений и журналов событий; построение отчётов; управление пользователями и разграничение прав доступа. Расширенные функции включают географическую информационную систему (GIS) для распределённых объектов (трубопроводы, электросети), интеграцию с MES/ERP, мобильные клиенты.

Архитектура SCADA-системы, как правило, клиент-серверная: SCADA-сервер (или несколько серверов с резервированием) осуществляет сбор данных, клиентские рабочие станции обеспечивают интерфейс оператора. Ведущие

SCADA-платформы: Siemens WinCC, Wonderware InTouch/Archestra, Schneider Electric Citect SCADA, GE iFIX, B&R Automation Studio, отечественные АСУ ТП «Каскад», «Элсита». Открытые решения: OpenSCADA, Rapid SCADA.

Системы MES: управление производством

MES (Manufacturing Execution System) — система управления производственными операциями, выполняющая функции связующего звена между уровнем SCADA и уровнем ERP. MES решает задачи, не входящие в компетенцию ни ПЛК (слишком высокий уровень абстракции), ни ERP (недостаточная детализация и оперативность). Стандарт MESA-11 определяет 11 функций MES: управление данными о ресурсах, диспетчеризация производства, управление документацией, сбор данных, управление персоналом, управление качеством, управление производственными процессами, управление обслуживанием, отслеживание продукции, управление производительностью, анализ и отчётность.

На практике MES-система получает от SCADA данные о состоянии оборудования, счётчики выпуска, параметры технологического процесса. От ERP MES получает производственные заказы, спецификации, маршрутные карты. MES диспетчеризирует заказы по рабочим центрам, управляет рецептурами, фиксирует факт выпуска, отслеживает партию продукции (traceability), рассчитывает OEE (Overall Equipment Effectiveness). Ведущие MES-платформы: Siemens Opcenter, Rockwell FactoryTalk ProductionCentre, Schneider Electric Wonderware MES, SAP ME, отечественные решения.

Внедрение MES требует детального описания бизнес-процессов предприятия, интеграции с множеством систем (SCADA, ERP, LIMS, WMS), обучения персонала. Эффект от MES проявляется в сокращении времени простоев, снижении объёма незавершённого производства, повышении прослеживаемости продукции.

Системы ERP и интеграция с уровнями автоматизации

ERP (Enterprise Resource Planning) — система планирования ресурсов предприятия, охватывающая финансы, закупки, продажи, производство, склад, кадры. В контексте автоматизации ERP является верхним уровнем иерархии, формирующим производственные планы на основе заказов клиентов, прогнозов спроса, состояния запасов. ERP передаёт в MES производственные задания, получает обратно данные о фактическом выпуске, потреблении материалов, трудозатратах.

Ведущие ERP-системы: SAP S/4HANA, Oracle ERP Cloud, Microsoft Dynamics 365, 1C:ERP, Галактика ERP. Интеграция ERP с MES/SCADA традиционно осуществлялась через промежуточные таблицы, файловый обмен, EDI-сообщения. Современный подход — использование промышленных IoT-платформ (Siemens MindSphere, PTC ThingWorx, AWS IoT) и стандартных протоколов OPC UA, MQTT для потоковой передачи данных.

Двусторонняя интеграция обеспечивает замкнутый цикл управления предприятием: ERP планирует → MES диспетчеризирует → SCADA/ПЛК исполняют → данные о факте возвращаются в MES → агрегированные данные поступают в ERP для расчёта себестоимости и актуализации планов. Качество интеграции определяет достоверность управленческой отчётности и эффективность принятия решений.

5.7. Охрана труда при эксплуатации автоматизированных систем

Нормативные требования охраны труда в АС

Эксплуатация автоматизированных систем должна соответствовать требованиям охраны труда, установленным национальным законодательством, техническими нормативными правовыми актами (ТНПА) и отраслевыми правилами. В Республике Беларусь основу правового регулирования составляют Трудовой кодекс, Закон «Об охране труда», постановления Министерства труда и социальной защиты, санитарные нормы и правила (СанПиН), правила устройства и безопасной эксплуатации электроустановок потребителей (ПУЭ), правила защиты населения от шума.

Для автоматизированных систем действуют специализированные требования.

Работники, занятые эксплуатацией и обслуживанием АС, должны проходить обучение по охране труда, инструктаж на рабочем месте, периодическую проверку знаний. Электротехнический персонал - проверку знаний норм ПУЭ и ПТЭЭП с присвоением соответствующей группы по электробезопасности (II–V). Для работ на высоте, в замкнутых пространствах, с кислотами и щелочами - дополнительное обучение и медицинские осмотры.

Эргономика рабочих мест операторов и обслуживающего персонала

Эргономика рабочих мест операторов SCADA и диспетчеров АС направлена на создание условий, снижающих утомляемость, профессиональные заболевания и ошибки оператора. Диспетчерская должна соответствовать требованиям СанПиН.

Рабочее место оператора включает стол с регулируемой высотой, кресло с ортопедической спинкой и подлокотниками, монитор(ы) с диагональю 24–27 дюймов, расположенные на расстоянии 500–700 мм от глаз, клавиатуру и манипулятор. Освещение комбинированное: общее (потолочное) и местное (настольная лампа), без бликов на экране. Мнемосхемы SCADA проектируются с учётом эргономических принципов: контрастные цвета (зелёный — норма, жёлтый — предупреждение, красный — авария), крупные элементы управления, логичная группировка информации, отсутствие избыточной детализации.

Для обслуживающего персонала (электромонтёры, наладчики КИПиА) эргономика рабочих мест предполагает удобный доступ к шкафам автоматики (ширина проходов не менее 1 м), маркировку клемм и кабелей, наличие

подставок и освещения для работ в стеснённых условиях. Регламентированные перерывы (10–15 мин через каждые 2 часа работы за монитором), производственная гимнастика, ротация персонала между рабочими местами с различной нагрузкой на органы чувств способствуют сохранению здоровья и работоспособности персонала, эксплуатирующего автоматизированные системы.

2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
Белорусского национального
технического университета

_____ Ю.А. Николайчик

Регистрационный № УД-_____/уч.

Введение в специальность

(факультатив)

**Учебная программа учреждения высшего образования
по факультативной дисциплине
для специальности**

6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

**Профилизация: Автоматизация технологических процессов и
производств в энергетике**

**Профилизация: Автоматизация технологических процессов и
производств в приборостроении и радиоэлектронике**

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05-0713-04-2023 и учебных планов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизаций «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике», «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике».

СОСТАВИТЕЛЬ:

И.И. Гутич, старший преподаватель кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Н.Г. Блинкова, доцент кафедры «Техническая физика» Белорусского национального технического университета, кандидат педагогических наук;

С.А. Павлюковец, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета (протокол №__8__ от __08.06.2023г.__)
Заведующий кафедрой _____ **А.Р. Околов**

Методической комиссией факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета (протокол №__9__ от __26.06.2023г.__)
Председатель методической комиссии _____ **С.В. Васильев**

Научной библиотекой БНТУ _____ **Т.И. Бирюкова**

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол №__секции№1 от _____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Введение в специальность» разработана для специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизаций «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике», «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике».

Целью изучения дисциплины является получение основных теоретических сведений о подготовке специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств.

Основными задачами дисциплины являются: ознакомление студентов с программой подготовки по специальности; сроками и технологиями освоения учебных дисциплин по профилизациям; требованиями к выпускнику по данной специальности; формирование базовых понятий в области автоматизации приборостроения и радиоэлектронике, автоматизации энергопотребления; изучение современных технологий, технических средств, программного обеспечения в области автоматизации технологических процессов и производств.

Данная дисциплина базируется на общенаучных дисциплинах: физика, математика, информатика.

В результате освоения факультативной дисциплины «Введение в специальность» студент должен

знать:

- область профессиональной деятельности, концепцию инженерной подготовки по специальности;
- историю и современный этап развития автоматизации технологических процессов и производств;
- краткую характеристику дисциплин специальности (по профилизациям).

уметь:

- работать с информационными источниками, нормативно – справочными документами в профессиональной деятельности;
- подготовить научный доклад в предметной области.

иметь навык:

- ведения дискуссии на научные и производственные темы в области автоматизации технологических процессов и производств.

Освоение данной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

для профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике»:

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности.

для профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике»:

СК-8. Знать основные положения, состояния и мировые тенденции развития автоматизации технологических процессов и производств.

Согласно учебному плану для очной (дневной) формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 16 часов, из них аудиторных 16 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Очная (дневная) форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
1	1	16	-	-	-

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение

Основные сведения о Белорусском национальном техническом университете, факультете информационных технологий и робототехники, кафедре робототехнических систем. Организация учебного процесса в БНТУ. Место указанной специальности в социально-экономической сфере Республики Беларусь. Требования к уровню подготовки специалистов соответствующей отрасли. Основные направления развития отрасли на современном этапе. Музей БНТУ. Посещение Технопарка БНТУ.

Тема 2. Общая характеристика специальности 6-05-0713-04

«Автоматизация технологических процессов и производств»

Автоматизация технологических процессов и производств – область науки и техники. Объекты профессиональной деятельности. Виды, задачи профессиональной деятельности: проектно - конструкторская, производственно - технологическая, организационно - управленческая, научно – исследовательская, эксплуатационная деятельность. Понятия механизации, автоматизации, робототехники. Понятие «Индустрия 3.0», «Индустрия 4.0». Цифровая автоматизация.

Тема 3. Общая характеристика профилизации: Автоматизация технологических процессов и производств в приборостроении и радиоэлектронике

Общая характеристика профилизации специальности. Изучаемые дисциплины. Место специальности в социально-экономической сфере Республики Беларусь. Знакомство с лабораториями кафедры по профилизации специальности. Возможные места распределения на производственную практику, работу.

Тема 4. Общая характеристика профилизации: Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике

Общая характеристика профилизации специальности. Изучаемые дисциплины. Место профилизации в социально-экономической сфере Республики Беларусь. Знакомство с лабораториями кафедры по профилизации специальности. Возможные места распределения на производственную практику, работу.

Тема 5. Техническое, программное обеспечение автоматизированных систем

Автоматизированные системы. Виды. Классификация. Уровни. Компоненты системы. Организация и общие принципы технических решений построения, функционирования автоматизированных и роботизированных систем. Возможные конфигурации систем. Примеры разработок. Безопасность.

Задачи, решаемые ПО в автоматизированных системах. Виды ПО для автоматизированных и роботизированных систем. Возможные конфигурации. Охрана труда.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**Список литературы****Основная литература**

1. Околов, А. Р. Системы автоматизированного контроля: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / А. Р. Околов, А. В. Дрозд, И. И. Гутич ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Робототехнические системы". – Минск : БНТУ, 2018. – 55 с
2. Буров, А. Л. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Программно-технические комплексы средств автоматизации» для специальности: 1-53 01 04 «Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами» [Электронный ресурс] / А. Л. Буров ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции». – Минск : БНТУ, 2021.
3. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления" [Электронный ресурс]: для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Робототехнические системы"; И. И. Гутич. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2021.
4. Производство, транспорт и потребление электроэнергии [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение"; сост.: В. Б. Козловская, М. Л. Протасеня, Т. М. Ярошевич. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2019.
5. Технические средства автоматизированных систем управления [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности: 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост. А. Л. Буров. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017.

Дополнительная литература

6. Кангин, В. В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры / В.В. Кангин, В.Н. Козлов. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. - 424 с
7. Основы энергосбережения и нетрадиционные источники энергии : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» и

- 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / С. П. Кундас. – Минск: БНТУ, 2020.
8. Назаров, В.И. Системы регулирования теплоэнергетических процессов на ТЭС и АЭС: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции"; 1-43 01 08 "Проектирование и эксплуатация атомных электрических станций"; 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / В. И. Назаров; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск: БНТУ, 2021.
 9. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Парогенераторы ТЭС» для специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост. Н. В. Левшин – Минск : БНТУ, 2022
 10. Учет, контроль и регулирование энергоресурсов [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО "Энергосбережение и возобновляемые источники энергии"; сост.: С. В. Климович, И. В. Янцевич. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017.
 11. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальностей: 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции", 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост.: А. Г. Герасимова, С. А. Качан. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017.
 12. Фурсанов, М. И. Расчеты технологического расхода (потерь) электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистем: учебно-методическое пособие / М. И. Фурсанов, А. А. Золотой, В. В. Макаревич; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электрические системы". – Минск: БНТУ, 2018.
 13. Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем (теория, методология, организация). Е.Т.Удовиченко, А.А.Брагин, А.Л. Семенюк и др. - М.: Изд-во стандартов, 2011.-192с
 14. СТБ 2096-2010 Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. Общие технические требования.
 15. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Турбины ТЭС» для специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост. Н. В. Пантелей. – Минск : БНТУ, 2022.
 16. Вспомогательное оборудование электростанций [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студентов специальности: 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" /

Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции" ; сост.: Н. Б. Карницкий, Е. В. Пронкевич, С. А. Качан. – Минск : БНТУ, 2018.

17. Кундас, С. П. Основы энергосбережения и нетрадиционные источники энергии : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» и 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / С. П. Кундас ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция». – Минск : БНТУ, 2020. – 391 с.
18. Родионов, В. Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего / В. Г. Родионов. – М. : ЭНАС, 2020. – 352 с. : ил.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола заседания кафедры)
Согласование не требуется	Кафедра «Робототехнические системы»		Содержание данной учебной программы не требует согласования с другими учебными дисциплинами специальности. Протокол № __8__ от 08.06.2023г.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления" [Электронный ресурс]: для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Робототехнические системы";
И. И. Гутич. – Минск: БНТУ, 2021.
2. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий" [Электронный ресурс]: для специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)" / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет", Кафедра "Электроснабжение"; сост. В. Н. Калечиц. – Минск: БНТУ, 2021.
3. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике» для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Робототехнические системы» ; сост. И. И. Гутич. – Минск : БНТУ, 2025.
4. Учебник «Основы автоматизации технологических процессов» / Профессиональное образование; А.В. Щагин, В.И. Демкин.-Москва: Издательство Юрайт, 2026
5. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А.А. Иванов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2018.

Дополнительная литература

6. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 03 "Электроснабжение (по отраслям)" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение"; сост. В. Н. Калечиц. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2018.
7. Фурсанов, М. И. Расчеты технологического расхода (потерь) электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистем : учебно-методическое

пособие / М. И. Фурсанов, А. А. Золотой, В. В. Макаревич ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электрические системы". - Минск : БНТУ, 2018. – 110с.

8. Охрана труда : учебно-методическое пособие для студентов технических специальностей / А. М. Лазаренков, Т. П. Кот, И. Н. Ушакова [и др.] ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Охрана труда». – 3-е изд., доп. и перераб. – Минск : БНТУ, 2025. – 145 с.

Нормативные ссылки

9. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы.
10. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы.
11. Закон РБ от 10 июля 2012 г. № 425-З «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности».
12. СТБ 2096-2023 Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. Общие технические требования.
13. ГОСТ 21.404-85 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».
14. СТБ 8004-93 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений.
15. Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений»
16. Концепция приборного учета электрической энергии в Республике Беларусь.
17. ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

Интернет источники

18. <https://bntu.by/>
19. <https://www.energo.by/>
20. <https://www.energobyt.by/>