



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Kaasaegsete tootmise automatiseerimise süsteemide analüüs eesti ettevõtete näitel

**Analysis of modern industrial automation systems on the
example of Estonian companies**

RDDR08/14 ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Ilja Pikalov

Üliõpilaskood: 143482RDDR

Juhendaja: Sergei Pavlov, lektor



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Анализ современных систем автоматизации
промышленного производства на примере эстонских
предприятий**

RDDR08/14 ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Ilja Pikalov

Üliõpilaskood: 143482RDDR

Juhendaja: Sergei Pavlov, lektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 20.....

Autor: Ilja Pikalov

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja: Sergei Pavlov

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Ilja Pikalov (sünnikuupäev: 15.06.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Kaasaegsete tootmise automatiseerimise süsteemide analüüs eesti ettevõtete näitel, mille juhendaja on Sergei Pavlov,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Ilja Pikalov, RDDR143482

Õppekava, peeriala: RDDR, Tootmise automatiseerimine

Juhendaja(d): Lektor, Sergei Pavlov, sergei.pavlov@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Kaasaegsete tootmise automatiseerimise süsteemide analüüs eesti ettevõtete näitel

(inglise keeles) Analysis of modern industrial automation systems on the example of Estonian companies

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida, millised tootmise automatiseerimise süsteemid kasutatakse tänapäeval
2. Kirjeldada süsteemide eelduseid ja puuduseid
3. Uurida eesti tootmis ettevõtetes kasutusolevaid automaatika süsteemid läbi küsitlust
4. Läbiviia intervjuu ühe eesti automaatiseerimis süsteemide arendajaga

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Põhiline maht teksti koostatud ja kirjutatud, vormistamise protsessi põhiline osa on tehtud	31.03.23
2.	Analüseeritud ja lisatud kõik andmed, mis kätte saanud ettevõtete poolt, kokkuvõtte kirjutamise protsess on alanud	30.04.23
3.	Eelkaitsmine	18.05.23

Töö keel: vene

Lõputöö esitamise tähtaeg: "15"mai 2023a

Üliõpilane: Ilja Pikalov

"....."..... 20.....a

/allkiri/

Juhendaja: "....." 20.....a
/allkiri/

Konsultant: "....." 20.....a
/allkiri/

Programmijuht: "....." 20.....a
/allkiri/

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ	9
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	10
СПИСОК АББРЕВИАТУР	11
ВВЕДЕНИЕ.....	12
1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	14
1.1 Классические решения в промышленной автоматизации	16
1.1.1 Категории промышленной автоматизации	16
1.1.2 Контроллер.....	16
1.1.3 Программируемый логический контроллер.....	16
1.1.4 Применение ПЛК в промышленной автоматизации	17
1.1.5 Структура работы ПЛК	17
1.1.6 Алгоритм работы ПЛК.....	18
1.1.7 Языки программирования ПЛК	18
1.1.8 Способы коммуникации	19
1.2 Концепция Индустрии 4.0.....	19
1.2.1 Обзор Индустрии 4.0.....	19
1.2.2 Первая промышленная революция.....	19
1.2.3 Вторая промышленная революция	20
1.2.4 Третья промышленная революция	20
1.2.5 Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0)	20
1.3 Современные технологии в автоматизации	21
1.3.1 Промышленный IoT.....	21
1.3.2 Искусственный интеллект в автоматизации	26
1.3.3 Промышленные роботы-манипуляторы	27
1.3.4 Совместные роботы.....	28
1.3.5 Промышленные 3D принтеры в автоматизации	29
1.3.6 Сети пятого поколения (5G).....	30
1.3.7 Сравнение сетей передачи данных	31
1.4 Промежуточный итог	32
2 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
2.1 Опрос.....	33
2.2 Интервью	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49

Summary	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Опрос	58
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Вопросы интервью	63

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рисунок 1.1 Структура работы программируемого логического контроллера.....	17
Рисунок 1.2 Алгоритм работы ПЛК.....	18
Рисунок 1.3 Этапы развития промышленной революции.....	21
Рисунок 2.1 Период последнего обновления систем автоматизации	34
Рисунок 2.2 Использование IoT.....	35
Рисунок 2.3 Использование роботов-манипуляторов	35
Рисунок 2.4 Использование совместных роботов	36
Рисунок 2.5 Использование 3D принтеров	36
Рисунок 2.6 Использование сетей 5G	37
Рисунок 2.7 Используемые промышленные сети.....	37
Рисунок 2.8 Поддержка удаленного управления.....	38
Рисунок 2.9 Степень автоматизации предприятий	39

ПРЕДИСЛОВИЕ

Тема данной дипломной работы была выбрана автором вместе с руководителем Сергеем Павловым. Современные технологии ежедневно развиваются с огромной скоростью и автору было интересно собрать и изучить основные тренды в современной автоматизации производства.

Для создания данной дипломной работы автор изучил много научных исследований, а также статей по темам современных методов автоматизации на разных производствах и выявил несколько из них и описал в теоретической части. Для более подробного изучения, какие же системы и методы автоматизации используются на эстонских предприятиях, автор провел исследования создав опрос и разослав его крупным производственным предприятиям в Эстонии. Также автор провел интервью с руководителем одной из фирм, которая предлагает разные решения по автоматизации на предприятиях и занимается их разработкой, чтобы проследить тенденцию в какую область больше всего двигаются эстонские производства.

После всех изученных данных автор также дает собственную субъективную оценку степени автоматизации эстонских предприятий. Для этого автор сравнил полученные ответы в ходе опроса с критериями, которые были отобраны и предоставлены в виде таблицы.

Отдельно выражается благодарность Сергею Павлову – за помощь и наставления при выборе темы, а также помощь в создании данной дипломной работы.

Ключевые слова: автоматизация, Интернет вещей, 5G, искусственный интеллект, Индустрия 4.0, робот-манипулятор, Ethernet

СПИСОК АББРЕВИАТУР

5G – пятое поколение (англ. *fifth generation*)

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

ГЭС - гидроэлектростанция

ПИД - пропорционально-интегрально-дифференцирующий

ПЛК - программируемый логический контроллер

СИЗ - средства индивидуальной защиты

ТЭЦ - теплоэлектроцентраль

ЧПУ - числовое программное управление

AI - искусственный интеллект (ИИ; англ. *artificial intelligence, AI*)

AR - дополненная реальность (англ. *augmented reality*)

CAN - сеть контроллеров (англ. *Controller Area Network*)

CPS - киберфизические системы (англ. *Cyber-physical system*)

FBD - графический язык программирования (англ. *Function Block Diagram*)

IL - список инструкций (англ. *Intermediate language*)

IoT - интернет вещей (англ. *internet of things, IoT*)

LD - язык релейной логики (англ. *Ladder diagram*)

SFC - последовательные функциональные схемы (англ. *Sequential Function Chart*)

SI - международная система единиц, СИ (фр. *Système international d'unités, SI*)

ST - структурный текст (англ. *Structured Text*), язык программирования стандарта IEC61131-3

Wi-Fi - технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11 (англ. *Wireless Fidelity*)

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом промышленная автоматизация все сильнее распространяется в различных сферах производств, улучшая тем самым качество итоговой продукции и уменьшая риски для работников этих производств. Использование систем автоматизации дает оценку существующим на предприятии системам и позволяет предприятиям получить информацию о том, как можно сильнее оптимизировать свое производство. Все это, в конечном итоге, позволит предприятиям производить свой продукт с более высокой точностью, при этом снижая зависимость от участия в этом процессе большого количества людей. Это, в свою очередь, увеличивает безопасность производства для работников и уменьшает возможность каким-либо образом навредить производимой продукции, сводя влияние человеческого фактора на минимум.

В последнее время особенное внимание уделяется системам, использующим беспроводные технологии, что упрощает процесс монтажа и дает возможность перестраивать линии производств. А также системам, включающим в себя искусственный интеллект, что позволяет системе самой обучаться и совершенствоваться в процессе работы.

В этой работе автор исследует, как изменилась автоматизация за последнее время, какие новые решения используются в промышленности и насколько предприятия, которые работают на территории Эстонии, используют современные возможности новых систем автоматизации.

Автор решил исследовать данную тему основываясь на том, что автоматизация будь то маленького дома или крупного предприятия, очень актуальна. В производственных сферах различные автоматизированные процессы с каждым годом увеличивают свою важность, ведь они ускоряют работу, а также минимизируют человеческие риски. Исследование конкретно современных методов автоматизации на крупных производствах, а точнее производствах, находящихся в Эстонии, очень интересная тема, но она еще мало изучена и описана. Исходя из этого автор решил изучить эту сферу подробнее, что в дальнейшем позволит эстонским предприятиям оценить актуальность уже имеющихся у них систем, получить информацию о том, с помощью каких технологий сделать производственный процесс более эффективным, а студенты получить обзор новых технологий и сравнение их с уже имеющимися.

В ходе данной работы появится возможность получить ответ на вопрос: успевают ли эстонские предприятия адаптироваться к мировым трендами развития систем промышленной автоматизации?

Целью данной работы является предоставление обзора на основные современные технологии для автоматизации на производствах. Также целью данной работы является структурирование современных технологий в промышленной автоматизации, что в дальнейшем даст возможность использовать данную работу в процессе обучения.

Задачи данной работы:

- Изучить и проанализировать новые технологии в производственной автоматизации
- Выделить технологии, соответствующие современному производству
- Изучить системы автоматизации, используемые на производственных предприятиях Эстонии посредством опроса
- Провести интервью с эстонской фирмой-разработчиком систем автоматизации
- Дать оценку эстонским предприятиям на предмет использования современных технологий

В данной работе автор исследует современные технологии в автоматизации и объектом исследования являются несколько крупных предприятий Эстонии. В работе используются качественные методы исследования, которые включают в себя обзор литературы и опубликованных работ, а также наблюдение и сбор данных. Также к данному методу относится проведение интервью с сооснователем фирмы НООВ ОÜ. Вдобавок, в данной работе используется количественный метод исследования, который заключается в проведении опроса среди эстонских производственных предприятий.

В дополнение автор также составил таблицу, в которой собраны данные опроса и дает свою оценку насколько эстонские предприятия адаптированы под современные технологии.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Определение автоматизации

Промышленная автоматизация – это комплекс мер, включающих в себя внедрение машин, механизмов, математических моделей и программного обеспечения в производственные процессы. (Большаков, 2022)

Итогом такой работы является автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП). Чаще всего автоматизируют процессы, которые имеют свойство многократно повторяться.

К объектам, сильнее всего подходящим под автоматизацию, можно отнести:

- Различного рода энергетические объекты: ТЭЦ, ГЭС, ветрогенераторные парки и т.д.
- Конвейерные линии: от сборки маленьких продуктов до больших линий на заводах по сборке автомобилей
- ЧПУ станки: обработка различных материалов, 3D принтеры
- Здания: различные системы умного дома
- Промышленные роботы: устройства, созданные для выполнения одной или ряда постоянно повторяющихся задач

Одним из несомненных преимуществ автоматизации является повышение эффективности, когда за ту же единицу времени получается произвести больше продукции, что в свою очередь снижает затраты на энергетические ресурсы. Это особенно актуально в последние годы, когда доступность некоторых их видов снизилась, а цены выросли в разы. Производства вынуждены искать новые возможности для увеличения своей эффективности, путем снижения энергетических затрат.

В последнее время особенное внимание уделяется возобновляемым источникам энергии. Их использование помогает быть предприятиям более автономными, а итоговой продукции быть менее привязанной к цене на газ и электричество на мировых рынках. С каждым годом растет эффективность солнечных панелей и увеличивается число сфер, где их активно применяют. Вдобавок, к солнечным панелям, по всей Европе ведется активное строительство ветрогенераторных парков, которые также помогают экономить ресурсы энергозатратным предприятиям.

Часто такие парки строят в воде достаточно далеко от берега, а управлять этими парками также помогают системы автоматизации. Эти системы дают возможность в реальном времени, находясь на расстоянии от объекта управления, следить за всеми показателями и, при необходимости, вносить корректировки в работу данной системы без непосредственного нахождения на объекте. Все это способствует развитию промышленной автоматизации. Предприятия, у которых налажена современная автоматизированная линия производства, могут заметно сократить потребление энергии, что в свою очередь поможет снизить как итоговую стоимость производимой продукции, так и неблагоприятное влияние на окружающую среду.

Основные же параметры, которые удается оптимизировать с помощью автоматизации, можно объединить в следующие блоки:

- **Увеличивает продуктивность:** автоматизация заводов, промышленных производств или обрабатывающих предприятий увеличивает производительность путем улучшения контроля производства. Это помогает производству увеличить объём, выпускаемый за единицу времени, и улучшить качество изготавливаемой продукции. Как итог, предприятие при тех же затратах на производство может выпускать больше продукции лучшего качества.
- **Улучшает качество продукта:** из-за снижения участия в производстве человека, уменьшается и влияние человеческого фактора на производство. Автоматизация позволяет сохранять стабильность при выполнении постоянно повторяющихся задач, не снижая при этом уровень качества выпускаемой продукции благодаря постоянному мониторингу производственного процесса.
- **Обеспечивает оптимальную стоимость эксплуатации:** внедрение автоматизации в различного рода процессы сокращает время производственного цикла и необходимые для производства физические затраты, тем самым снижая необходимость в большом количестве работников, позволяя сократить затраты на персонал.
- **Увеличивает уровень безопасности:** внедрение в производство автоматизированного оборудования снижает опасность для персонала, особенно на опасных производствах. Роботизированные установки и промышленные роботы регулярно используются там, где есть серьезная опасность для человеческой жизни и здоровья.

- **Сокращает рутинные проверки:** с помощью промышленной автоматизации полностью устраняется необходимость вручную контролировать различные параметры производства. Использование систем с обратной связью позволяет в автоматическом режиме изменять различные переменные производственного процесса и регулировать задание в установленных значениях. (Бояркин, 2023)

1.1 Классические решения в промышленной автоматизации

1.1.1 Категории промышленной автоматизации

- Малое (начальное): используется на ранних этапах усовершенствования производства, когда автоматизируется отдельный участок, при этом ведется контроль эффективности с головного компьютера.
- Комплексное (частичное): следующий уровень развития автоматизации на производстве, когда единому серверу передается управление уже целой производственной линией, при этом роль человека сводится к контролю выполняемой машинами работы.
- Полное: в случае, когда у предприятия имеется отлаженный цикл производства продукции, можно переходить к полной передаче управления линией автоматике, что практически полностью убирает необходимость прямого участия человека в процессе. (Elektro-expo, 2023)

1.1.2 Контроллер

Контроллером в системах автоматизации называют устройство, которое управляет технологическим процессом, основываясь на заложенном в него алгоритме и на данных, получаемых с различных устройств ввода. (Unitronics, 2023)

1.1.3 Программируемый логический контроллер

Программируемый логический контроллер (ПЛК) – это устройство, получившее широкое распространение в системах автоматизации промышленных процессов за счет возможности цифрового программирования и адаптации его к нуждам определенного технологического процесса. (Wayand, 2020)

В настоящее время ПЛК стал незаменимой частью промышленного производства. ПЛК позволяет наладить автономный длительный процесс, без необходимости человеческих вмешательств и регулировок, даже в тяжелых погодных и географических условиях. (Wayand, 2020)

1.1.4 Применение ПЛК в промышленной автоматизации

Программируемые логические контроллеры играют важную роль в самых разнообразных технологических процессах: от управления роботами-манипуляторами на сборочной линии до регулирования систем безопасности ядерной электростанции. ПЛК служит отличным решением для управления различными системами, процессами и машинами на производстве. Различного рода производственные задачи решаются просто и экономно с помощью ПЛК, а список этих задач может включать в себя множество вариаций, таких как, например, последовательное управление, логическое управление, ПИД регулирование, обеспечение связи и координирование, мониторинг данных, обеспечение безопасности персонала и оборудования, пуск и остановку линии и т.д. (Школа для электрика, 2023)

1.1.5 Структура работы ПЛК

На схеме, изображенной на рисунке 1.1 можно видеть общую структуру работы ПЛК.

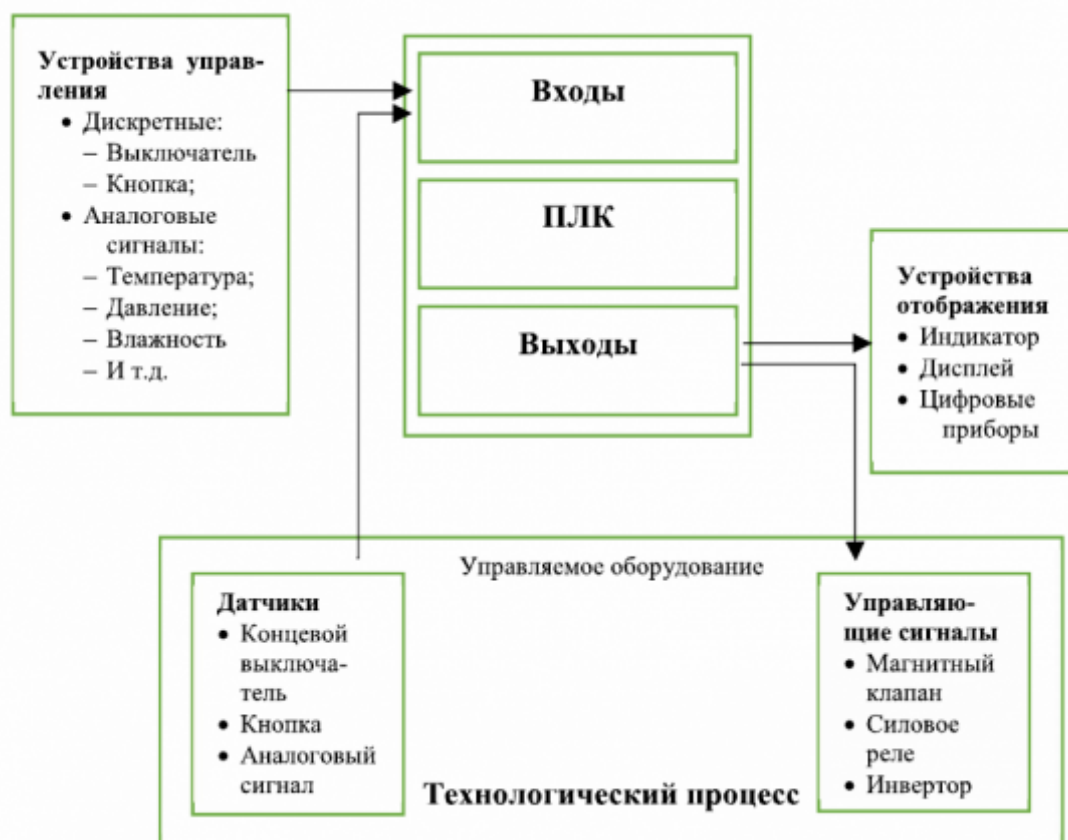


Рисунок 1.1 Структура работы программируемого логического контроллера (Школа для электрика, 2023)

1.1.6 Алгоритм работы ПЛК

В общем виде алгоритм работы ПЛК можно представить в следующей блок-схеме (Рисунок 1.2)

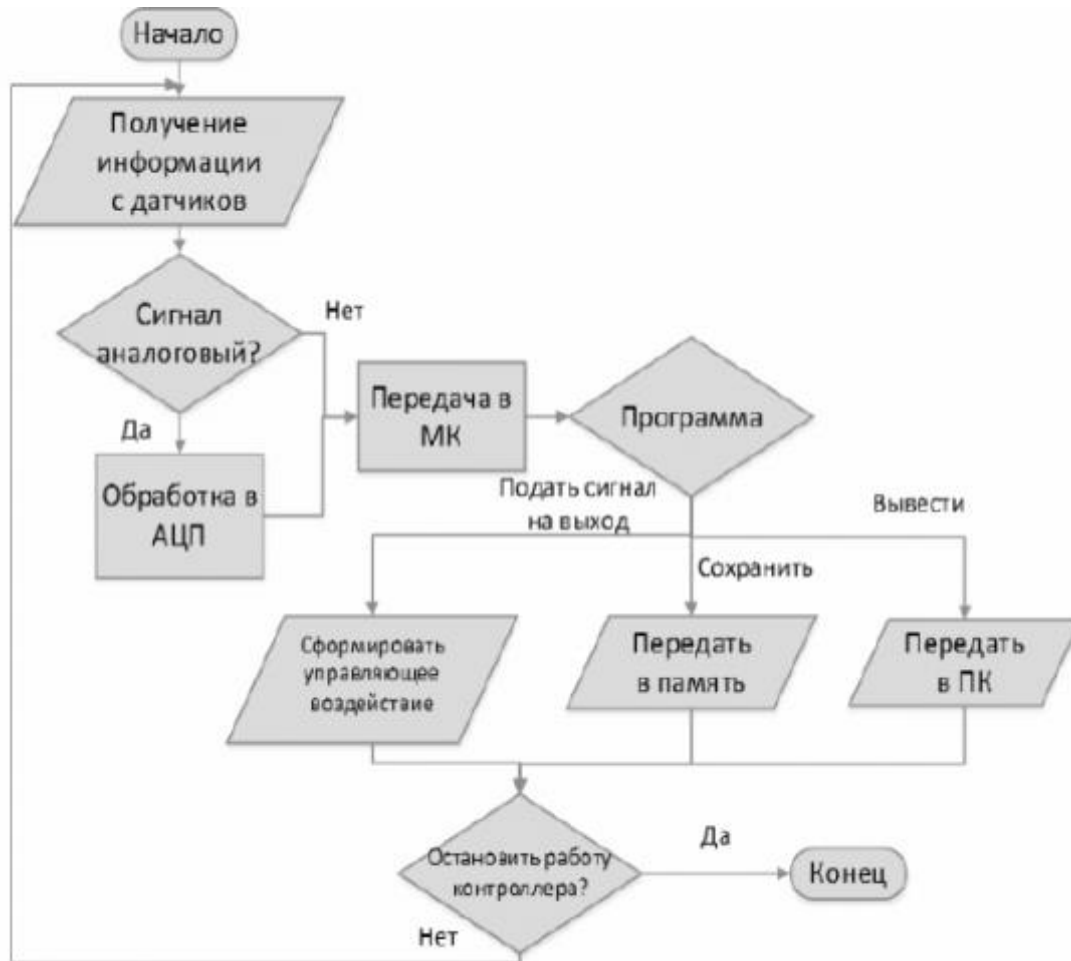


Рисунок 1.2 Алгоритм работы ПЛК (Школа для электрика, 2023)

1.1.7 Языки программирования ПЛК

Языки программирования ПЛК можно разделить на две основные категории:

- Графические языки программирования
 - *LD* – язык релейных схем
 - *FBD* – язык функциональных блоков
 - *SFC* – язык диаграмм состояний
- Текстовые языки программирования
 - *IL* – Ассемблер
 - *ST* – Паскале-подобный язык (Fernandes, 2020)

1.1.8 Способы коммуникации

Для организации промышленных сетей используются интерфейсы и протоколы передачи данных, самыми распространенными из которых являются:

- *CAN*
- *Modbus*
- *Industrial Ethernet*
- *ProfiBus*
- *RS-232*
- *RS-485*

(Фатыхов, 2023)

1.2 Концепция Индустрии 4.0

1.2.1 Обзор Индустрии 4.0

Новый этап промышленной революции, который был назван Индустрия 4.0, в большей степени акцентирует внимание на объединении систем, машинном обучении, автоматизации и получении данных в реальном времени. Промышленные производства и руководители цепочек поставок получают выгоду от Индустрии 4.0 также известную как Интернет вещей (*IoT*) или интеллектуальное производство, включающее в себя физическое производство и операции с интеллектуальными цифровыми технологиями, машинным обучением и большим потоком данных для создания более целостной экосистемы. Каждое промышленное предприятие сталкивается с уникальным набором задач и проблем, но всех их объединяет необходимость в доступе к информации производства в режиме реального времени, в доступности партнеров и сервисов, а также людей, которые связаны с этим производством. (Hayat, Shahare, Sharma, & Arora, 2023)

1.2.2 Первая промышленная революция

Первой промышленной революцией принято считать время с конца 1700-х годов и начала 1800-х годов. В то время начался переход от использования ручного труда, выполняемого людьми и при помощи животных, к использованию станков с водяными и паровыми двигателями. (Chakraborty & Mandal, 2022)

1.2.3 Вторая промышленная революция

В начале XX века развитию промышленности способствовало появление стали и начало широкого использования электричества, подтолкнув мир ко второй промышленной революции. Все это позволило сильно увеличить производительность предприятий, путем организации сборочных линий и увеличить степень их мобильности. (Chakraborty & Mandal, 2022)

1.2.4 Третья промышленная революция

В конце 1950-х годов, когда увеличилась степень применения электронных компонентов, а затем и компьютеров, начался переход к третьей промышленной революции. В это время многие предприятия сменили фокус своего развития с аналоговых и механических технологий на цифровые. (Chakraborty & Mandal, 2022)

1.2.5 Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0)

Новый виток развития *IoT* и киберфизических систем (*CPS*) привел мир к переходу в Индустрию 4.0 – новый уровень развития цифровых технологий, над которыми работали последние пару десятилетий. Он объединяет настоящий и цифровой мир, объединяя все цепочки промышленного производства, давая возможность лучше понимать и контролировать каждый этап, получая данные в реальном времени, повышая эффективность, упрощая процесс и ускоряя рост предприятия. Началось активное применение современных технологий, таких как искусственный интеллект (*AI*), дополненная реальность (*AR*), трехмерная печать. (Schwab, 2023)

Все 4 этапа развития промышленных революций представлены на рисунке 1.3.

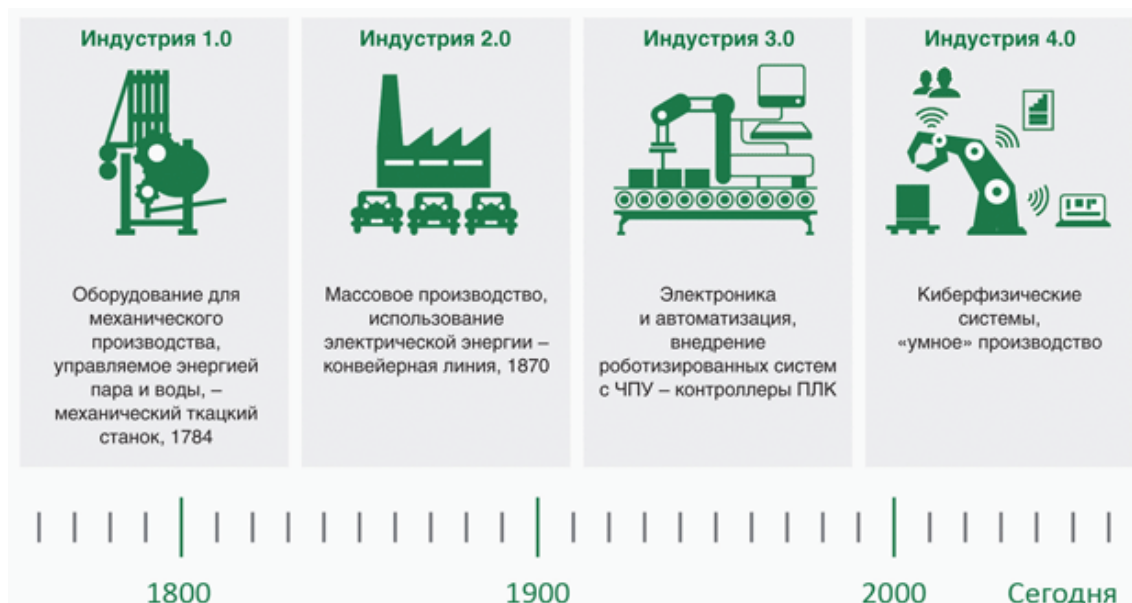


Рисунок 1.3 Этапы развития промышленной революции (ЗАО Технолинк, 2018)

1.3 Современные технологии в автоматизации

Основной тенденцией автоматизации в настоящее время является Индустрия 4.0, которая путем оцифровки третьей промышленной революции помогает сблизить интеллектуальные и автономные системы с машинным обучением и сбором данных, чтобы создать новую эру развития промышленной автоматизации.

Мировой размер промышленной автоматизации показывает, что востребованность в новых системах к 2025 году только усилится. По данным *Statista* ожидается, что стоимость рынка автоматизации к 2025 году приблизится к 265 миллиардам долларов США, что на 90 миллиардов больше, чем в 2020 году. (Placek, 2023)

1.3.1 Промышленный IoT

Промышленный *IoT* помогает предприятиям упрощать свое производственное программное обеспечение, давая возможность улучшать его на протяжении жизненного цикла предприятия, увеличивая совместимость и гибкость всей системы. *IoT* помогает предприятиям искать затратные участки производства, увеличивать качество выпускаемой продукции и предотвращать отказы элементов системы автоматизации. (Nagaty, 2023)

Далее предоставлен обзор возможностей использования Интернета вещей в различных сферах.

IoT в сельском хозяйстве

Для сбора данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды в Интернете вещей для сельского хозяйства используют датчики с возможностью удаленного подключения. С их помощью фермеры собирают данные, на основе которых можно отслеживать состояние растений, планировать степень и частоту полива, вовремя обнаруживать заболевания у растений. Таким образом получается максимально сократить использование пестицидов, а также лучше планировать и отслеживать производительность, экономить ресурсы и уменьшать временные и денежные затраты.

Также потенциал к применению в сельском хозяйстве имеют дроны, которые помимо мониторинга качества воздуха, почвы и уровня влажности могут использоваться для выполнения автоматического добавления удобрений. Такой подход поможет предотвратить появление различных заболеваний у растений. Более широкое распространение дронов поможет уменьшить стоимость их внедрения и сократить нужду в применении человеческого труда в полях. (Rawar & Deosarkar, 2023)

IoT и средства индивидуальной защиты

Безопасность – это совокупность защитных мер, принимаемых для определения рисков, их оценки и предотвращения несчастных случаев на производстве. Благодаря устройствам *IoT* удастся собирать данные, необходимые для оценки опасностей для здоровья персонала на его рабочем месте, а также выявлять риски.

В рабочую одежду персонала, работа которого связана с нахождением в зонах повышенной опасности, устанавливаются различного рода устройства слежения, мониторы и датчики, которые получили название интеллектуальные средства индивидуальной защиты. СИЗ увеличивают безопасность работников и в длительной перспективе сокращают расход средств благодаря раннему предотвращению проблем угроз для здоровья, предугадывая опасные ситуации и вредное воздействие опасных рабочих зон. Собранные датчиками данные анализируются и в дальнейшем помогают получить представление о любых повреждениях, которые мог получить работник. Такие датчики интегрируются в ткань, чтобы их нельзя было удалить при стирке или в маски, в которых находится персонал. (Huysalo, Dasanayake, Hannu, & Sauvola, 2022)

С помощью средств индивидуальной защиты можно в реальном времени отслеживать состояние здоровья работника, его температуру тела, чтобы он не

перегрелся или не переохладился, а также контролировать качество и токсичность воздуха для обеспечения безопасности персонала.

IoT в масло- и газодобывающей промышленности

На газо- и нефтепроводах необходимо круглосуточно обеспечивать оптимальную работу системы для непрерывного потока. Инженеры и операторы постоянно работают над улучшением оптимизации работы трубопровода. Со временем состояние трубопровода ухудшается из-за различного воздействия окружающей среды и других повреждений. Постоянный контроль трубопровода увеличивает затраты на его обслуживание. Для снижения этих затрат используются различного рода счетчики, датчики и диагностическое оборудование. *IoT* помогает сделать трубопровод более интеллектуальным, в реальном времени собирая данные о расходе, давлении, состоянии агрегатов, а также сообщать об изменениях, воздействиях на трубопровод, коррозии и утечках. Благодаря современным технологиям удастся предугадывать необходимые ремонтные работы. (Evomatics, 2023)

IoT и умные города

Благодаря Интернету вещей получается, в значительной степени, снизить расходы на эксплуатацию различных коммунальных услуг и содержание систем управления дорожным движением, уменьшить загрязнения, улучшить чистоту города и обеспечить большую безопасность людей, а также увеличить скорость реагирования на различные потребности людей. С помощью сетей четвертого и пятого поколения, а также сетей *Wi-Fi* удастся передавать собранные данные для их хранения на облачные серверы откуда их без труда можно в любой момент получить для дальнейшего анализа. Умные дома, умные больницы, умные школы, интеллектуальное управление сточными водами, умный транспорт и многое другое, все это помогает добиться устранения различного рода рисков, предотвращению повреждений и снижению затрат. (Syed, Sierra-Sosa, Kumar, & Elmaghraby, 2021)

В последнее время также активно расширяются зоны мониторинга состояния окружающей среды, которые помогают улучшить качество жизни в городах. Такие системы занимаются мониторингом качества воды, воздуха, следят за погодой, количеством отходов, помогают наблюдать за исчезающими видами животных и многое другое.

IoT и здания

Для создания для жителей здания безопасной, комфортной, удобной и эффективной среды проводят дигитализацию зданий. Датчики умного дома устанавливаются для обслуживания, мониторинга и контроля здания, чтобы следить за освещением, влажностью, вентиляцией, определять занятость, контролировать интеллектуальные лифты, безопасность, отслеживать содержание CO₂ для определения зон с плохой вентиляцией в здании и многое другое. Здания находятся под круглосуточным контролем, что позволяет регистрировать различные неординарные события, нарушения правил безопасности или пожары для обеспечения должного ухода за зданием и увеличения срока его службы. (Rashid, Alkababji, & Khidhir, б.д.)

IoT и водоснабжение

Отслеживать качество воды, сохранять ее запасы и давать городам возможность эффективно функционировать помогают системы *IoT* для водоснабжения. С помощью таких интеллектуальных систем удается в режиме реального времени контролировать количество и качество воды и управлять работой пополняющего насоса, чтобы не допустить переполнения резервуара. Имеется возможность отслеживать поток воды в здании и контролировать давление воды, чтобы равномерно распределять воду между потребителями и в кратчайшие сроки обнаружить возникшую утечку как в трубопроводе, так и в оборудовании для подачи воды. Такой контроль помогает поддерживать оптимальное давление воды и не допускать ее потерю в случае протечки. (Natividad & Palaoag, 2019)

Контролировать удается и качество самой воды, измеряя химические и физические ее свойства, такие как температура, кислотность и мутность с помощью интеллектуальных датчиков *IoT*. (Daigavane & Gaikwad, 2017)

Для обслуживаемых структур такой подход позволяет вовремя получать информацию о водных ресурсах и контролировать правильность работы оборудования, чтобы при необходимости оперативно вносить корректировки в работу системы или производить обслуживание оборудования.

IoT и производство

Для предоставления инженерам-технологам и операторам информации о протекании рабочего процесса на производстве и возможности в режиме реального времени контролировать оборудование и все этапы сборки, применяется технология *IoT*, с помощью которой удается объединить все машины, инструменты и датчики на предприятии. Данные, дающие детальное

представление о производственном процессе, применяются менеджерами для более обоснованных и разумных решений, которые обеспечивают более высокую надежность, соответствие стандартам и возможность лучшей производственной оптимизации. Основной причиной плохого качества производства, которое ведет к снижению прибыли и удовлетворенности клиентов, а также подрыву репутации компании являются отказы оборудования. У производителя появляется возможность в реальном времени получать данные от пользователей продукции, что позволяет при необходимости сразу же вносить корректировки в производственный процесс, тем самым улучшать качество товара и удовлетворенность клиентов. Также удастся эффективнее наладить энергоснабжение, поскольку системы *IoT* позволяют отслеживать места потерь, предсказать возможные отказы и выявить проблемы с соблюдением качества, что позволяет повысить уровень эффективности, ведь ремонт бракованных из-за отказа оборудования изделий ведет к увеличению себестоимости. Рост качества продукции снижает затраты на их производство и количество производственных отходов, улучшая состояние окружающей среды и увеличивая количество удовлетворенных клиентов. Появляется возможность точно определять время необходимого обслуживания машин, не основываясь на предположениях, что в свою очередь уменьшает количество неожиданно возникших проблем во время производства. (Nagaty, 2023)

Исследование *J`son & Partners Consulting* показало, что применение датчиков контроля работы оборудования с выходом в сеть позволяет производителю оборудования удаленно контролировать его работу, своевременно проводить регламентные работы, предсказывать аварии и проводить планово-предупредительный ремонт или заранее подготовить необходимые детали на замену и т.п. Таким образом, мы говорим о том, что Интернет вещей является эффективным инструментом управления жизненным циклом продукции. Знание о фактической и планируемой загрузке производственного оборудования, соединенного с сетью, позволяет организовать автоматическую сеть заказов между различными производствами в длинной цепочке от поставщиков материалов до потребителей конечной продукции. Это достигается путем подключения всех производственных площадок к единой программной платформе. (Industrial Internet of Things - IIoT, 2023)

***IoT* и транспорт**

Использование транспорта на базе Интернета вещей позволяет за счет встроенных датчиков, исполнительных механизмов и других устройств *IoT* улучшить транспортные операции в обычном их понимании. Для отслеживания

данных о местоположении, расходе топлива, времени простоя, давлении в шинах, которые снижают оказываемое влияние на окружающую среду, улучшают эффективность транспортного средства и обеспечивают необходимые для комфортной работы водителя условия, на транспортное средство устанавливаются телематические устройства. Они следят за стилем вождения водителя, оповещают о резком ускорении, дают информацию о скорости торможения и пройденном расстоянии, дают менеджерам понимание, находится ли транспортное средство на заданном маршруте. Лучше планировать поездки, контролировать погрузку и дорожный трафик, повышать безопасность и быстро реагировать на дорожно-транспортные происшествия, тем самым увеличивая безопасность, а в случае кражи отслеживать местонахождение транспортного средства помогают системы на основе Интернета вещей. (Nagaty, 2023)

В общественном транспорте широко распространена автоматизированная продажа билетов и оплаты проезда, что помогает операторам общественного транспорта отслеживать маршруты движения, время ожидания и корректировать расписание, мониторить общую производительность парка и собирает данные для будущего анализа.

IoT и склады

Компании внедряют технологии Интернета вещей для создания наилучшей планировки и конфигурации склада, что в свою очередь помогает оптимально использовать пространство для хранения, поддерживать непрерывный рабочий процесс с максимальной эффективностью и улучшить транспортировку товара через склад. Появляется возможность отслеживания товара от момента заказа до момента получения конечным потребителем. С помощью собранных данных, можно рассчитывать время, необходимую инфраструктуру и бюджет для расширения складского пространства. Такой склад способен прогнозировать рабочую нагрузку на основе сезонного спроса и собирать информацию о запасах на складе, информируя тем самым о возможном дефиците, неподходящей температуре, изменению местоположения товара, краже и другом. Часть работы на таком складе можно передать роботам, которые, используя датчики и камеры, могут помочь собирать и упаковывать товар, помогая ускорить процесс сборки заказа без необходимости отдыха и исключая человеческий фактор. (Nagaty, 2023)

1.3.2 Искусственный интеллект в автоматизации

Appinventiv утверждает, что одним из важных компонентов *IoT* является ИИ, который позволит использовать более современную аналитику и облачные

вычисления для обработки собранных на предприятии данных. Все это позволит значительно увеличить точность и даст возможность делать операционные прогнозы в 20 раз быстрее, чем с более ранними технологиями. (Srivastava, 2023)

Новые достижения в цифровизации, в сочетании с современными стандартами автоматизации открытых процессов, дают возможность промышленным производителям переводить производства от автоматизированных процессов к полностью автономным. Благодаря новым технологиям в сфере искусственного интеллекта и промышленному *IoT* у производителей появляется возможность создавать полностью автономные предприятия, которые способны принимать операционные и производственные решения самостоятельно, а люди в этом процессе остаются лишь в качестве наблюдателей. (Paudel, 2022)

1.3.3 Промышленные роботы-манипуляторы

Развитию автоматизации также способствует тот факт, что с каждым годом цены на роботов снижаются. Из-за растущего спроса и увеличивающейся доступности, промышленные роботы-манипуляторы получили широкое распространение в промышленности. Все большее количество предприятий получают возможность купить недорогого робота-манипулятора, в обязанности которого может входить различного рода задачи, от погрузчика продукции до точного сварочного робота. (Budleigh, 2022)

Существуют различные конструктивные решения роботов, которые применяются в различных современных производствах. Рассмотрим более детально классификацию манипуляторов.

По универсальности промышленные роботы-манипуляторы можно разделить на три типа:

- **Универсальные** - с возможностью перепрограммирования и изменения рабочего органа. Работают в различных отраслях с различным оборудованием
- **Специализированные** - предназначены для выполнения операций одного вида. Широко применяются в сварочных и покрасочных предприятиях
- **Специальные** - работают по жесткой программе, узко специализированные. Имеют малую степень подвижности и выполняют простую монотонную работу, чем превосходят человека (Шинкарёв, 2017)

По конструкции:

- по типу привода
- грузоподъемности
- подвижности
- по системе координат

По скорости:

- медленные до 0.5 м/с
- средние до 1 м/с
- быстрые свыше 1 м/с

По способу управления:

- программное управление
- адаптивное управление
- интеллектуальное управление

(Шинкарёв, 2017)

1.3.4 Совместные роботы

Одной из разновидностей промышленных роботов являются совместные роботы (также известные как «коботы»). Совместные роботы обеспечивают возможность прямого взаимодействия робота и человека в общем рабочем пространстве. (Buddleigh, 2022) Они являются достаточно новыми устройствами для предприятий, но уже сейчас они облегчают предприятиям переход производства на новый уровень автоматизации. В обрабатывающей промышленности они используются для подбора и размещения, в медицине для хирургических операций, в пищевой промышленности, а также в автомобильной промышленности, производстве электроники, в сельском хозяйстве и металлургии. Главным преимуществом таких роботов является то, что они не лишают производство рабочих мест, а лишь увеличивает точность и производительность выполняемых задач, повышая безопасность и оставляя человека в качестве оператора. (Sorell, 2022)

Сварка — одна из областей, в которой коботы используются чаще всего из-за необходимой точности, а также потому, что сварка может быть опасной операцией и любая помощь человеку приветствуется. Особенно часто они используются в автомобильной промышленности, потому что сварка является неотъемлемым технологическим процессом в данной области. Также коботы могут

использоваться при визуальном контроле продукции и проверке ее качества, поскольку они не подвержены утомлению и используют больше количественных параметров, чем люди, а данный процесс утомительный и требующий высокой точности. (Marrone, 2022)

1.3.5 Промышленные 3D принтеры в автоматизации

В последнее десятилетие огромное значение в развитии промышленной автоматизации оказывают 3D принтеры. Главным образом развитие 3D печати повлияло на снижение производственных затрат на автоматизацию. Такие принтеры дают возможность проектировать новые элементы производственных линий. Поскольку в последнее время автоматизация развивается очень быстро, иметь возможность прямо на предприятии строить прототипы новых элементов производственных линий и исследовать влияние этих нововведений на весь промышленный процесс до внедрения в основную линию, очень ценится среди предприятий. Такой подход значительно снижает временные затраты и уменьшает возможность возникновения неполадок после внедрения новых элементов автоматизации, а в случае выхода каких-то деталей из строя есть возможность самостоятельно изготовить им замену не тратя время на поиск, заказ и доставку, минимизируя простои производства. (Buddleigh, 2022)

Основные виды 3D печати:

- **Прототипирование методом наплавления** – доступный метод моделирования, который заключается в послойном наложении горячей нити из плавкого рабочего продукта (воска, металла, пластика). Чаще всего используется для быстрого прототипирования различных моделей.
- **Селективное лазерное спекание** – один из известных методов прототипирования. Изделие образуется из порошкового продукта (керамики, металлопластика) методом плавления под воздействием лазера. Преимущество заключается в том, что не нужно использовать специальную структуру для поддержания подвисяющих в пространстве элементов.
- **Лазерная стереолитография** – известнейший метод моделирования с использованием специального жидкого полимера, который затвердевает под воздействием ртутного излучения. К достоинствам можно отнести высокое разрешение печати, наименьшее количество отходов и легкость финишной обработки изделия.
- **Электронно-лучевая плавка** – прогрессивный метод адаптивного производства при помощи специальных электронных пучков. Широко

используется при производстве различных титановых изделий. В отличие от моделей, произведенных путем селективного лазерного спекания, заготовки отличаются монолитностью и высокой прочностью.

- **Производство моделей с использованием ламинирования** – прогрессивный способ формирования различных моделей при помощи послойного склеивания. Полученные объекты могут быть модернизированы путем механической обработки. Достоинством данной технологии является доступность главного расходного материала — бумаги.
- **Многоструйное моделирование** – популярный вид печати на основе многоструйного моделирования фотополимерного продукта. Его используют в различных отраслях промышленности. К преимуществам можно отнести возможность многоцветной печати и взаимодействие материалов различных свойств и характеристик.

(Anrotech, 2023)

1.3.6 Сети пятого поколения (5G)

Инфраструктура сетей пятого поколения дает возможность цифровой трансформации лечь в основу Индустрии 4.0. Процессы с низкими энергозатратами, совместная роботизация, интегрированные производства, автоматизированная логистика, все это изменит привычные промышленные производства в ближайшее десятилетие. Как пример применения такой инфраструктуры, можно рассмотреть промышленную сеть, рассредоточенную по разным географическим направлениям, с гибкими производственными мощностями и возможностью распределять ресурсы между производствами в зависимости от объемов заказанной продукции. Такие производства очень требовательны к возможности быстро и надежно доставлять необходимую информацию и данные на дальние расстояния. Но с появлением 5G у предприятий появится доступ к почти мгновенному подключению, надежному качеству обслуживания клиентов и разумным затратам на использование данных технологий. Определяющими характеристиками сетей пятого поколения можно назвать низкую задержку, высокую отказоустойчивость и пропускную способность, а также широкое покрытие. С их помощью можно построить гибкую производственную структуру, которая будет выделяться своей эффективностью в использовании ресурсов, а также иметь возможность вносить изменение и достаиваться непосредственно в ходе использования по мере необходимости. (Mallampati, Kawale, Raja, & Huluka, 2022)

Ericsson совместно с *T-Mobile* запустил новый пакет, объединяющий аппаратное и программное обеспечение *Ericsson Private 5G*. В результате государственные и корпоративные клиенты *T-Mobile* получили набор передовых сетевых решений *5G*, который обеспечивает им скорость, надежность и безопасность, необходимые им для работы с различными сценариями на базе *5G*, включая виртуальную реальность (*VR*) и дополненную реальность (*AR*) для обучения и выездного обслуживания. (*Ericsson*, 2022)

1.3.7 Сравнение сетей передачи данных

В этой части работы автор проводит сравнительный анализ технических характеристик сетей трех последних поколений по нескольким критериям:

- **Скорость передачи данных**

Максимальная скорость передачи данных *5G* составляет порядка 10 Гбит/с в то время, как максимальная скорость *4G* находится в пределах 1 Гбит/с, а скорость *3G* и вовсе около 2 Мбит/с. Такая скорость передачи данных позволяет пользователям получать информацию в 10 раз быстрее, чем при использовании *4G*, что открывает новые возможности для использования технологий виртуальной и дополненной реальности. (*Looper & Jansen*, 2022)

- **Задержка**

Задержка – это время, затраченное на передачу данных от отправителя к получателю. Ее значения для сетей пятого поколения находятся в пределах 1 миллисекунды. (*Yong*, 2021) А задержка четвертого поколения 100 мс, что ставит их на второе место. Третье поколение обладает самой большой задержкой, которая достигает 200 мс, что в 200 раз больше, чем у сетей пятого поколения. Меньшая задержка *5G* позволяет получить значительно лучший отклик на команды и дает возможность управлять объектами в режиме реального времени. (*Cablefree*, 2023)

- **Ёмкость сети**

Самой большой емкостью обладают сети пятого поколения, количество устройств, которые они способны обрабатывать доходит до 1 000 000 на квадратный километр, что на порядок выше, чем сети четвертого поколения. (*МТС медиа*, 2020)

- **Диапазон частот**

Частоты для пятого поколения используются более высокие, а их диапазон от 30 ГГц до 300 ГГц, сети четвертого поколения используют частоты ниже 6 ГГц (*Fisher*,

2023) , а сети третьего поколения чаще пользуются частотами 900 МГц и 2,1 МГц. (Сатопторг, 2023)

1.4 Промежуточный итог

В данной работе автор поставил себе цель определить, какие решения промышленной автоматизации являются современными. Собрав большое количество информации и проанализировав ее, удалось обозначить конкретные технологии, которые в данный момент используются в автоматизации и описать их основные особенности. Так же целью данной работы было оценить, насколько активно эстонские предприятия внедряют новые технологии в свое производство и как это влияет на конечный продукт. Для этого автор выбрал количественный метод исследования. Автор решил связаться с различными крупными эстонскими предприятиями и провести опрос, а данные, полученные в ходе его проведения, занести в таблицу для дальнейшего анализа, результаты которого будут описаны в методической части данной работы.

На основе наблюдений и анализа текстовых данных, автор выявил приведенные в таблице 1.1 современные системы автоматизации. После проведения опроса среди эстонских предприятий у автора появится возможность дать свою оценку тому, насколько активно эстонские предприятия внедряют современные системы автоматизации на своих производствах.

Таблица 1.1 Образец таблицы использования современных технологий на предприятиях (Источник: составлено автором)

Системы автоматизации / Название фирмы	IoT	AI	Роботы-манипуляторы	Совместные роботы	3D принтеры	5G	Удаленный доступ

2 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленных задач в методической части данной работы автор анализирует собранную информацию от крупных эстонских предприятий, а результаты анализа заносит в ранее составленную таблицу, чтобы дать свою оценку активности внедрения новых технологий в производственные процессы. В данном исследовании используются количественные и качественные методы исследования, такие как проведение опроса и интервью.

Автор создал опрос в среде *Google Forms*. Опрос состоял из 12-ти вопросов, в котором участвовало 11 крупных эстонских предприятий из таких секторов, как например энергетика, теплоснабжение и производственная промышленность. Задавались вопросы с несколькими вариантами ответов, с возможностью добавить свой ответ, а также с оценочной шкалой. В ходе данного опроса выяснилось, какие сектора промышленности более активно используют новые технологии и как они оценивают степень автоматизации своего производства.

Также еще одним этапом методической части исследования было проведение интервью с сооснователем НООВ ОÜ, который руководит индивидуальными проектами автоматизации. Целью проведения интервью было составить более полную картину того, что сейчас актуально на рынке эстонской автоматизации и какие системы активно внедряются на эстонских предприятиях. Интервью проводилось 12.05.2023 через видеоконференцию в *Microsoft Teams*. Интервью длилось 30 минут и всего было задано 15 вопросов.

2.1 Опрос

Для достижения поставленных задач автор решил использовать количественный метод исследования, который состоит в проведении опроса среди эстонских производственных предприятий. Опрос был разослан автором в более чем 50 предприятий. К сожалению, получить ответ удалось только от 11 предприятий. Так как некоторые предприятия не используют никаких особенных современных технологий в области автоматизации им не удалось дать ответ на заданные вопросы, еще некоторые предприятия не хотят разглашать корпоративную информацию, а также некоторые письма просто остались без ответа. Вопросы были составлены исходя из описанных в первой части данной работы технологий для того, чтобы узнать актуально ли их использование на эстонских предприятиях.

В ходе данного опроса принимали участие крупные промышленные предприятия Эстонии из таких секторов как производство, энергоснабжение, промышленность.

Самыми крупными предприятиями можно назвать Enefit Green AS, Utilitas Tallinn AS, Utilitas AS, Gren Viru AS, ABB AS, Prysmian Group Baltics AS, а также компании, которые пожелали остаться анонимными.

Опрос состоял из 12 вопросов. В ряде вопросов респондентам необходимо было выбрать из назначенных вариантов, в некоторых была возможность написать свой вариант. Также был вопрос, где респондент мог оценить степень автоматизации своего предприятия с помощью шкалы.

В начале опроса автор попросил оценить, актуальна ли для предприятия-респондента промышленная автоматизация на их производстве. Все предприятия дали положительный ответ и согласились, что автоматизация делает их производство более эффективным. Такой результат свидетельствует о том, что очень много предприятий занимаются автоматизацией своего производства или по меньшей мере планируют внедрение в ближайшем будущем.

Отвечая на вопрос о сроках последней модернизации систем на предприятии 10 из 11 респондентов отметили, что она производилась не более двух лет назад (Рисунок 2.1), а некоторые отметили, что построение системы автоматизации на их предприятии процесс непрерывный и в механизмы постоянно вносятся какие-либо улучшения для повышения производительности. Все это говорит о том, что предприятия стараются регулярно использовать самые актуальные решения в промышленной автоматизации.

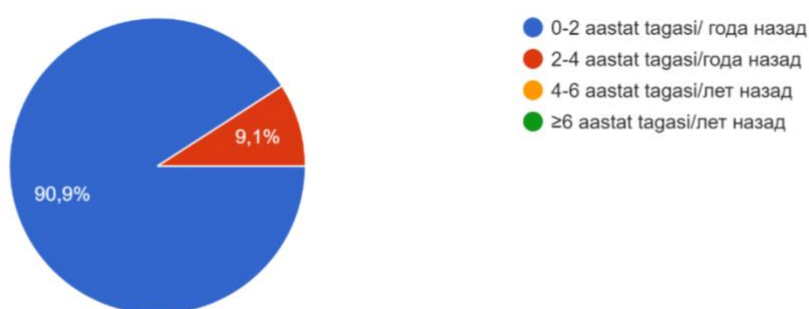


Рисунок 2.1 Период последнего обновления систем автоматизации (Источник: составлено автором)

На вопрос об использовании в своих системах решения на базе промышленного *IoT* лишь два предприятия (Рисунок 2.2) из сферы энерго- и теплоснабжения отметили, что активно используют его в своей повседневной работе, остальные дали отрицательный ответ. Такой результат, по мнению автора, может быть связан со спецификой областей работы большинства ответивших предприятий, так как не все новые решения подходят для конкретных областей. Среди

использующих данную технологию предприятий находятся предприятия, области работы которых связаны с поставкой услуг водо- и теплоснабжения.



Рисунок 2.2 Использование IoT (Источник: составлено автором)

Предприятий, использующих в своих повседневных задачах системы на базе искусственного интеллекта, не оказалось. Все опрошенные единогласно ответили, что не используют AI и в ближайшее время не планируют тестировать возможности его применения. Вероятно, эта технология слишком нова и еще не стала настолько доступной, чтобы предприятия начали рассматривать ее в качестве новой инвестиции в производство.

Роботы-манипуляторы в своей повседневной работе используют чуть больше 27% опрошенных, то есть 3 предприятия (Рисунок 2.3). Два из которых занимаются производством электроматериалов и одно предприятие занимается производством фильтрующих систем. По мнению автора, такие результаты отчасти свидетельствуют и о том, что робот-манипулятор может быть заменен более простым механизмом и многие предприятия при расчете своих инвестиций это понимают, отдавая предпочтения другим решениям.

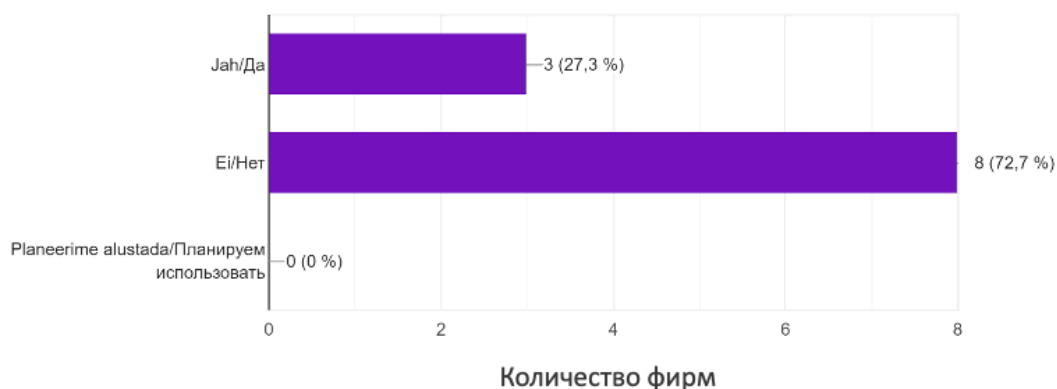


Рисунок 2.3 Использование роботов-манипуляторов (Источник: составлено автором)

Предприятий, использующих совместных роботов, призванных забрать часть выполняемых работником задач на себя для упрощения их повседневных

обязанностей, в отличие от роботов-манипуляторов, оказалось в использовании только у одного производителя фильтрующих систем. (Рисунок 2.4).

Возможно, предприятия, участвовавшие в опросе, занимаются производством, в процессе которого просто не появляется необходимость в совместных роботов.

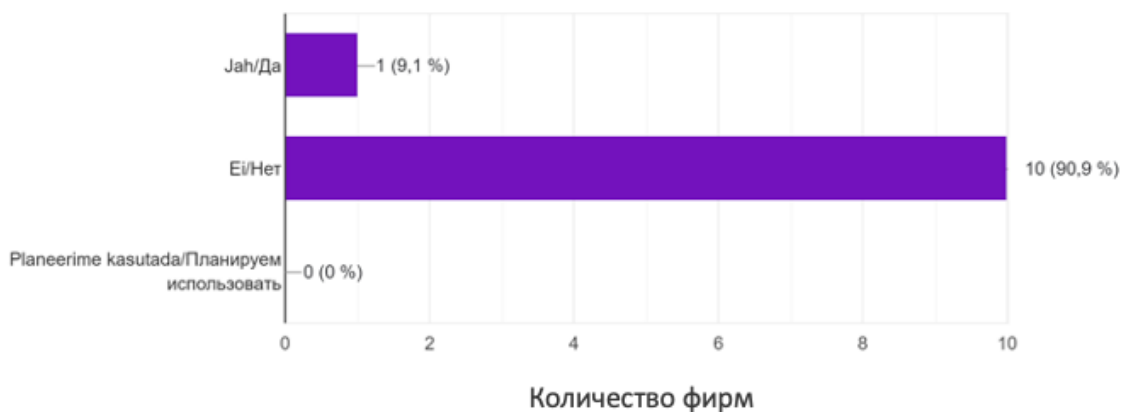


Рисунок 2.4 Использование совместных роботов (Источник: составлено автором)

Использование 3D принтера также не является распространенным опытом среди опрошенных предприятий (Рисунок 2.5). Как и в случае с совместными роботами лишь один респондент, производящий фильтрующие системы, дал положительный ответ. Автор считает, что такой результат наблюдается потому, что сами предприятия редко самостоятельно разрабатывают для себя решения в области промышленной автоматизации. Проектированием конкретных установок для предприятий чаще занимаются профильные компании, которые на постоянной основе производят различного рода системы под нужды конкретного заказчика. Такого же мнения был и сооснователь компании НООВ ОÜ, с руководителем которой автору удалось побеседовать в процессе выполнения данной работы и результаты беседы с которым, можно наблюдать в ее следующей части.

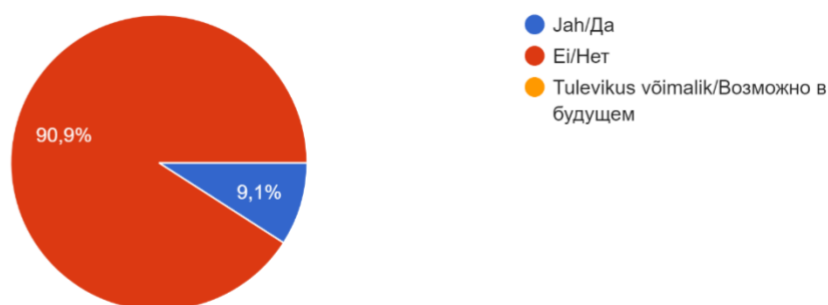


Рисунок 2.5 Использование 3D принтеров (Источник: составлено автором)

Использование сетей 5G в своей работе отметили чуть больше 18% опрошенных (Рисунок 2.6). Внедрить системы 5G в ближайшем будущем планируют Utilitas Eesti AS и ABB AS. Также 5G уже используется на предприятии Utilitas Tallinn AS, а Joon OÜ планирует начать использование в течение ближайших трех лет.

Такой подход отчасти свидетельствует и о том, что больше компаний развивают у себя возможность удаленного контроля и управления процессом в реальном времени.

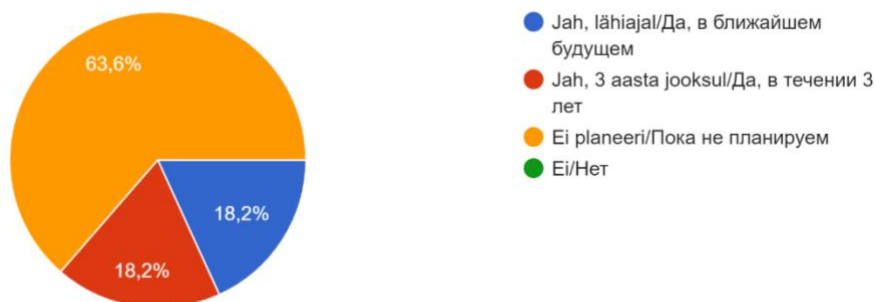


Рисунок 2.6 Использование сетей 5G (Источник: составлено автором)

Самой распространенной промышленной сетью среди опрошенных предприятий оказался *Ethernet*, который используют порядка 47% опрошенных (Рисунок 2.7). Сеть *Ethernet* используется на предприятиях энергоснабжения, производстве электроматериалов, печати и фильтрующих систем. На втором месте находится *ProfiBUS*, его используют 27% опрошенных. Далее идет *ModBUS*, на который приходится 13,3%. За ними следуют *5G* и *Profinet*, использование которых отметили по 6,7% опрошенных. Можно предположить, что *Ethernet* получил такое распространение в связи с большей доступностью и легкостью в интеграции.

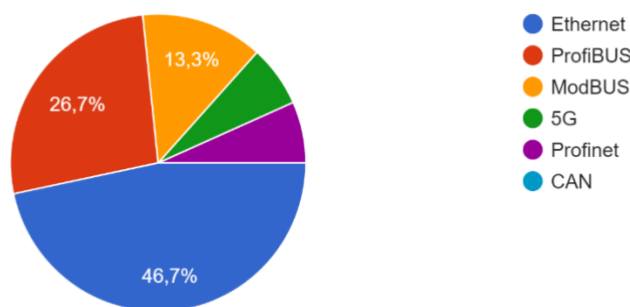


Рисунок 2.7 Используемые промышленные сети (Источник: составлено автором)

Удаленное управление предприятием в полном объеме отметили 45,5% опрошенных, а частичное управление в дистанционном режиме отметили 27,3%. Удаленное управление производственным процессом в полном объеме возможно в Utilitas Tallinn AS, Utilitas Eesti AS, Joon OÜ, а также на одном предприятии в сфере

теплоснабжения и на одном из производств электроматериалов. Частично удаленное управление возможно на предприятиях Enefit Green AS, Gren Viru AS и Prysmian Group Baltics AS. Столько же, а именно 27,3% опрошенных ответили, что их предприятие не имеет возможности удаленного управления (Рисунок 2.8). Такие результаты свидетельствуют об активном развитии возможности удаленного управления предприятием, что дает возможность лучше отслеживать процесс и точнее им управлять, а также получать информацию в режиме реально времени даже за пределами предприятия.

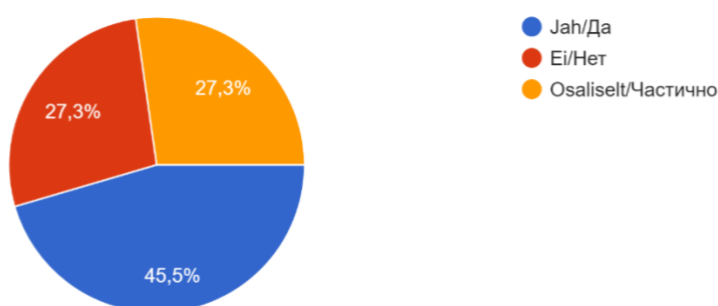


Рисунок 2.8 Поддержка удаленного управления (Источник: составлено автором)

Абсолютно все предприятия также согласились с тем, что автоматизация помогает улучшать процесс их производства. Это говорит о том, что предприятия смогли интегрировать системы автоматизации, а затем провести анализ показателей до и после интеграции. Такой анализ дал представление о том, как улучшились показатели их производительности и подтвердил оправданность инвестиций в автоматизацию.

На графической шкале, где была возможность оценить степень автоматизации своего предприятия (Рисунок 2.9), где 1 – не автоматизировано, а 5 – полностью автоматизировано, двое респондентов оценили уровень своей автоматизации на 4, семеро опрошенных дали своему предприятию оценку 3, а еще два предприятия оценили уровень автоматизации на 2. Отсюда можно сделать вывод, что большинство предприятий, прошедших исследование, оценивают свой уровень автоматизации достаточно высоко. На четыре себя оценили два предприятия из сферы энерго- и теплоснабжения.

К сожалению, в ходе опроса, не удалось опросить предприятия, которые относят себя в полностью автоматизированным, но это еще раз подтверждает тот факт, что предприятия регулярно обновляют свое оборудование и им всегда есть куда расти.

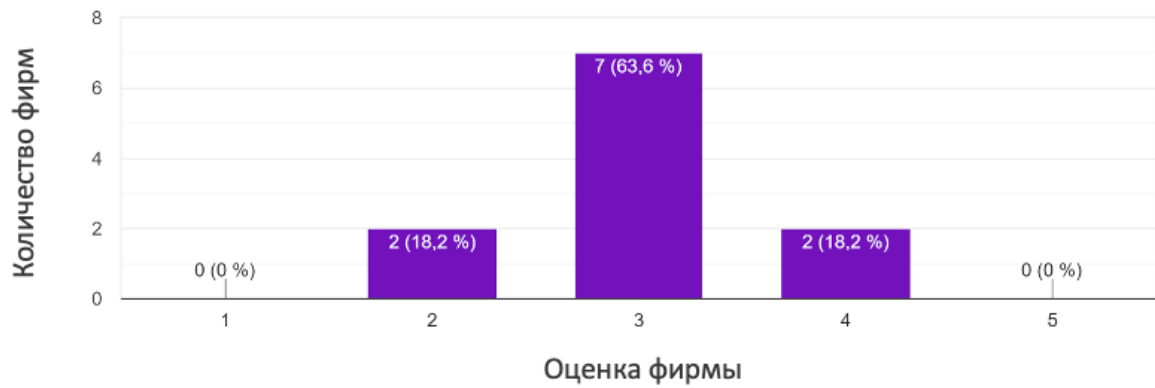


Рисунок 2.9 Степень автоматизации предприятий (Источник: составлено автором)

Собранная в ходе опроса информация была проанализирована автором, данные были занесены в ранее представленную таблицу (Таблица 2.1), которая дает краткий обзор того, какие технологии используют предприятия и в каких сферах чаще используется та или иная технология.

Таблица 2.1 Использование современных технологий на эстонских предприятиях
(Источник: составлено автором)

Системы автоматизации / Название фирмы	IoT	AI	Роботы-манипуляторы	Совместные роботы	3D принтеры	5G	Удаленный доступ
Enefit Green AS							+
Utilitas Tallinn AS						+	+
Gren Viru AS	+						+
Аноним 1 (электроматериалы)			+				+
Аноним 2 (энергоснабжение)	+						+
Utilitas Eesti AS						+	+
Аноним 3 (производство фильтрующих систем)			+	+	+		
Joon OÜ						+	+
Prysmian Group Baltics AS							+
ABB AS			+			+	
Аноним 4 (электроматериалы)							+

Собранные в таблице данные дают краткий обзор того, какими технологиями пользуются или планируют начать пользоваться предприятия, прошедшие опрос. Больше всего современных технологий, отобранных автором, в своем производственном процессе использует предприятие, производящее системы фильтрации воды. На их предприятии используются роботы-манипуляторы, совместные роботы, а также 3D принтеры. Стоит также отметить предприятия,

которые используют в своей работе Интернет вещей и сети 5G. Исходя из таблицы, можно увидеть стремление предприятий к поддержке возможности удаленного управления производственным процессом. Также прослеживается отсутствие интереса к развитию на своих предприятиях систем на базе искусственного интеллекта, что по мнению автора может быть обусловлено сферой работы опрошенных предприятий. Возможно, на популярность искусственного интеллекта влияет еще и сравнительно недавнее его распространение, и пока еще высокая стоимость интеграции в процесс производства. Автор не исключает того факта, что по мере распространения, развития и снижения стоимости ИИ, общая тенденция может измениться и в будущем появится больше предприятий, которые активно используют его в своем производстве. Также использование 3D принтеров мало распространено среди опрошенных предприятий, но возможно это связано с тем, что у предприятий, пока еще нет особой нужды создавать отдельную модель, изготовленную на 3D принтере и инвестировать деньги в покупку 3D принтеров нецелесообразно.

Промежуточный итог

Исходя из данных, полученных в ходе проведения опроса, можно сделать несколько выводов.

Во-первых, можно отметить, что предприятия Эстонии по достоинству оценивают всю важность применения промышленной автоматизации для улучшения качества их продукции, снижения рисков для персонала и увеличения производительности. А также, смогли заметить разницу после ее внедрения в производственный процесс.

Во-вторых, предприятия ищут те новые технологии, которые подходят под их специфику производства и начинают активно их использовать или строить планы по внедрению этих технологий в ближайшем будущем.

В-третьих, многие задумываются и работают над тем, чтобы иметь возможность управлять своим производственным процессом даже за пределами своего предприятия, чтобы лучше реагировать на возможные изменения, а также получать реальные данные о ходе производства. Такой подход дает возможность всегда контролировать качество работы предприятия.

В заключении также можно отметить, что опрошенные предприятия критично оценивают уровень своей автоматизации и всегда готовы улучшать свой производственный процесс.

2.2 Интервью

В данной работе используются разные методы исследования. Один из таких методов — это проведение интервью. Этот метод исследования подходит для достижения поставленных в данной работе целей. Автор решил провести интервью с совладельцем и руководителем проектов по автоматизации фирмы НООВ ОÜ Танелем Сильдником.

Интервью проходило 12.05.2023 через видеоконференцию в программе *Microsoft Teams*. Всего было задано 15 вопросов и интервью длилось 30 минут. Целью заданных вопросов было больше узнать о развитии промышленной автоматизации с точки зрения разработчика разных систем. Вопросы интервью предоставлены в Приложении 2.

Прежде всего в начале интервью автор попросил своего собеседника представиться и объяснить, чем занимается их компания. Танель Сильдник рассказал, что является одним из основателей и членом правления компании, которая называется НООВ ОÜ и занимается проектировкой и изготовлением систем автоматизации, которые не продаются сразу в готовом виде, то есть они разрабатывают системы под конкретные задачи заказчика, основываясь на специфике предприятия, где это оборудование в дальнейшем будет устанавливаться. Основными сферами для установки их продукции являются предприятия, которые занимаются производством электроники, машиностроением, телекоммуникациями, медициной и в некоторой мере пищевой промышленностью. Самыми крупными их клиентами являются такие крупные промышленные предприятия, как Ericsson и ABB.

Танель согласился, что актуальность автоматизации в Эстонии находится на очень высоком уровне и интерес к промышленной автоматизации с каждым годом растет все сильнее. Он поделился своим видением того, почему так происходит. Основными причинами роста актуальности автоматизации он назвал рост стоимости рабочей силы, а также растущие требования к качеству выпускаемой продукции. Автоматизация помогает сокращать расходы и поддерживать постоянный уровень качества продукции, который можно удобно отслеживать. Он так же отметил, что на данный момент Эстония уже сильно приблизилась к той грани, когда ручное производство обходится уже очень дорого.

Автор данной работы, исходя из своих наблюдений и изученной информации, также считает, что актуальность промышленной автоматизации в Эстонии будет только расти. Об этом свидетельствует и появление различных предприятий, которые поддерживают удаленное управление и сбор данных. Например,

показания коммунальных энергоресурсов, таких как вода, электричество, газ, отопление и т.д. в Эстонии все чаще переводятся на удаленное управление. Предприятия активнее внедряют к себе в производство автоматизированные линии и стараются передать автоматизации работу, которую способен выполнять механизм, чтобы освободить человеческие ресурсы для более значимых задач.

В ходе интервью был задан вопрос, хорошо ли развиты новые технологии в Эстонии. Танель отметил, что нынешний уровень промышленной автоматизации у предприятий, которые занимаются этим процессом в своем производстве, находится на очень хорошем уровне. Особенно он подчеркнул, что очень хорошо в Эстонии развита роботизация процессов. В пример он привел производства, которые занимаются упаковкой и очень часто используют для этого роботов. Также рассказал, что, по его информации, Ericsson в своем производстве использует помощь роботов. В частности, используют совместных роботов на производственных линиях. Однако, он подчеркнул, что в Эстонии есть и предприятия, которые хотели бы перевести свой производственный процесс в более автоматизированный, но пока не сделали этого по причине того, что автоматизация на данном этапе достаточно ощутимая инвестиция, которую, к сожалению, не все предприятия могут себе позволить.

Также он предположил, почему многие предприятия не используют конкретно роботов. Танель сказал, что все зависит от специфики производства и в частых случаях непосредственно работа можно заменить на более упрощенный механизм, который в конкретном случае будет легче обслуживаться и в процессе создания потребует намного меньше инвестиций. Для предприятий звучит хорошо, когда можно сказать, что у них на линии работают роботы и часто, когда они только начинают думать о том, что они уже находятся на том этапе, когда можно заняться автоматизацией производства, они думают об установке робота. Однако задача предприятия, которое будет заниматься автоматизацией для заказчика объяснить, какие есть возможности и дать понять, что зачастую можно сделать этот процесс легче и заменить роботов более простыми механизмами.

Он рассказал, что его предприятие также устанавливает роботов-манипуляторов и в прошлом году у них был клиент, который обозначил, каких роботов он бы хотел видеть на своем производстве. Но все же подчеркнул, что заказов на автоматизацию производства с помощью роботов у них значительно меньше, чем, например, на конвейерные линии или поворотные столы.

На вопрос автора про использование 3D принтера Танель отметил, что он является одним из помощников для проектирования будущих автоматизированных

систем для промышленных предприятий, которого они используют у себя в компании. Он служит для того, чтобы была возможность быстро произвести какой-то элемент создаваемой автоматизированной системы для проведения испытаний и возможности найти для себя ответ, будет ли работать эта система в таком виде или какой-то узел можно спроектировать с внесением новых доработок. Также в своей практике он использовал напечатанные детали на готовых установках там, где нет непосредственной нагрузки и они играют малую роль в процессе работы, поскольку такие детали очень легко и быстро изготавливаются на месте и не требуют долгих поисков и ожидания, что делает линию более эффективной, сокращая время ее простоя.

Автор поделился результатами опроса, в котором практически все фирмы, проходившие исследование ответили, что не используют 3D принтеры и вместе с Танелем пришли к выводу, что конечным заказчикам часто и не нужно лично использовать такие принтеры в процессе автоматизации своего производства, поскольку они часто заказывают эту услугу у сторонних разработчиков, которые на постоянной основе занимаются разработкой различных решений, связанных с автоматизацией и имеют большой опыт в их развитии. Поскольку предприятия часто заказывают для себя конкретные установки, которая закрывает все их производственные потребности и в дальнейшем происходит лишь ее обслуживание и усовершенствование, нет смысла держать у себя штат разработчиков, а достаточно лишь иметь людей, которые могут такую установку обслуживать и ремонтировать.

На вопрос, растет ли число компаний, которые управляются удаленно в связи с распространением технологии 5G, Танель рассказал, что конкретно систем на базе 5G для удаленного управления они не собирали, но у них есть проекты, которые поддерживают процесс удаленного обслуживания и в пример привел их установку на Хийумаа, для настройки которой нет необходимости туда ехать, а достаточно удаленно подключиться и изменить нуждающиеся в корректировке параметры системы или понять в чем ошибка, чтобы установка смогла работать дальше уже в улучшенном виде либо у владельцев была информация, какой узел или компонент нуждается в обслуживании или ремонте.

По поводу построенных в Эстонии проектов на базе искусственного интеллекта Танель не смог дать каких-либо комментариев, поскольку его фирма еще не занималась такого рода автоматизацией и он не знает, делал ли кто-то еще проекты на базе данной технологии. В ходе опроса автор также не нашел предприятие, которое согласилось бы поделиться опытом использования искусственного интеллекта в своем производстве. Однако он рассказал, что у них

были проекты, в которых их автоматизированная система следила за параметрами работы, собирала данные, которые отправлялись во внутреннюю производственную сеть и затем, исходя из ранее собранных данных система сама обучалась и делала улучшения в своей работе, например подбирала лучшие пропорции рецептов. Таким образом создавалась система, которая активно общалась с программным обеспечением клиента для улучшения качества конечной продукции.

Танель также отметил, что обычно сроки окупаемости новой системы, приемлемые для заказчиков, находятся в пределах двух лет. Если окупаемость занимает больше времени, то предприятия уже задумываются о целесообразности конкретной инвестиции. Но также это зависит и от уровня проектируемой системы. Например, если это проект на несколько миллионов, включающий в себя различного рода дорогие решения в автоматизации, то и срок окупаемости такого проекта, естественно дольше. Каждый случай стоит рассматривать конкретно, но чаще всего это 1,5–2 года.

Отвечая на вопрос, стараются ли предприятия как можно чаще обновлять или улучшать свои установки Танель сказал, что скорее да. Предприятия стараются создать такую систему, которая по возможности работала бы весь срок жизни предприятия. Однако он отметил, что в случае с их системами, они создаются для конкретного производства и под нужны конкретного заказчика. Таким образом получается, что, если в производстве не возникает нужды в каких-то серьезных переделках или изменениях, не возникает и нужды перестраивать механизмы системы автоматизации, созданные для конкретного процесса. Остается лишь следить за ее исправностью и вовремя обслуживать, чтобы она работала без случайных отказов.

Выбор промышленной сети, по мнению Танеля, больше обусловлен предпочтениями в выборе основного контроллера. Ему было трудно дать общую оценку распространенности использования той или иной сети, но конкретно в их предприятии чаще всего предпочтения отдаются сети *ProfiNET*, а на второе место по частоте использования он поставил *ProfiBUS*.

По поводу построения автоматизации на базе Интернета вещей Танель ответил, что в их компании пока таких проектов не было. Он сказал, что в Эстонии их естественно строят, но он не может привести конкретных примеров использования такой технологии.

Когда автор поинтересовался, возрос ли интерес к автоматизации в нынешних условиях волатильности цен на энергетические ресурсы, Танель ответил, что

хотелось бы сказать, что да, но скорее сейчас крупные промышленные предприятия заняли более выжидающую позицию и крупные проекты, которые касаются автоматизации отодвинули немного на будущее, когда обстановка станет более прогнозируемой. Последние пару лет интерес к большим инвестициям в автоматизацию немного притормозил, если сравнивать с темпами нескольких лет ранее. Даже на их предприятиях заметно, что решения по большим проектам стали занимать больше времени, клиенты стали более осторожны.

Автор спросил, есть ли зависимость от того, что некоторые предприятия продолжают использовать очень старые решения для автоматизации и количеством специалистов, которые хорошо разбираются в применении новых решений в автоматизации. На что Танель предположил, что многим предприятиям легче использовать устаревшие решения, потому что они не хотят сильно инвестировать в развитие их производственной автоматизации, поскольку это достаточно серьезные инвестиции, а срок ее окупаемости может быть достаточно долгим. Предприятие выбирает продолжать работать на старом оборудовании пока, например, оборот продукции не вырастет до достаточных объемов, чтобы сократить время возврата инвестиций. А по поводу отсутствия специалистов он прокомментировал так, что, по его мнению, в Эстонии нет такой нехватки инженеров, как иногда говорят и когда, например у его предприятия была необходимость в поиске какого-то нового специалиста, то такие люди непременно находились. Большая нехватка специалистов, по его мнению, скорее в сфере информационных технологий нежели в инженерах по автоматизации. А если кому-то не удастся найти подходящего инженера, то возможно стоит более критично рассмотреть, например, предлагаемые условия работы.

Что касается территориального распределения клиентов, то в процентном соотношении Танель оценил это в таких пропорциях, что порядка 60–70 процентов клиентов их компании располагаются в Эстонии, остальное число в большей степени приходится на Финляндию, а затем Швецию. Чаще всего, зарубежные клиенты возникают от рекомендаций их дочерних компаний, расположенных в Эстонии. Таким образом, например, финская часть предприятия видит, как в Эстонии модернизировали производство и что оно работает стабильно и с большей эффективностью, а затем заказывает проекты и для себя. Одним из таких крупных заказчиков является фирма АВВ. Отчасти, зарубежные клиенты заказывают проекты в Эстонии из-за разницы в оплате труда. Это не является основополагающим фактором, но несомненно влияет на конечный выбор.

В заключении интервьюируемый согласился с утверждением автора, что автоматизация в Эстонии стремительно развивается. Также он добавил, что многие предприятия, где пока нет решений на базе промышленной автоматизации, решительно настроены в ближайшем будущем инвестировать в ее развитие на своих производствах.

Промежуточный итог

По итогам проведенного интервью можно сделать вывод о том, что актуальность развития автоматизации в Эстонии находится на высоком уровне и с каждым годом интерес к инвестициям в автоматизацию растет. Особенно росту способствует увеличение стоимости человеческого труда.

Также автор нашел подтверждение своим предположениям по поводу использования некоторых технологий самими предприятиями. В частности, в ходе опроса выяснилось, что практически никто в процессе построения автоматизации не использует 3D принтеры. Однако Танель подтвердил, что многим предприятиям нет смысла самим использовать некоторые технологии, поскольку намного эффективнее заказать их у сторонних разработчиков, которые уже практикуют их использование на постоянной основе.

Еще можно отметить, что количество компетентных разработчиков в Эстонии находится на хорошем уровне и при необходимости можно найти специалиста для многих задач.

Удалось найти зависимость волатильности цен на энергоресурсы и объема инвестиций в крупные проекты промышленной автоматизации, ведь из-за нестабильной обстановки в мире крупные предприятия последнее время с большей аккуратностью относятся к крупным инвестициям в области автоматизации. Однако нельзя сказать, что интерес стал меньше, скорее возросло время согласований.

В какой-то мере подтвердился и ранее заданный в опросе вопрос про использование устаревших систем автоматизации. Автор вместе с респондентом пришли к выводу, что для многих предприятий, имеющих малый объем производства, инвестиции в новые технологии все еще являются слишком дорогостоящими и они предпочитают продолжать работать на уже устаревшем оборудовании до момента, пока не произойдет рост объемов производимой ими продукции, чтобы окупить инвестиции в более короткие сроки.

Касаемо искусственного интеллекта, сложилось мнение, что для многих предприятий его применение еще не до конца оправдано и из-за малого

распространения пока является достаточно крупной и неоправданной инвестицией. Все это приводит к тому, что в данный момент очень мало предприятий, которые внедряют искусственный интеллект в свое производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основное внимание в данной работе было направлено на изучение новых технологий в промышленной автоматизации. Объектом исследования были предприятия, работающие на территории Эстонии и использующие в процессе своего производства промышленную автоматизацию.

Целью данной работы было предоставить обзор на основные современные системы промышленной автоматизации, а также структурировать технологии, используемые в промышленной автоматизации Эстонии, что дало бы возможность в дальнейшем использовать эту информацию в процессе обучения. В ходе исследования автору удалось достичь всех поставленных целей и задач данной работы.

В первой части данной работы преимущественно был использован качественный метод исследования, а именно анализ текста. Во второй же части автор применил количественный метод исследования, путем проведения опроса среди промышленных предприятий Эстонии. Также было проведено интервью с сооснователем и руководителем предприятия, занимающегося проектированием и производством специализированных под нужды заказчика систем автоматизации.

В первой части автор проанализировал большой объем информации, описал общие принципы промышленной автоматизации и выделил основные современные системы для дальнейшего опроса.

Во второй части автор составил и провел опрос среди крупных промышленных предприятий Эстонии, чтобы оценить, какие современные технологии пользуются спросом и в каких сферах чаще всего применяются. А также провел интервью с целью получения информации о том, как выглядит развитие современных технологий автоматизации с точки зрения их разработчиков.

В ходе опроса удалось отметить сильное желание предприятий иметь удаленный доступ к процессу своего производства, что также означает заинтересованность в контроле качества выпускаемой продукции и бесперебойной работе. Удалось также отметить и отсутствие у предприятий интереса к применению искусственного интеллекта. Вероятно, по причине его недавнего появления и высокой стоимости интеграции в производственный процесс. Особенно радует, что все предприятия отмечают важность промышленной автоматизации в их производстве и улучшения производительности после ее интеграции. Положительно то, что предприятия стараются не останавливаться на уже

привычных системах автоматизации, а пытаются дальше развивать и улучшать свое производство.

Проведенное интервью еще раз подтвердило, что в Эстонии очень много предприятий, у которых есть желание автоматизировать процессы своего производства и понимание, что это помогает улучшить качество итоговой продукции, увеличить эффективность производства и повысить безопасность персонала. Также многие предприятия стараются модернизировать свои системы по мере роста объемов производства. Был найден ответ, почему предприятия так мало используют 3D принтеры. Это обусловлено тем, что для них эффективнее заказать разработку систем под свои задачи у сторонних производителей, которые уже в свою очередь активно используют принтеры в процессе проектирования.

В ходе данной работы, в итоге, удалось получить ответ на вопрос успевают ли Эстонские предприятия адаптироваться к мировым трендам промышленной автоматизации. В ходе исследования выяснилось, что не все современные промышленные технологии автоматизации используются на эстонских производствах. Есть вероятность, что конкретно опрошенные предприятия не нашли достаточно веских оснований для внедрения некоторых систем или их сфера деятельности слабо подходит для их применения. Общая тенденция говорит о том, что предприятия стремятся развивать автоматизацию на своих производствах и стараются в процессе развития использовать новые технологии.

Автор считает, что его исследование поможет понять значимость современных технологий в промышленной автоматизации и основные сферы применения конкретных технологий в промышленности Эстонии. Автор также надеется, что благодаря его исследованию, как минимум, опрошенные предприятия узнали для себя и отметили какие-то новые технологии, которые они еще не используют, но в дальнейшем они могут оказаться им полезны.

SUMMARY

The main attention in this work was directed to the study of new technologies in industrial automation. The object of the study was manufacturing enterprises operating in Estonia which are using industrial automation in their production process.

The aim of this work was to provide an overview of the main modern industrial automation systems, as well as to structure the technologies used in industrial automation in Estonia, which would make it possible to further use this information in the learning process. During the study, the author managed to achieve all the goals and objectives of this work.

In the first part of this work, a qualitative research method, namely text analysis, was mainly used. In the second part, the author applied a quantitative research method by conducting a survey among industrial enterprises in Estonia. An interview was also conducted with the co-founder and head of an enterprise engaged in the design and production of automation systems specialized for the needs of the customer.

In the theoretical part, the author analysed a large amount of information, described the general principles of industrial automation and identified the main modern systems for further questioning.

In the methodological part, the author compiled and conducted a survey among large industrial enterprises in Estonia in order to assess which modern technologies are in demand and in which areas they are most often used. He also conducted an interview to get information about what the development of modern automation technologies looks like from the point of view of their developers.

The survey noted a strong desire of enterprises to have remote access to their production process, which also means an interest in product quality control and smooth operation. It was also possible to note the lack of interest among enterprises in the use of artificial intelligence. Probably due to its recent introduction and the high cost of integration into the manufacturing process. It is especially pleasing that all enterprises note the importance of industrial automation in their production and improving productivity after its integration. It is positive that enterprises are trying not to stop at the usual automation systems but are trying to further develop and improve their production.

The interview once again confirmed that there are a lot of companies in Estonia that want to automate their production processes and understand that this helps to improve the quality of the final product, increase production efficiency and increase

personnel safety. Also, many enterprises are trying to upgrade their systems as production volumes grow. The answer has been found to why businesses use 3D printers so little. This is due to the fact that it is more efficient for them to order the development of systems for their tasks from third-party manufacturers, who, in turn, actively use printers in the design process.

In the course of this work, as a result, it was possible to get an answer to the question of whether Estonian enterprises have time to adapt to the global trends in industrial automation. During the study, it turned out that not all modern industrial automation technologies are used in Estonian industries. There is a possibility that the specifically interviewed enterprises did not find a good enough reason to implement some systems or their field of activity is poorly suited for their application. The general trend suggests that enterprises are striving to develop automation in their production and are trying to use new technologies in the development process.

The author believes that his research will help to understand the importance of modern technologies in industrial automation and the main areas of application of specific technologies in Estonian industry. The author also hopes that thanks to his research, at least the surveyed enterprises have learned for themselves and noted some new technologies that they do not yet use, but in the future they may be useful to them.

Keywords: automation, Internet of things, 5G, artificial intelligence, Industry 4.0, robot manipulator, Ethernet

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Unitronics. (2023). Дата использования: 17 февраль 2023 г., источник: <https://www.unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/>
- Wayand, B. (20 март 2020 г.). *What Is a PLC (Programmable Logic Controller)?*. Дата использования: февраль 2023 г., источник: MRO electric: <https://www.mroelectric.com/blog/what-is-a-plc/>
- Elektro-экспо. (2023). Дата использования: 17 февраль 2023 г., источник: <https://www.elektro-ekspo.ru/ru/articles/2016/promyshlennyye-sistemy-avtomatizacii/>
- Школа для электрика. (2023). *Что такое программируемый логический контроллер (ПЛК)*. Дата использования: февраль 2023 г., источник: <https://electricalschool.info/spravochnik/1999-что-такое-programmiruemyy-logicheskiy-kontroller.html>
- Fernandes, N. (апрель 2020 г.). (*Programmable Logic Controllers*) *PLC Overview*. Дата использования: февраль 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/340428721_Programmable_Logic_Controllers_PLC_Overview
- Hayat, A., Shahare, V., Sharma, A. K., & Arora, N. (март 2023 г.). *Introduction to Industry 4.0*. Дата использования: март 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/369549316_Introduction_to_Industry_4_0
- Schwab, K. (март 24 2023 г.). *The Fourth Industrial Revolution*. Дата использования: март 2023 г., источник: <https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734>
- ЗАО Технолинк. (2018). *ИНДУСТРИЯ 4.0: реалии сегодняшнего дня*. Дата использования: март 2023 г., источник: https://isup.ru/upload/pdf-zhurnala/2018%20i%20dalee/2018/4_76_2018/078_081_Tchnoink.pdf
- Placek, M. (апрель 2023 г.). *Size of the global industrial automation market from 2020 to 2025*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: Statista: <https://www.statista.com/statistics/1219772/industrial-automation-market-size-worldwide/>
- Pawar, A., & Deosarkar, S. B. (апрель 2023 г.). *IoT-based smart agriculture: an exhaustive study*. Дата использования: апрель 2023 г., источник:

https://www.researchgate.net/publication/369882631_IoT-based_smart_agriculture_an_exhaustive_study

Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. (март 2021 г.). *IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: MDPI: <https://www.mdpi.com/2624-6511/4/2/24>

Hyysalo, J., Dasanayake, S., Hannu, J., & Sauvola, J. J. (февраль 2022 г.). *Smart Mask – Wearable IoT Solution for Improved Protection and Personal Health*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/358872319_Smart_Mask_-_Wearable_IoT_Solution_for_Improved_Protection_and_Personal_Health

Rashid, S. J., Alkababji, A. M., & Khidhir, A. M. (б.д.). *Communication and Network Technologies of IoT in Smart Building: A Survey*. Дата использования: 2023 апрель г., источник: https://www.researchgate.net/publication/355844290_Communication_and_Network_Technologies_of_IoT_in_Smart_Building_A_Survey

Natividad, J. G., & Palaoag, T. D. (2019). *IoT based model for monitoring and controlling water distribution*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/482/1/012045/pdf>

Daigavane, V. V., & Gaikwad, M. (2017). *Water Quality Monitoring System Based on IOT*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.ripublication.com/awmc17/awmcv10n5_24.pdf

Srivastava, S. (30 январь 2023 г.). *AI and IoT: Two Powerful Entities That Will Change the Way You Do Business*. Дата использования: 2023 апрель г., источник: <https://appinventiv.com/blog/ai-and-iot-will-transform-your-business/>

Paudel, R. (август 2022 г.). *THE IMPACT OF AUTOMATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) ON LEADERSHIP AND THE WORKFORCE*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/369023130_THE_IMPACT_OF_AUTOMATION_AND_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_AI_ON_LEADERSHIP_AND_THE_WORKFORCE

Budleigh, A. (4 май 2022 г.). *7 Trends in Industrial Automation To Look Out for*. Дата использования: 2023 апрель г., источник: <https://baba-blog.com/industrial-automation/>

- Sorell, T. (октябрь 2022 г.). *Cobots, "co-operation" and the replacement of human skill*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/364212368_Cobots_co-operation_and_the_replacement_of_human_skill
- Mallampati, M., Kawale, S. R., Raja, R., & Huluka, M. A. (апрель 2022 г.). *Industry 4.0 and the Future of Industrial Automation: The Role of Industrial Communication Networks*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/360411843_Industry_40_and_the_Future_of_Industrial_Automation_The_Role_of_Industrial_Communication_Networks
- Ericsson. (23 май 2022 г.). *Ericsson powers T-Mobile's U.S. 5G enterprise drive*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://www.ericsson.com/en/news/2022/5/ericsson-powers-t-mobiles-us-5g-enterprise-drive>
- Looper, C. d., & Jansen, M. (22 апрель 2022 г.). *Is 5G as fast as they're saying? We break down the speeds*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://www.digitaltrends.com/mobile/how-fast-is-5g/>
- Yong, V. K. (апрель 2021 г.). *Capacity Estimation for 5G Cellular Networks*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/350798380_Capacity_Estimation_for_5G_Cellular_Networks
- Cablefree. (2023). *LTE Network Latency compared with 2G, 3G & WiFi*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-network-latency/>
- Fisher, T. (3 май 2023 г.). *How Are 4G and 5G Different?* Дата использования: май 2023 г., из <https://www.lifewire.com/5g-vs-4g-4156322>
- МТС медиа. (21 август 2020 г.). *Что такое 5G, зачем это нам, чем опасно и где найти*. Дата использования: май 2023 г., источник: <https://media.mts.ru/internet/196902-chto-takoe-5g/#:~:text=5G%20позволяет%20создать%20до%20миллиона,д>
- Сатопторг. (2023). Дата использования: май 2023 г., источник: <https://satoptorg.ru/blog/kak-rabotaet-3g/>

- Большаков, Н. (21 январь 2022 г.). *Calltouch Blog*. Дата использования: март 2023 г., источник: <https://www.calltouch.ru/blog/avtomatizacziya-proizvodstva-cto-eto-takoe-v-promyshlennosti-i-kak-ee-vnedrit/>
- Бояркин, А. (17 апрель 2023 г.). *Автоматизация процессов производства: основные принципы, этапы, готовые решения*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://sales-generator.ru/blog/avtomatizatsiya-protsestsovs-proizvodstva/>
- Фатыхов, М. Б. (2023). *Протоколы связи в АСУ ТП*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://plcsystems.by/articles/651>
- Evomatics. (2023). *АСУ ТП для нефтегазовой отрасли*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: <https://evomatics.ru/solutions/avtomatizatsiya-neftegazovogo-proizvodstva/>
- Nagaty, K. A. (январь 2023 г.). *IoT Commercial and Industrial Applications and AI-Powered IoT*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/367025439_IoT_Commercial_and_Industrial_Applications_and_AI-Powered_IoT
- Industrial Internet of Things - IIoT*. (2023). Дата использования: апрель 2023 г., источник: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_-_Industrial_Internet_of_Things_\(Промышленный_интернет_вещей\)#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D0.B5.IIoT_.D0.B2_.D1.80.D0.B0.D0.B7.D0.BB.D0.B8.D1.87.D0.BD.D1.8B.D1.85_.D0.BE.D1.82.D1.80](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_-_Industrial_Internet_of_Things_(Промышленный_интернет_вещей)#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D0.B5.IIoT_.D0.B2_.D1.80.D0.B0.D0.B7.D0.BB.D0.B8.D1.87.D0.BD.D1.8B.D1.85_.D0.BE.D1.82.D1.80)
- Шинкарёв, А. (2017). *ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА ТЕМА: РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА*. Дата использования: апрель 2023 г., источник: https://www.academia.edu/36555053/ВЫПУСКНАЯ_КВАЛИФИКАЦИОННАЯ_РАБОТА_МАГИСТРА_ТЕМА_РАЗРАБОТКА_КОНСТРУКЦИИ_И_АЛГОРИТМОВ_УПРАВЛЕНИЯ_ПРОМЫШЛЕННОГО_МАНИПУЛЯТОРА
- Marrone, D. (2022). *The implementation of collaborative robots in production environments: a review of academic literature and industrial applications*. Дата использования: май 2023 г., источник: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1703693/FULLTEXT01.pdf>
- Anrotech. (2023). *Технологии и методы 3D-печати*. Дата использования: май 2023 г., источник: <https://anrotech.ru/blog/tehnologii-i-metody-3d-pechati/>

Chakraborty, A., & Mandal, N. (июль 2022 г.). *Introduction of industry 4.0*. Дата использования: март 2023 г., источник: https://www.researchgate.net/publication/361677365_Introduction_of_industry_40_Introduction_of_industry_40

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 ОПРОС

Tootmise automatiseerimise küsimustik

15.05.2023, 22:17

Tootmise automatiseerimise küsimustik

Mina olen Ilja Pikalov ja ma õpin TalTech Virumaa Kolledžis tootmise automatiseerimise erialal. Mina kirjutan lõputöö teemal "**Kaasaegsete tootmise automatiseerimise süsteemide võrdlus ja analüüs eesti ettevõtete näitel**". Vastates küsimustikule aidate uurida ja koguda statistilisi andmeid lõputöö kirjutamiseks.

Küsitlus võtab aega 5-10 minutit.

Ette tänades Teie vastuste eest!

* Indicates required question

1. Palun sisestage ettevõtte nimi *

Пожалуйста укажите название фирмы

2. Kas tootmisprotsesside automatiseerimine on Teie ettevõttes asjakohane? *

Актуальна ли на Вашем предприятии автоматизация производственных процессов?

Mark only one oval.

- Jah/Да
 Ei/Нет
 Other: _____

3. Millal oli Teie automatiseerimissüsteem uuendatud? *

Как давно модернизировалась Ваша система автоматизации?

Mark only one oval.

- 0-2 aastat tagasi/ года назад
- 2-4 aastat tagasi/года назад
- 4-6 aastat tagasi/лет назад
- ≥6 aastat tagasi/лет назад
- Other: _____

4. Kas kasutate tööstuslikku asjade internetti (IoT)? (Kui jah, siis täpsustage milliseid ülesandeid see tehnoloogia lahendab)

Используете ли Вы промышленный IoT? (Если да, то уточните, какие задачи решают данной технологией)

Tick all that apply.

- Jah/Да
- Ei/Нет
- Other: _____

5. Kas lahendate ülesandeid AI abil? (Kui jah, siis märkige jaotises "Muu" milliseid ülesandeid see täidab)

Решаете ли Вы какие-то задачи с помощью AI? (Если да, то укажите в "Другое", какие задачи выполняет)

Tick all that apply.

- Jah/Да
- Ei/Нет
- Testime seda võimalust/Тестируем данную возможность
- Other: _____

6. Kas kasutate oma töös robotmanipulaatoreid? (Kui jah, märkige jaotises "Muu" milliseid ülesandeid nad täidavad)

Применяете ли Вы в работе роботов-манипуляторов? (Если да, то укажите в "Другое", какие задачи они выполняют)

Tick all that apply.

- Jah/Да
 Ei/Нет
 Planeerime alustada/Планируем использовать

7. Kas koostörobotid aitavad Teie töötajaid nende igapäevaste ülesannete täitmisel? (Kui jah, märkige jaotises "Muu" milliseid ülesandeid nad täidavad)

Помогают ли Вашим работникам в их повседневных задачах совместные роботы? (Если да, то укажите в "Другое", какие задачи они выполняют)

Tick all that apply.

- Jah/Да
 Ei/Нет
 Planeerime kasutada/Планируем использовать
 Other: _____

8. Kas kasutate oma tootmisprotsessis tööstuslikke 3D-printereid? *

Используете ли промышленные 3D-принтеры в производственном процессе?

Mark only one oval.

- Jah/Да
 Ei/Нет
 Tulevikus võimalik/Возможно в будущем
 Other: _____

9. Kas kavatsete oma tootmises kasutada 5G-d? *

Планируете ли Вы использовать 5G в своем производстве?

Mark only one oval.

- Jah, lähiajal/Да, в ближайшем будущем
- Jah, 3 aasta jooksul/Да, в течении 3 лет
- Ei planeeri/Пока не планируем
- Ei/Нет

10. Millise tööstusvõrgu baasil on Teie ettevõttes automatiseerimine korraldatud? *

На базе какой промышленной сети организована автоматизация на Вашем предприятии?

Mark only one oval.

- Ethernet
- Profibus
- Modbus
- CAN
- 5G
- Other: _____

11. Kas Teie ettevõttes on võimalik protsessi kaugjuhtida? *

Есть ли возможность удаленно управлять процессом на Вашем предприятии?

Mark only one oval.

- Jah/Да
- Ei/Нет
- Osaliselt/Частично
- Other: _____

12. Kas olete nõus, et automatiseerimine aitab Teie tootmist paremaks muuta? *

Согласны ли вы с тем, что автоматизация помогает улучшать Ваше производство?

Mark only one oval.

- Jah/Согласен/Согласна
 Ei/Не согласен/согласна
 Other: _____

13. Kui automatiseeritud on teie tootmine skaalal 1–5? *

На сколько по шкале от 1 до 5 автоматизировано Ваше производство?

Mark only one oval.

- 1 2 3 4 5
Pole Täiesti automatiseeritud/Полностью автоматизировано

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 ВОПРОСЫ ИНТЕРВЬЮ

1. Rääkige palun natuke oma positsioonist ja millega tegeleb teie firma?
2. Kuidas te arvate, kas tootmise automatiseerimine on aktuaalne Eestis?
3. Kas teie arvamustes praegu Eestis uued automatiseerimise tehnoloogiad on hästi arenenud?
4. Millised teenused pakub Teie ettevõtte tööstusettevõtetele?
5. Kas teie ettevõtte pakub kliendile näiteks robot-manipulaatorid? Kas see on populaarne päring teie klientide seas?
6. Minu küsimustikus peaaegu kõik vastajad öeldnud, et neid ei kasuta robot-manipulaatoreid. Kas see on lihtsalt spetsiifiline toode või on mingid teised põhjused miks neid nii harva kasutatakse?
7. Kas te kasutate 3D-printereid enda projektide arendamise ajal? Minu küsimustikus kõik vastasid, et neid üldse ei kasuta.
8. Praegu väga kiiresti levivad 5G sised, kuidas Te arvate kas me näeme lähiajal Eestis rohkem ettevõtteid, mille tootmine võimaldab kaugjuhtimist?
9. Kas te pakute tehasintellekti baasil automatiseerimise lahendusi?
10. Teie arvamusel, kui kaua aega umbes läheb ennem, kui ettevõtte automatiseerimine katab kõik kulusid? Kas võib see juhtuda näiteks viie aastaga või see on pikem investeering?
11. Kas ettevõtted proovivad võimalikult tihti uuendada oma süsteemid?
12. Oskate võib-olla öelda mis on kõige levinud või populaarseim tööstusvõrk?
13. Kas IoT lahendused tootmisettevõtetele omavad aktuaalsust? Näiteks tehase tark ventilatsioon või valgustus.
14. Kas praeguses olukorras kui näiteks elektri ja küte hinnad muutuvad väga kiiresti on automatiseerimise aktuaalsus kasvanud?
15. Miks mõned ettevõtted jätkavad vanad automaatika lahendused edasi kasutada? Kas meil puudub piisav kogus inimesi, kes oskab uute tehnoloogiatega käituda?