

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦИФРОВЫЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

MES-системы

Москва
2026

Оглавление

Определения, обозначения и сокращения	3
Введение	4
1. Роль MES в цифровой трансформации промышленности	6
2. Определение MES: что это, какова ее роль в архитектуре промышленной автоматизации.....	8
2.1. Отличие MES от ERP, SCADA, PLM и других систем	9
3. Основные функции MES	12
4. Рынок MES-систем	15
4.1. Зарубежные MES-системы	15
4.2. Отечественные MES-системы.....	25
4.3. Сравнение зарубежных и отечественных MES-систем.....	30
5. Успешные кейсы внедрения MES-систем на промышленных предприятиях....	38
6. Анализ внедрения MES	57
6.1. Отраслевые сценарии внедрения MES-систем на отечественных предприятиях.	57
6.2. Преимущества внедрения MES-систем	62
6.3. Барьеры и риски внедрения MES-систем	67
6.4. Анализ барьеров внедрения по результатам отраслевого опроса.....	67
7. Выбор MES-систем для промышленных предприятий, критерии отбора	70
8. Перспективы развития MES-систем в России.....	78
Заключение.....	82
Список используемой литературы.	85
Приложение № 1 Сравнительная таблица MES-решений	87
Приложение № 2 Схемы интеграций	94

Определения, обозначения и сокращения

Определения, обозначения и сокращения, используемые в настоящем документе, приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Определения, обозначения и сокращения

Термин	Определение
MES (Manufacturing Execution System)	Система управления производством, служащая для координации и мониторинга производственных процессов в реальном времени.
ERP (Enterprise Resource Planning)	Система планирования ресурсов предприятия, которая интегрируется с MES для полноценного управления ресурсами.
PLM (Product Lifecycle Management)	Система управления жизненным циклом продукции, интегрируемая с MES для поддержания целостности данных и контроля качества.
SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	Система диспетчерского управления и сбора данных, используемая совместно с MES для контроля оборудования и процессов.
OEE (Overall Equipment Effectiveness)	Показатель общей эффективности оборудования, вычисляемый на основе трех параметров: доступность, производительность и качество.
Traceability (Прослеживаемость)	Способность проследить происхождение и историю каждого элемента продукции, обеспечивающая соответствие стандартам качества и безопасности.
Digital Twin (Цифровой двойник)	Виртуальная копия реального объекта или процесса, используемая для симуляции и анализа поведения объекта.
Predictive Analytics (Предиктивная аналитика)	Метод анализа данных, позволяющий прогнозировать события и помогать в принятии решений.
Artificial Intelligence (AI, Искусственный интеллект)	Технология, способная анализировать данные и принимать решения на их основе, применяемая в MES для оптимизации процессов.
Integration (Интеграция)	Связывание различных информационных систем (MES, ERP, PLM, SCADA и др.) для совместного использования данных и оптимизации процессов.
Legacy systems (Наследственные системы)	Устаревшие информационные системы, которые продолжают использоваться на предприятии, но нуждаются в интеграции с новыми решениями.
Business Process Reengineering (Реинжиниринг бизнес-процессов)	Радикальное переосмысление и реструктуризация процессов предприятия для повышения эффективности и конкурентоспособности.
Total Cost of Ownership (TCO, Общая стоимость владения)	Совокупные затраты на покупку, внедрение, эксплуатацию и снятие с эксплуатации информационной системы.
Return On Investment (ROI, Возврат на инвестиции)	Показатель экономической эффективности инвестиционных вложений, рассчитываемый как отношение доходов к затратам.

Введение

Современное промышленное предприятие сталкивается с множеством вызовов, среди которых повышение производительности, снижение издержек, обеспечение высокого уровня качества выпускаемой продукции и минимизация рисков возникновения брака. Эффективное решение этих задач требует комплексного подхода к управлению производственным процессом, включающего мониторинг текущего состояния оборудования, своевременное реагирование на отклонения, эффективное использование ресурсов и принятие обоснованных управленческих решений.

Одним из инструментов, позволяющих достичь указанных целей, являются системы управления производственными процессами (Manufacturing Execution System, MES). Они представляют собой специализированное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации и контроля исполнения производственных заданий непосредственно на уровне цехов и участков.

Целью данного исследования является всестороннее изучение особенностей, функционала и возможностей MES-систем, определение их роли в современной производственной среде, а также выявление проблем и препятствий, возникающих при их внедрении и эксплуатации.

Задачи исследования:

- рассмотреть назначение и основные функциональные модули MES-систем;
- проанализировать преимущества и ограничения использования MES решений;
- определить факторы, влияющие на выбор конкретной MES-платформы;
- провести сравнительную оценку представленных на рынке продуктов и сделать выводы относительно их применимости в российских условиях;
- формализовать критерии отбора и рекомендации по эффективному внедрению и эксплуатации MES-систем.

Объектом исследования выступают системы управления производственными процессами (Manufacturing Execution Systems, MES). MES представляют собой

совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для автоматизации и оптимизации управления производством на уровне цехов и участков. Эти системы служат связующим звеном между ERP-системами верхнего уровня и устройствами нижнего уровня (станки, датчики, исполнительные механизмы), обеспечивая детальный контроль над всеми этапами изготовления продукции [9].

Предметом исследования являются функциональные характеристики, принципы построения, методы внедрения и эксплуатационная практика MES-систем.

Сюда входят:

- структура и архитектура MES;
- состав и функциональность подсистем;
- алгоритмы принятия решений;
- методики интеграции с другими информационными системами предприятия;
- оценка экономической целесообразности внедрения MES;
- опыт российских и зарубежных предприятий по внедрению и эксплуатации MES;
- тенденции развития и перспективы дальнейших исследований в области MES.

Полученная информация будет полезна руководителям промышленных предприятий, специалистам по ИТ-инфраструктуре и консультантам по вопросам организации производства. Результаты исследования позволят компаниям выбрать оптимальное решение для своего бизнеса, обеспечивающее высокую производительность, экономичность и качество выпуска конечной продукции.

1. Роль MES в цифровой трансформации промышленности

Цифровая трансформация промышленности охватывает широкий спектр преобразований, направленных на увеличение эффективности, сокращение издержек и повышение качества продукции. Одним из важнейших инструментов в рамках этой трансформации являются системы управления производственными процессами (MES), играющие центральную роль в обеспечении цифровизации производства.

MES позволяют организациям управлять производственными процессами на всех этапах, от постановки задач до контроля качества. Благодаря этому удается значительно повысить эффективность производства, сократить время на выполнение операций и минимизировать количество ошибок [4].

Использование MES дает возможность получить подробную информацию обо всех аспектах производства: загруженности оборудования, количестве произведенной продукции, затраченных ресурсах и т.д. Это позволяет менеджерам принимать информированные решения и своевременно реагировать на возникающие проблемы.

Одной из основных задач MES является контроль качества продукции на каждом этапе производства. Системы регистрируют любые отклонения от норм, предупреждают о возможных проблемах и помогают предпринимать профилактические меры для предотвращения неисправностей.

Эффективное использование MES позволяет сократить издержки путем оптимизации производственных процессов, уменьшения количества брака и сокращения времени на устранение неполадок. В результате улучшается общая рентабельность предприятия и увеличивается прибыль.

Применение MES способствует повышению уровня автоматизации производства, что позволяет снизить нагрузку на персонал и исключить человеческий фактор. В свою очередь, это ведет к повышению точности выполнения операций и росту производительности.

Использование MES создает дополнительные конкурентные преимущества для предприятий, обеспечивая высокое качество продукции, низкие издержки и быстрое реагирование на изменения рыночных условий. Это позволяет успешно

конкурировать на внутреннем и международном рынках [2].

MES системы играют ключевую роль в концепции «Индустрия 4.0», предоставляя инструменты для сбора и анализа данных в реальном времени, автоматизации процессов и принятия решений на основе объективных данных [6].

2. Определение MES: что это, какова ее роль в архитектуре промышленной автоматизации

Архитектура ISA-95 определяет многоуровневую иерархию управления производством, состоящую из пяти уровней [1]:

1. Уровень поля (Field Level):

Датчики, актюаторы, низковольтное оборудование, обеспечивающее сбор первичных данных о параметрах технологического процесса.

2. Уровень управления процессами (Process Control Level):

SCADA-системы, контроллеры (PLC), регулирующие процессы в реальном времени.

3. Уровень контроля производства (Production Control Level):

Здесь находится MES. MES (Manufacturing Execution System) – это система управления исполнением производственных процессов, используемая на уровне цеха для непосредственного управления производством. MES контролирует и координирует деятельность подразделений предприятия, собирает данные о процессах, обрабатывает их и формирует управляющие сигналы для операторов и оборудования, формирует заказы, ведет учет ресурсов и мониторинг состояния оборудования.

4. Уровень планирования и управления предприятием (Enterprise Planning and Management Level):

ERP-системы, осуществляющие долгосрочное планирование, финансовое управление, управление персоналом и материальными потоками.

5. Уровень предприятия (Enterprise Level):

Верхний уровень управления предприятием, охватывающий стратегическое планирование, управление финансовыми показателями и взаимоотношениями с клиентами.

Таким образом, MES является соединяющим фактором между верхним уровнем управления (ERP, CRM) и нижним уровнем (SCADA, PLC) выполняя промежуточную функцию между управлением предприятием и физическим производством. Ее основной задачей является передача данных о фактическом

положении дел в цехах вверх по вертикали управления, а сигналов сверху – обратно на нижний уровень.

2.1. Отличие MES от ERP, SCADA, PLM и других систем

Система управления производством (MES) часто сравнивается с такими популярными системами, как ERP, SCADA и PLM. Однако каждая из этих систем имеет свою специфику и область применения. Рассмотрим различия между ними подробно [1].

MES и ERP

Основное отличие:

- ERP (Enterprise Resource Planning) фокусируется на планировании и управлении корпоративными ресурсами, включая финансы, закупки, логистику и человеческие ресурсы.
- MES (Manufacturing Execution Systems) ориентирована исключительно на управление производственным процессом, охватывая все стадии от планирования до реализации продукции.

Таблица 2 – Сравнение ERP и MES систем

Характеристика	ERP	MES
Основная цель	Управление предприятием	Управление производством
Данные	Высокий уровень	Низкий и средний уровни
Тип данных	Структурированные	Структурированные и сырые
Примеры	SAP, Oracle E-Business	Suite Siemens Opcenter, Rockwell FactoryTalk Production Centre

MES и SCADA

Основное отличие:

– SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) предназначена для мониторинга и управления промышленными объектами и машинами в реальном времени.

– MES занимается управлением и координацией производства, собирая и обрабатывая данные с SCADA-систем.

Таблица 3 – Сравнение SCADA и MES систем

Характеристика	SCADA	MES
Основная цель	Мониторинг и контроль	Управление производством
Интервал данных	Реальное время	Ближе к режиму реального времени
Уровень детализации	Детализированные данные	Агрегированные данные
Примеры	Wonderware InTouch, GE Proficy HMI/SCADA-iFIX	Siemens Opcenter, Rockwell FactoryTalk Production Centre

MES и PLM

Основное отличие:

– PLM (Product Lifecycle Management) охватывает весь цикл жизни продукта, включая проектирование, разработку, производство и утилизацию.

– MES сосредоточена на конкретных аспектах производства, управляя операциями и обеспечивая соблюдение требований.

Таблица 4 – Сравнение PLM и MES систем

Характеристика	PLM	MES
Основная цель	Жизненный цикл продукта	Производство
Участие работников	Проектировщики, инженеры	Рабочие, операторы
Глобальность	Полный цикл	Ограниченная стадия
Примеры	Siemens Teamcenter, Dassault Systemes CATIA V6	Siemens Opcenter, Rockwell FactoryTalk Production Centre

Помимо перечисленных различий, существуют и другие важные особенности:

- **Интеграция:** MES интегрируется с различными системами, включая ERP, SCADA и PLM, чтобы создать единую экосистему управления производством.

- **Тип данных:** MES собирает детализованные данные о производстве, тогда как ERP больше ориентирован на агрегированную финансовую и административную информацию.

- **Масштабируемость:** MES лучше подходит для крупных предприятий с множеством производственных участков, в то время как ERP может использоваться в компаниях любого размера.

3. Основные функции MES

Организация MESA International выделяет одиннадцать ключевых функций, характерных для систем управления производственными процессами (MES). Каждая из этих функций играет особую роль в обеспечении эффективного функционирования производственных предприятий. Ниже представлены описания этих функций с пояснениями [2].

– **Детальное планирование и диспетчеризация операций (Dispatching Productions Units)**

Планирование и диспетчеризация подразумевают составление расписаний выполнения производственных операций и координацию действий различных служб и отделов. MES распределяет задания по рабочим местам, управляет очередями заданий и контролирует исполнение заданных процедур.

– **Управление ресурсами (Resource Management)**

Эта функция связана с определением и организацией ресурсов, используемых в производстве, таких как сырье, полуфабрикаты, комплектующие изделия, рабочая сила, станки и другое оборудование. MES осуществляет инвентаризацию, регистрацию и учет ресурсов, следит за состоянием запасов и помогает планировать потребность в ресурсах.

– **Диспетчеризация производственных заданий (Product Tracking and Genealogy)**

Этот компонент направлен на идентификацию и отслеживание продукции на протяжении всего производственного цикла. Система фиксирует происхождение компонентов, историю обработки деталей и сборки узлов, формируя генеалогическое дерево продукта. Такая информация важна для гарантийного обслуживания и выявления потенциальных проблем.

– **Управление документооборотом (Document Control)**

Управление документооборотом включает в себя работу с регламентирующими документами, техническими картами, рабочими инструкциями и прочими материалами, необходимыми для нормального протекания производственного процесса. MES хранит, распространяет и обновляет эти документы, обеспечивая

легкий доступ к ним и поддержание их актуальности.

– **Сбор и хранение данных в реальном времени (Real-time data collection)**

Сбор данных в режиме реального времени является одним из ключевых аспектов современных систем управления производством (MES). Этот процесс обеспечивает непрерывный поток информации о состоянии производственных процессов, оборудовании и персонале, что позволяет оперативно реагировать на изменения и улучшать эффективность производства [4].

– **Управление трудовыми ресурсами. (Labor Management)**

Управление производственными единицами относится к организации и контролю деятельности персонала. Включает задачи распределения рабочих мест, учета отработанного времени, начисления заработной платы и мотивации работников.

– **Управление качеством продукции (Quality Assurance)**

Управление качеством продукции нацелено на контроль соответствия продукции установленным стандартам и требованиям. MES проверяет продукцию на наличие дефектов, анализирует полученные данные и инициирует соответствующие действия по исправлению обнаруженных недостатков.

– **Управление производственными процессами (Production order management)**

Управление производственными процессами является ключевой функцией системы управления производством (MES). Эта система позволяет эффективно управлять всеми этапами производственного процесса, начиная от планирования и заканчивая контролем исполнения заказов.

– **Техническое обслуживание и ремонт (Maintenance Management)**

Функция технического обслуживания и ремонта занимается поддержанием технического состояния производственного оборудования. MES планирует техническое обслуживание, диагностирует неисправности и предотвращает аварийные остановки.

– **Отслеживание продукции и генеалогия (Product tracking)**

Это процесс мониторинга и регистрации информации о движении изделий, полуфабрикатов и компонентов через производственные процессы. Цель состоит в обеспечении полной видимости и управляемости каждым этапом производства.

– **Анализ производительности (Performance Analysis)**

Количественный учет сосредоточен на измерении и анализе производительности оборудования и рабочей силы. Этот элемент помогает оценить эффективность работы и выявить потенциальные резервы повышения производительности.

4. Рынок MES-систем

4.1. Зарубежные MES-системы

Сегодня рынок MES-систем представлен широким спектром зарубежных решений, каждый из которых обладает своей уникальной специализацией и возможностями. Рассмотрим некоторые из наиболее популярных и известных систем [6].

Siemens Opcenter (ранее *Siemens Manufacturing Operations Management*) является одной из лидирующих платформ на мировом рынке MES. Она предлагает комплексные решения для управления производственными процессами, включая планирование, диспетчеризацию, мониторинг и анализ производительности.

Преимущества:

- высокая степень готовности к интеграции с инженерными системами (PLC, HMI);
- возможность настройки под разные отрасли промышленности;
- широкий спектр функциональных модулей (управление ресурсами, выполнение заказов, поддержка качества).

Недостатки:

- достаточно высокая стоимость лицензий и сопровождения;
- требует значительных вычислительных мощностей;
- нуждается в высококвалифицированном персонале для обслуживания.

Rockwell Automation's FactoryTalk ProductionCentre известна своим интегрированным решением *FactoryTalk ProductionCentre*, предназначенным для управления производительностью и обеспечением качества продукции. Данная система поддерживает автоматизацию производственного процесса и позволяет осуществлять интеграцию с различными устройствами и технологиями.

Преимущества:

- простота установки и конфигурирования;
- хорошее соотношение цена-качество;
- наличие широкого спектра специализированных модулей.

Недостатки:

- ограниченность функциональных возможностей по сравнению с аналогичными решениями конкурентов;
- нет полной поддержки русского языка интерфейса.

ABB Ability Genix Manufacturing Execution System представляет собой мощную платформу для управления производством, основанную на передовых технологиях цифровой трансформации. Она способна обрабатывать большие объемы данных и анализировать их в режиме реального времени.

Преимущества:

- современные алгоритмы предиктивной аналитики;
- возможность интеграции с облачными сервисами и IoT-технологиями;
- удобный интерфейс для взаимодействия операторов и инженеров.

Недостатки:

- стоимость внедрения;
- необходимость квалифицированного персонала;
- продолжительность внедрения;
- ограниченная кастомизация;
- зависимость от стабильности сети.

AspenTech предлагает решение под названием *aspenONE MES*, специально разработанное для химической и нефтехимической промышленности. Данная система помогает контролировать технологические процессы, минимизировать потери и повышать качество продукции.

Преимущества:

- комплексные инструменты для управления химическими реакторами и установками;
- средства оптимизации технологических режимов;
- модули для анализа производительности и устойчивости производств.

Недостатки:

- высокая стоимость лицензирования и внедрения;

- требует высококвалифицированных специалистов;
- сложность настройки и адаптации;
- перегруженность функционалом;
- проблемы совместимости;
- медленная реакция на изменения;
- ограниченный функционал для некоторых отраслей;
- трудности с миграцией данных.

Schneider Electric представил свою собственную платформу *EcoStruxure Plant*, нацеленную на улучшение энергоэффективности и снижение углеродного следа промышленных предприятий. Помимо традиционных функций MES, эта система также направлена на экологичность и устойчивое развитие.

Преимущества:

- способность масштабироваться от небольших установок до крупных заводов;
- совместимость с большинством типов оборудования и систем автоматизации;
- аналитические модули для устойчивого развития и уменьшения выбросов CO₂.

Недостатки:

- высокие начальные инвестиции;
- требования к инфраструктуре;
- сложность интеграции с унаследованными системами;
- время внедрения;
- нуждаются в обучении работников;
- риск нарушения конфиденциальности данных;
- повышенные требования к обслуживанию;
- огромный объем данных.

Honeywell MES (или Experion Orion) – это комплексное решение для управления производственными процессами, предлагаемое американской

корпорацией Honeywell International Inc. Honeywell MES используется в различных отраслях, включая нефтегазовую промышленность, химические заводы, фармацевтику и пищевую промышленность [1].

Преимущества:

- единая платформа для всей цепочки поставок;
- повышенная прозрачность процессов;
- прогрессивные инструменты аналитики;
- реакция на события в реальном времени;
- масштабируемость;
- соответствие международным стандартам;
- простота внедрения и сопровождения.

Недостатки:

- высокая стоимость владения;
- требует квалифицированный персонал;
- ограниченное число стандартных конфигураций;
- зависимость от оборудования Honeywell;
- технические сложности интеграции;
- потенциальные риски сбоя.

Wonderware Intelligence – это продукт французской фирмы Schneider Electric предназначен для малых и средних предприятий. Отличительная особенность – простота внедрения и низкая стоимость владения.

Преимущества:

- удобный интерфейс, интуитивно понятный большинству пользователей;
- быстрая установка и настройка системы;
- доступность для небольших предприятий.

Недостатки:

- недостаточно развитые средства анализа данных и отчетности;
- ограниченный набор встроенных функций для продвинутых нужд.

Emerson Ovation Workstation – система американского производителя Emerson Process Management применяется главным образом в нефтегазовом секторе и химической промышленности. Решение характеризуется высоким уровнем надежности и устойчивости к внешним воздействиям.

Преимущества:

- надежность и стабильность работы даже в экстремальных условиях;
- глубокая интеграция с оборудованием собственной марки;
- высокий уровень защищенности данных.

Недостатки:

- дороговизна развертывания и эксплуатации;
- специализация на ограниченном числе отраслей.

Lantek MES. Испанская компания Lantek предлагает свое решение, рассчитанное на металлообрабатывающие предприятия и автомобилестроительные компании. Продукт нацелен на максимальную адаптацию под запросы клиента.

Преимущества:

- гибкость и открытость архитектуры;
- настройка под специфику заказчика;
- полноценная интеграция с САМ/САD системами.

Недостатки:

- затраты на доработку под требования отдельных клиентов;
- нехватка русскоязычного сообщества поддержки.

APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator) была разработана группой ученых из Австралии, преимущественно работниками CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). Модель активно поддерживается международным сообществом исследователей и используется в разных странах мира, включая Россию.

Особенности APSIM:

- моделирование динамики почвенных ресурсов, включая азот, фосфор, воду и углерод;

- оценка влияния климата на рост растений и урожайность основных зерновых и масличных культур;
- возможность учета взаимодействия факторов окружающей среды, таких как осадки, температура воздуха, солнечная радиация и удобрения;
- поддержка широкого спектра типов почв и сортов сельскохозяйственных культур;
- возможности анализа риска и неопределенности в сельском хозяйстве путем многократного моделирования.

Преимущества:

- высокая точность предсказания урожайности и эффективности аграрных технологий благодаря интегрированным научным данным;
- инструмент для принятия решений фермерами, сельскохозяйственными консультантами и учеными, позволяющий выбрать оптимальные стратегии земледелия;
- широкий спектр применимости: от локальных хозяйств до крупных региональных исследований;
- обеспечивает понимание долгосрочных последствий изменения климата и позволяет планировать адаптацию сельского хозяйства.

Недостатки:

- требует значительного объема исходных данных для точного моделирования, что затрудняет использование в регионах с недостаточной доступностью информации;
- сложность настройки и интерпретации результатов требует специальной подготовки пользователей;
- ограниченность модели в представлении сложных взаимодействий экосистем, таких как влияние вредителей и болезней;
- необходимость регулярной калибровки и обновления моделей для поддержания точности расчетов.

Система DeltaV разработана американской компанией Emerson

Electric Co., расположенной в городе Сент-Луис, штат Миссури, США. Эта система представляет собой распределенную систему управления технологическими процессами (Distributed Control System, DCS), широко используемую в промышленности для автоматизации производственных процессов.

Основные особенности DeltaV:

- модульная архитектура: Гибкая структура системы позволяет легко расширять функциональность и адаптироваться к изменениям технологического процесса;
- интеграция с различными устройствами: совместима с широким спектром оборудования и датчиков, обеспечивая интеграцию всех компонентов производственной линии;
- безопасность и надежность: система обеспечивает высокий уровень защиты от сбоев и ошибок, поддерживает резервирование критически важных элементов;
- поддержка современных стандартов связи: использует протоколы Ethernet/IP, Modbus TCP, OPC UA для передачи данных;
- возможности аналитики и диагностики: включает инструменты для сбора и обработки данных, позволяющие выявлять проблемы и улучшать производительность производства.

Преимущества:

- повышение производительности предприятия за счёт точной настройки и автоматического управления производственным процессом;
- уменьшение затрат на обслуживание и ремонт благодаря встроенным средствам диагностики и предупреждения неисправностей;
- увеличение качества продукции и снижение количества брака путём точного соблюдения технологических режимов;
- простота интеграции новых устройств и модулей, упрощающая модернизацию производства;
- надежность и стабильность работы даже в условиях повышенной нагрузки и экстремальных условий эксплуатации.

Недостатки:

- высокие первоначальные затраты на приобретение и внедрение системы;
- необходимость наличия квалифицированного персонала для обслуживания и программирования контроллеров;
- сложность освоения и конфигурирования системы для неподготовленных работников;
- отсутствие полной локализации интерфейса и документации на русский язык (хотя частично переведённые версии существуют);
- ограниченный выбор специализированных инструментов для специфичных отраслей промышленности.

SIMATIC PCS 7 разработана немецкой компанией Siemens AG, штаб-квартира которой находится в Мюнхене, Германия. Это одна из лидирующих систем управления промышленными процессами, использующая модульную структуру и современные технологии автоматизации.

Основные характеристики SIMATIC PCS 7:

- модульная конструкция: состоит из отдельных блоков, позволяющих гибко настраивать конфигурацию системы в зависимости от потребностей конкретного проекта;
- централизованное управление: интеграция множества приборов и механизмов в единую централизованную систему управления;
- масштабируемость: поддержка расширения функционала системы за счет добавления новых модулей и функций;
- совместимость с разными системами: возможность интеграции с другим оборудованием и ПО сторонних производителей;
- высокая степень отказоустойчивости: наличие встроенных функций резервирования и дублирования ключевых узлов.

Преимущества:

- удобство проектирования и настройка системы с использованием стандартных инструментальных средств;

- высокая безопасность и защита данных, обеспечивающие стабильную работу в течение длительного периода;
- мощные средства визуализации процессов позволяют оператору быстро реагировать на возникающие ситуации;
- наличие обширной базы технической документации и поддерживающей инфраструктуры производителя;
- использование передовых сетевых протоколов и шин данных для быстрой передачи сигналов и команд.

Недостатки:

- стоимость приобретения и внедрения достаточно высока, особенно для небольших производств;
- необходимо привлечение высококвалифицированных инженеров для настройки и сопровождения системы;
- интерфейс программы ориентирован на профессионалов, что усложняет обучение новичков;
- из-за большой популярности системы существует риск атак хакеров и злоумышленников, пытающихся проникнуть в инфраструктуру предприятия;
- периодическое обновление программного обеспечения и лицензий может вызывать дополнительные расходы.

PI System разработан американской компанией OSIsoft LLC, основанной в Калифорнии, США. Компания специализируется на разработке и внедрении решений для промышленного Интернета вещей (IIoT) и управления активами, собирая и обрабатывая большие объемы данных с промышленных объектов [1].

Основные особенности PI System:

- сбор и хранение данных реального времени: быстрое получение и обработка потоков данных с датчиков, оборудования и машин;
- расширяемость и масштабируемость: возможность подключения большого числа устройств и точек измерения, быстрое увеличение емкости хранилища данных;

- высокоскоростная аналитика: анализ больших объемов исторических и текущих данных для выявления тенденций и аномалий;
- автоматизация бизнес-процессов: интеграция с ERP-системами и другими корпоративными приложениями для оперативного реагирования на события [2];
- обеспечение надежности и доступности: резервирование серверов и каналов связи гарантирует бесперебойную работу системы.

Преимущества:

- эффективное управление операциями и повышение производительности за счет детального анализа данных;
- улучшение экологической устойчивости и сокращение выбросов вредных веществ посредством оптимизации энергопотребления;
- прогнозирование поломок и предотвращение аварий благодаря своевременному обнаружению проблем;
- минимизация рисков и улучшение безопасности за счет постоянного мониторинга состояния оборудования;
- подтверждение соответствия требованиям регуляторов и стандартов благодаря наличию документированной истории операций.

Недостатки:

- значительные начальные инвестиции на покупку лицензии и аппаратуры для развертывания системы;
- необходимость найма квалифицированных специалистов для установки, настройки и администрирования;
- ограниченное количество локализованных версий интерфейса и руководства для русскоязычных пользователей;
- большие требования к пропускной способности сети и вычислительным ресурсам сервера;
- сложность перехода на новую версию продукта из-за возможных изменений архитектуры и API.

4.2. Отечественные MES-системы

Отечественные MES-системы занимают важное место на российском рынке, предлагая пользователям надежные и функциональные решения для управления производственными процессами. Эти системы разрабатываются с учетом специфики российских предприятий и обладают преимуществами, такими как высокая локализация и простота интеграции с имеющейся инфраструктурой.

Ниже приведен список некоторых отечественных MES-систем с описанием их основных функций и областей применения.

Промобит MES

Разработчик: ЦТУ («Цифровые Технологии Управления»).

Промобит MES – универсальная система управления производством, поддерживающая полный цикл планирования, диспетчеризации и контроля производственных процессов. Подходит для средних и крупных предприятий различных отраслей промышленности, включая металлургию, машиностроение, энергетику и нефтепереработку.

Особенности:

- подготовка и реализация производственных расписаний;
- диспетчеризация производства с учетом ограничений и приоритетов;
- сбор и обработка данных о ходе производства;
- аналитика и формирование отчетности.

Преимущества:

- высокая гибкость и настраиваемость;
- интеграция с другими системами;
- комплексный подход к управлению;
- экономическая выгода;
- хорошее техническое сопровождение;
- интуитивный интерфейс;
- работа с мобильными устройствами.

Применение: используется на предприятиях металлургии, машиностроения, химии и других секторах.

ИНТЕГРАЛ-MES

Разработчик: ООО «Динамика-Софт».

ИНТЕГРАЛ-MES – специализированная система управления производством, предназначенная для малых и средних предприятий. Поддерживает ведение документации, сбор данных о потребляемых ресурсах и формирование оперативной отчетности.

Особенности:

- гибкое конфигурирование под требования заказчика;
- интеграция с другими информационными системами предприятия;
- простота установки и освоения персоналом.

Преимущества:

- легкая интеграция с существующими системами;
- широкий охват функций;
- гибкость и настраиваемость;
- развитие отечественной промышленной экосистемы;
- регулярное обновление и поддержка;
- интуитивный интерфейс;
- развертывание в облаке или на собственной инфраструктуре.

Применение: применяется в строительстве, деревообработке, пищевой промышленности и других сферах.

Astra-LUX

Разработчик: ЗАО «Инфософт».

Astra-LUX – комплексная система автоматизации управления производственными процессами, направленная на увеличение эффективности и сокращение издержек. Ориентирована на крупные и средние предприятия, работающие в разных отраслях.

Особенности:

- управление материальными запасами и сырьем;
- анализ эффективности оборудования и рабочих процессов;

- инструментальное средство для построения моделей бизнес-процессов.

Преимущества:

- гибкость и расширяемость;
- интеграция с разными системами;
- комплексный подход;
- экономическая выгодность;
- постоянная поддержка и развитие;
- поддержка мобильных устройств;
- программная независимость.

Применение: широко распространена в металлообрабатывающей, автомобильной и энергетической отраслях.

ProPlan

Разработчик: НПП «ИнтерФейс».

ProPlan – современная система управления производственными процессами, применяемая на предприятиях различных направлений. Она помогает планировать, координировать и контролировать работу подразделений и отдельных исполнителей.

Особенности:

- генерация календарно-ресурсных планов;
- расчет оптимальной очередности выполнения заказов;
- организация связи между подразделениями и руководителями.

Преимущества:

- гибкость и настраиваемость;
- комплексное покрытие этапов производства;
- возможность интеграции с другими системами;
- минимальная цена внедрения;
- собственная русскоязычная документация и поддержка;
- активная служба поддержки;
- адаптируемость под малые и средние предприятия.

Применение: используются на предприятиях легкой промышленности,

мебельного производства, сельского хозяйства и строительства.

СПРУТ-Управление производством

Разработчик: ОАО «СПРУТ-Технология».

СПРУТ-Управление производством – это система автоматизации производства, которая позволяет вести учет материальных потоков, управлять оборудованием и персоналом, а также анализировать финансовые показатели предприятия.

Особенности:

- интерактивные панели для руководства и работников;
- формирование подробных отчетов о производительности;
- механизмы предупреждения критических ситуаций.

Преимущества:

- комплексный подход;
- интеграция с другими системами;
- экономичность;
- гибкость и адаптируемость;
- быстрота внедрения;
- русский интерфейс и документация;
- профессиональная поддержка;
- открытость системы.

Применение: часто встречается в строительных организациях, пищевой индустрии и металлургическом секторе.

1С:Управление производством

Разработчик: ООО «1С».

1С:Управление производством – базируется на платформе «1С:Предприятие», которая является основой большинства решений компании. Платформа регулярно обновляется и развивается, обеспечивая стабильную работу приложений и интеграцию с другими компонентами информационной среды предприятия.

Применение:

- металлургические и машиностроительные предприятия: автоматизация планирования производства, учета материалов, контроля качества и управления ремонтами оборудования;
- пищевая промышленность: управление рецептурой, контролем качества, соблюдением санитарных норм и сертификацией продукции;
- строительная индустрия: управление строительными проектами, закупками стройматериалов, контролем сроков и бюджетов;
- химическая и фармацевтическая промышленность: автоматизация процессов смешивания, дозировки, упаковки, сертификации и хранения продукции.

Преимущества:

- универсальность и широкая сфера применения;
- глубокая интеграция с бухгалтерскими и финансовыми системами;
- доступность и удобство внедрения;
- цена и экономичность;
- многоуровневая аналитика;
- поддержка удаленной работы;
- официальная поддержка и обновления.

4.3. Сравнение зарубежных и отечественных MES-систем

Задача выбора правильной системы управления производством (MES) становится все более сложной ввиду широкого спектра предложенных решений. Особенно остро встает вопрос сравнения зарубежных и отечественных систем, каждая из которых имеет свои сильные стороны и ограничения. Ниже мы проведем сравнительный анализ, основываясь на ряде критериев [6].

Мы будем сравнивать системы по следующим основным критериям:

- функциональность;
- цена и доступность;
- поддержка и интеграция;
- пользовательский интерфейс;
- безопасность и надежность.

Функциональность

Управление производственным процессом

Зарубежные системы

Наиболее известные зарубежные решения (например, SAP Manufacturing Execution, Oracle Process Manufacturing, Siemens Simatic IT, Wonderware Intouch) характеризуются глубокой интеграцией с оборудованием, мощными инструментами аналитики и детальным контролем каждого этапа производства. Такие системы позволяют получать точные данные о ходе производства, оперативно реагировать на отклонения и повышать общую эффективность производства [4].

Отечественные системы

Например, «ФОРС-МЕС», «Концерн Росатом» и решения от ГК «Ай-Теко» отличаются меньшей глубиной интеграции с зарубежным оборудованием и ограниченностью в части инструментов прогнозирования и аналитики. Тем не менее, многие российские MES успешно применяются на предприятиях среднего размера и решают стандартные задачи мониторинга и отчетности.

Анализ данных и принятие решений

Зарубежные системы

Большинством зарубежных решений обеспечивается глубокий анализ

производственной активности с использованием машинного обучения и Big Data. Так, системы от Honeywell и Schneider Electric активно применяют цифровые модели и предиктивную аналитику для предсказания сбоев и сокращения отходов.

Отечественные системы

Пока лишь отдельные российские продукты начинают осваивать подобные методики. Например, компания «Аэродиск» разрабатывает модуль прогнозирующей аналитики, который постепенно внедряется на некоторых предприятиях.

Гибкость настроек и масштабируемость

Зарубежные системы

Их отличает высокая степень настраиваемости и возможность адаптации под любые типы производства, будь то машиностроение, фармацевтика или пищевая промышленность. Например, продукция от компании GE Digital (Proficy Software) позволяет быстро менять конфигурацию в зависимости от бизнес-процессов заказчика.

Отечественные системы

Несмотря на прогресс последних лет, многие российские MES по-прежнему ориентируются на узкий круг отраслей и предъявляют повышенные требования к квалификации персонала при установке и сопровождении.

Контроль качества продукции

Зарубежные системы

Лидирующие западные решения, такие как Profit Plus и BatchMaster, включают мощные модули по контролю качества и поддержке международных стандартов качества (ISO, FDA и др.). Пользователи получают подробную статистику по качеству изделий, причины отклонений и рекомендации по улучшению.

Отечественные системы

Некоторые российские решения («Динамика-Софт») содержат элементы контроля качества, но редко сопоставимы по полноте инструментария с ведущими мировыми системами.

Управление складскими запасами и материальными потоками

Зарубежные системы

Классические решения вроде IFS Applications и Syspro охватывают весь цикл движения материалов и полуфабрикатов от закупки сырья до отгрузки готовой продукции, обеспечивая оптимальный баланс запасов и минимизацию рисков дефицита.

Отечественные системы

Ряд отечественных MES (например «Вектор-Интех») не являются полноценными системами управления складом и сосредоточены в большей степени на мониторинге основных производственных этапов.

Цена и доступность.

Стоимость приобретения и владения

Зарубежные MES-системы

- Стоимость покупки: Высокая начальная стоимость, особенно для известных брендов, таких как SAP Manufacturing Execution (\$100 тыс.-\$1 млн и выше), Siemens SIMATIC IT (\$50 тыс.-\$500 тыс.) и другие крупные поставщики.
- Обслуживание и обновление: Годовая подписка и лицензионные сборы значительно увеличивают итоговую стоимость. Ежегодные расходы на поддержку могут составлять около 15%-20% от начальной стоимости.
- Дополнительные услуги: для эффективной работы часто требуются дополнительные услуги консультантов, что увеличивает общие затраты.

Отечественные MES-системы

- Стоимость покупки: Российские решения существенно дешевле, начиная от десятков тысяч рублей до нескольких миллионов рублей. Например, «Форс-МЭС» от ГК Форс имеет ценники порядка нескольких сотен тысяч рублей, тогда как комплексы уровня «Энергоуправление» или «Техносерв» находятся примерно в той же ценовой категории.
- Обслуживание и обновление: поддержка и обновления обычно обходятся дешевле, поскольку внутренние разработчики располагают доступной информацией о продукте и отсутствуют санкции и прочие политические факторы.

– Минимальные дополнительные расходы: консультации и обучение могут потребовать сравнительно небольших вложений.

Доступность и простота установки

Зарубежные MES-системы

– Установка: может занять значительное время и потребовать специализированных навыков и знания английского языка.

– Масштабируемость: расширение функционала возможно, но связано с дополнительными расходами и длительным временем настройки.

– Технические специалисты: нужны работники с опытом работы с подобными системами, что усложняет процесс внедрения.

Отечественные MES-системы

– Установка: установка и запуск проходят быстрее и проще, благодаря наличию русскоязычной документации и широкой сети партнёров-разработчиков.

– Масштабируемость: поскольку системы разработаны под местные условия, расширение функционала доступно с небольшими трудностями.

– Специалисты: настройка и использование производятся местными специалистами, что снижает зависимость от внешних сервисов.

Поддержка и интеграция

Качество технической поддержки

Зарубежные MES-системы

– Преимущества: многолетний опыт работы с международными заказчиками, четкие инструкции и обучающие материалы на разных языках, специализированные команды поддержки по всему миру.

– Недостатки: задержки в реагировании из-за разницы во временных поясах, необходимость знания английского языка для обращения в службу поддержки, возможные проблемы с удалённым доступом из-за санкций.

Отечественные MES-системы

– Преимущества: близость технических специалистов, быстрое реагирование на запросы заказчиков, отсутствие языкового барьера, своевременная реакция на жалобы и вопросы пользователей.

– Недостатки: ограниченность знаний специалистов по работе с иностранным оборудованием, возможное отставание в развитии методологии диагностики и устранения неисправностей.

Возможности интеграции

Зарубежные MES-системы

– Преимущества: хорошая поддержка стандартных протоколов передачи данных (OPC, Modbus, Ethernet/IP и др.), широкая база устройств и датчиков, готовых к интеграции.

– Недостатки: могут возникать проблемы с интеграцией с российским оборудованием, нестандартными устройствами или уникальными условиями российских предприятий.

Отечественные MES-системы

– Преимущества: лучшие показатели интеграции с российским оборудованием и аппаратурой, минимальная задержка при взаимодействии с оборудованием.

– Недостатки: малый ассортимент готового оборудования, недостаток поддержки старых моделей техники, сложность модернизации оборудования.

Пользовательский интерфейс

Удобство навигации

Зарубежные MES-системы

– Преимущества: яркие и интуитивные дизайны, удобная структура меню, легкость переключения между модулями и страницами.

– Недостатки: интерфейс может показаться перегруженным для неподготовленных пользователей, особенно при первом знакомстве.

Отечественные MES-системы

– Преимущества: понятная русская терминология, простая навигация, дружелюбность интерфейса для новичков.

– Недостатки: некоторые интерфейсы выглядят устаревшими, не всегда предусмотрены современные инструменты фильтрации и сортировки данных.

Графическое представление данных

Зарубежные MES-системы

- Преимущества: использование инновационных подходов к визуализации данных (графики, диаграммы, тепловые карты), поддержка трёхмерных представлений объектов.
- Недостатки: графики и отчёты могут содержать большое количество лишней информации, затрудняющей восприятие данных.

Отечественные MES-системы

- Преимущества: традиционное представление данных, простой дизайн графиков и таблиц, лёгкость восприятия основной информации.
- Недостатки: недостаток современной графики и динамики отображения данных, нехватка трехмерных визуализаций.

Автоматизация ввода данных

Зарубежные MES-системы

- Преимущества: автоматическое заполнение полей, распознавание форм и шаблонов документов, минимум ручной работы.
- Недостатки: возможны случаи некорректного распознавания или заполнения данных, что создаёт дополнительную нагрузку на проверку результатов.

Отечественные MES-системы

- Преимущества: простой ввод данных вручную, минимальное количество необходимых шагов для внесения информации.
- Недостатки: невысокий уровень автоматизации, значительная доля рутинной работы остаётся на операторе.

Поддержка мобильных устройств

Зарубежные MES-системы

- Преимущества: полноценная мобильная версия, удобный доступ к необходимой информации прямо с мобильного устройства.

– Недостатки: возможно снижение производительности приложений на мобильных устройствах из-за большой нагрузки на серверы.

Отечественные MES-системы

– Преимущества: грамотно спроектированные мобильные приложения, позволяющие оператору быстро проверить статус заказа или смены.

– Недостатки: ограниченная функциональность мобильных версий, невозможность полноценной работы с системой исключительно через мобильное устройство.

Безопасность и надежность

Зарубежные MES системы

Преимущества:

– Широкий международный опыт: зарубежные решения применяются в разных странах мира, проходят проверку временем и получают обратную связь от крупных компаний.

– Высокая степень интеграции: большинство западных решений поддерживают широкий спектр оборудования и ПО, что упрощает внедрение и масштабирование проектов.

– Постоянные обновления и поддержка: крупные международные компании регулярно обновляют свои продукты, обеспечивая высокий уровень защиты и исправления уязвимостей.

Недостатки:

– Стоимость лицензирования: лицензии на использование часто дороже аналогичных отечественных аналогов.

– Зависимость от поддержки извне: отсутствие локализованной службы поддержки может привести к задержкам в устранении проблем и снижению уровня обслуживания.

– Проблемы с совместимостью локального российского оборудования: некоторые российские предприятия используют оборудование отечественного производства, которое может плохо интегрироваться с зарубежными системами.

Преимущества:

- Соответствие российским стандартам и требованиям кибербезопасности: отечественные разработки лучше интегрируются с государственным регулированием и стандартами информационной безопасности.
- Поддержка и адаптация под нужды конкретного заказчика: многие российские производители предлагают индивидуальные настройки и поддержку пользователей непосредственно внутри страны.
- Цена: стоимость внедрения и эксплуатации ниже, особенно при больших объемах внедрения и долгосрочных проектах.

Недостатки:

- Отсутствие глобальных стандартов: менее распространённые за пределами России, ограниченная база примеров успешного внедрения за рубежом.
- Нуждаются в развитии инфраструктуры поддержки: инфраструктура локализации многих продуктов ещё недостаточно развита, иногда требует дополнительного тестирования перед внедрением.

5. Успешные кейсы внедрения MES-систем на промышленных предприятиях

Внедрение системы управления производством (MES) – это серьезный шаг, который может радикально изменить работу предприятия. Рассмотрим примеры успешных и неудачных внедрений, чтобы извлечь уроки и избежать ошибок [4].

Успешные внедрения

Автомобильный завод Hyundai Motor Company

Hyundai успешно внедрила MES-систему на своем заводе в Южной Корее. Благодаря новой системе удалось:

- повысить производительность на 15%;
- снизить количество брака на 20%;
- упростить контроль качества и уменьшить время проверки продукции.

Этот успех стал возможным благодаря тщательной подготовке, внимательному изучению бизнес-процессов и сотрудничеству с поставщиком MES.

Фармацевтическое предприятие GlaxoSmithKline

GlaxoSmithKline внедрила MES-систему на своем заводе в Ирландии. В результате:

- сокращено время простоя оборудования на 10%;
- повышена точность выполнения производственных заданий;
- существенно сокращены затраты на контроль качества.

Главная причина успеха – тесное взаимодействие работников предприятия и поставщика MES, тщательное тестирование и постепенное введение системы.

АвтоВАЗ (Российское автомобильное производство)

АвтоВАЗ столкнулся с проблемой низкого уровня прозрачности производственных процессов, нехватки актуальной информации о состоянии оборудования и дефицитом данных о причинах брака. Компания приняла решение внедрить MES-систему Siemens Opcenter Manufacturing Execution.

Результат:

- улучшены процессы управления качеством;
- уменьшились случаи бракованной продукции;
- сократилось время реакции на сбои оборудования;

- показатели производительности выросли примерно на 15%;
- снизилась себестоимость продукции.

ПАО «Северсталь» (Россия, металлургия)

Крупнейший вертикально-интегрированный металлургический и горнодобывающий холдинг. В условиях санкционного давления и необходимости повышения операционной эффективности предприятие реализует стратегию поэтапной цифровизации производственных переделов [24].

ПАО «Северсталь» применяет двухкомпонентную стратегию: использование зарубежной системы Danielli QMet на отдельных участках параллельно с активным внедрением и масштабированием собственной MES-системы «Металлургия».

Достигнутые эффекты:

- повышение общей эффективности оборудования (ОЕЕ);
- сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа;
- снижение процента брака и улучшение качества продукции;
- снижение затрат на энергоресурсы и материалы;
- повышение прозрачности управленческой отчетности.

Создание собственной MES обеспечило независимость от иностранных вендоров и возможность гибкой донастройки системы под специфику технологических процессов.

Система интегрирована с ERP, APS, LIMS и SCADA/ИIoT, формируя единую цифровую экосистему предприятия.

АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» (АО «ОДК»)

На предприятиях корпорации, занятых в двигателестроении, используется гибридный подход: применяются отдельные функциональные модули, аналогичные MES, в составе системы собственной разработки, интегрированной с АИС «Диспетчер». Это решение охватывает планирование и диспетчеризацию производства, мониторинг процессов, интеграцию с ERP, оптимизацию загрузки оборудования. Система внедрена на всех цехах производственного комплекса в разном объеме модулей, что подтверждает масштабируемость подхода и возможность поэтапной цифровизации крупных машиностроительных холдингов.

Достигнутые эффекты:

Внедрение собственных разработок позволило АО «ОДК» добиться ряда ключевых результатов:

- повышение общей эффективности оборудования (ОЕЕ);
- сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа;
- повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности;
- повышение точности планирования и выполнения планов;
- сокращение бумажного документооборота.

Руководство корпорации оценивает вклад MES в цифровую трансформацию предприятия на 3 балла по 5-балльной шкале, что свидетельствует о значительном потенциале системы.

ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»

На предприятии, занятого в титановой промышленности, используется MES. Это решение охватывает планирование и диспетчеризацию производства, мониторинг и отслеживание производственного процесса, управление качеством продукции, интеграцию с ERP-системами, поддержку технической документации, оптимизацию загрузки оборудования, аналитический модуль [24].

Достигнутые эффекты:

Внедрение собственных разработок позволило ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» добиться следующих ключевых результатов:

- повышение общей эффективности оборудования;
- сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа;
- сокращение бумажного документооборота.

Предприятие на этапе внедрения MES-системы столкнулось со следующими **трудностями:**

- сопротивление изменениям со стороны производственного персонала;
- нехватка внутренних ИТ-специалистов и экспертов в предметной области.

На этапе эксплуатации и развития MES-системы столкнулось с недостаточным качеством или неполнотой вводимых данных.

Также отмечается, что от 10 до 30% работников прошло специальное обучение работе с системой MES. Менее 25% работников компании готовы приступить к работе с новой системой.

Основные причины негативного отношения работников к новому проекту внедрения MES:

- опасения увеличения объема работы и стресса;
- низкая мотивация и вознаграждение за адаптацию к новой системе.

По нормативно-справочной информации отмечается следующее:

- справочники покрывают большую часть деятельности (более 80%);
- регулярное обновление нормативно-справочных данных проводится систематически вручную.

По сбору и точности данных:

- автоматизированный сбор данных о состоянии технологического оборудования и уровне запасов сырья проводится выборочно на критичных участках;
- учет простоев оборудования на производстве регистрируется вручную работниками цехов;
- мониторинг показателей производительности и эффективности основных операций производства производится периодически, но реакция на отклонения замедленная;
- система построена таким образом, что каждый участник ответственен за точность данных, поступающих в информационные системы предприятия;
- применяется случайная проверка точности лишь некоторых данных.

По бюджету на внедрение отмечается:

- бюджет более 10 млн рублей предполагался на внедрение MES-системы;
- превышения запланированного финансирования на этапе внедрения не было, всё уложилось в рамки бюджета;
- более 1 млн рублей предприятие несет ежегодно на поддержку и эксплуатацию MES-системы;
- перерасходы вызваны непредвиденными техническими трудностями;

– от 3 до 5 лет после начала эксплуатации предприятие достигло точки самоокупаемости инвестиций в MES-систему.

Благодаря внедрению MES-системы предприятие достигло следующих **экономических эффектов**:

- сокращены издержки на производство;
- повышен контроль качества выпускаемой продукции.

АО «Концерн «Калашников»

На предприятии, занятого в отрасли оборонно-промышленного комплекса (ОПК), используется MES. Это решение охватывает планирование и диспетчеризацию производства, мониторинг и отслеживание производственного процесса, интеграцию с ERP-системами, оптимизацию загрузки оборудования, аналитический модуль [24].

Внедрение собственных разработок позволило АО «Концерн «Калашников» добиться повышения прозрачности и оперативности управленческой отчетности.

Предприятие на этапе внедрения MES-системы столкнулось со следующими **трудностями**:

- сопротивление изменениям со стороны производственного персонала;
- нехватка внутренних ИТ-специалистов и экспертов в предметной области;
- недостаточная зрелость и цифровизация базовых процессов;
- сложность и длительность процесса сбора и формализации требований;
- проблемы с интеграцией MES с другими системами;
- другие трудности.

Предприятие на этапе эксплуатации и развития MES-системы столкнулось с недостаточным качеством или неполнотой вводимых данных, зависимостью от внешнего интегратора/поставщика.

Также отмечается, что менее 10% работников прошли специальное обучение работе с системой MES. От 25% до 50% работников компании готовы приступить к работе с новой системой.

Основные **причины негативного отношения работников** к новому проекту внедрения MES:

- опасения увеличения объема работы и стресса;
- недоверие руководящему составу и консультантам;
- отсутствие уверенности в надежности новой системы;
- низкая мотивация и вознаграждение за адаптацию к новой системе.

Лучшей подготовке работников к освоению новой системы **могло бы способствовать:**

- стимулирование дополнительной оплаты работникам за прохождение обучения;
- предоставление четких инструкций и пошаговых методичек;
- личное наставничество опытных пользователей.

По нормативно-справочной информации отмечается следующее:

- справочники покрывают большую часть деятельности (более 80%);
- данные постоянно актуализируются автоматически.

По сбору и точности данных:

- автоматизированный сбор данных о состоянии технологического оборудования и уровне запасов сырья проводится выборочно на критичных участках;
- учет простоев оборудования на производстве фиксируется средствами автоматического мониторинга;
- мониторинг показателей производительности и эффективности основных операций производства производится, постоянно отслеживаются ключевые показатели (KPI) и оперативно принимаются меры по их улучшению;
- определённые подразделения или лица отвечают за точность конкретных видов данных, поступающих в информационные системы предприятия.

По бюджету на внедрение:

- бюджет более 10 млн рублей предполагался на внедрение MES-системы;
- запланированное финансирование на этапе внедрения превысило 30%;
- перерасходы вызваны непредвиденными техническими трудностями;

- более 1 млн рублей предприятие несет ежегодно на поддержку и эксплуатацию MES-системы;
- самоокупаемость инвестиций в MES-систему пока не случилась.

Благодаря внедрению MES-системы на предприятии появилась прозрачность производственных процессов.

АО «Интер РАО – Электрогенерация»

На предприятии, занятого в промышленности электроэнергетики, используется система сбора, расчета и передачи технологической информации (ССПРТИ), ООО «Сигма». Это решение охватывает мониторинг и отслеживание производственного процесса, аналитический модуль [24].

Система внедрена на следующих производственных участках:

- диспетчерские пункты управления;
- производственно-технические отделы;
- цех автоматизированных систем управления производственными процессами;
- руководители предприятий.

Достигнутые эффекты:

Внедрение собственных разработок позволило добиться следующих ключевых результатов:

- повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности;
- повышение точности планирования и выполнения планов.

Предприятие на этапе внедрения MES-системы столкнулось со следующими трудностями:

- высокая стоимость лицензий, внедрения;
- сложность и длительность процесса сбора и формализации требований.

Предприятие на этапе эксплуатации и развития MES-системы столкнулось с высокой стоимостью сопровождения и обновлений, зависимостью от внешнего интегратора/поставщика.

Барьеры преодолевались с использованием:

- постоянной команды внедрения для дальнейшего технического сопровождения;
- лучших практик, применяемых персоналом электростанций;
- оптимизацией затрат на внедрение.

MES интегрирована с информационными системами других бизнес-процессов компании (аналитические системы трейдинга, предиктивной аналитики, управления ремонтами).

Менее 10% работников предприятия прошли специальное обучение работе с системой MES. Менее 25% работников компании готовы приступить к работе с новой системой.

Основные причины негативного отношения работников к новому проекту внедрения MES:

- недостаток понимания преимуществ новой системы;
- опасения увеличения объема работы и стресса;
- низкая мотивация и вознаграждение за адаптацию к новой системе.

Лучшей подготовке работников к освоению новой системы могло бы способствовать:

- практическое применение сразу после теоретического курса;
- предоставление четких инструкций и пошаговых методичек;
- личное наставничество опытных пользователей.

По нормативно-справочной информации отмечается следующее:

- актуальна на 100%, охватывает всю деятельность предприятия;
- регулярное обновление нормативно-справочных данных проводится систематически вручную.

По сбору и точности данных:

- автоматизированный сбор данных о состоянии технологического оборудования и уровне запасов сырья имеется. Используется полный комплекс сенсоров и измерительных приборов;

- учет простоев оборудования регулярно фиксируются средствами автоматического мониторинга;
- постоянно отслеживаются ключевые показатели (KPI) и оперативно принимаются меры по их улучшению;
- определенные подразделения или лица отвечают за конкретные виды данных, поступающих в информационные системы предприятия;
- проверяются регулярно специальными отделами или системами контроля.

По бюджету на внедрение:

- бюджет более 10 млн рублей предполагался на внедрение MES-системы;
- превышение запланированного финансирования на этапе внедрения составило от 10% до 30%;
- перерасходы вызваны увеличением объёмов работ по мере реализации проекта;
- более 1 млн рублей предприятие несет ежегодно на поддержку и эксплуатацию MES-системы;
- инвестиции в MES-систему пока не окупились.

Благодаря внедрению MES-системы предприятие достигло следующих экономических эффектов:

- повышен контроль качества выпускаемой продукции;
- появилась прозрачность производственных процессов.

ПАО «Газпром нефть»

На предприятии, занятого в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК), используются следующие системы [24]:

- OSISoft PI System.
- ООО «ИндаСофт» (I-DS/P).
- Labware.
- QDIS.
- ООО «Автоматика-сервис».

Эти решения охватывают следующие ключевые функции MES-системы:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Управление качеством продукции.
- Интеграция с ERP-системами.
- Поддержка технической документации.
- Оптимизация загрузки оборудования.
- Аналитический модуль.
- ЦМИД (Центр мониторинга и диагностики).
- АСВДПА (Автоматизированная система верификации данных поточных и виртуальных анализаторов качества).
- СПАС (Система предиктивной аналитики событий).
- СИД ПАК (Система интеллектуальной диагностики поточных анализаторов качества).
- АСКУБ (Автоматизированная система контроля, учета балансов).
- ЭЖКО (Электронный журнал контроля операций).
- База данных реального времени.

Системы внедрены на следующих производственных участках:

- АО «Газпромнефть-МНПЗ».
- АО «Газпромнефть-ОНПЗ».
- ООО «Газпромнефть-ОЗСМ».

Достигнутые эффекты:

Внедрение собственных разработок позволило добиться следующих ключевых результатов:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа.
- Снижение объема незавершенного производства.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Снижение процента брака и улучшение качества продукции.

- Повышение точности планирования и выполнения планов.
- Сокращение бумажного документооборота.
- Снижение затрат на производство (энергоресурсы, материалы).

Предприятие на этапе внедрения MES-системы столкнулось со следующими трудностями:

- Сопротивление изменениям со стороны производственного персонала.
- Нехватка внутренних ИТ-специалистов и экспертов в предметной области.
- Недостаточная зрелость и цифровизация базовых процессов.
- Сложность и длительность процесса сбора и формализации требований.

Предприятие на этапе эксплуатации и развития MES-системы столкнулось со сложностью актуализации системы при изменениях в технологических процессах, зависимостью от внешнего интегратора/поставщика.

Для преодоления барьеров осуществляется переход к унифицированному подходу выбора решения без зависимости от архитектуры поставщика-интегратора.

Отмечается, что MES интегрирована с другими корпоративными системами. Свыше 70% работников прошло специальное обучение работе с системой MES. Более 75% работников готовы приступить к работе с новой системой прямо сейчас.

Основные причины негативного отношения работников к новому проекту внедрения MES:

- опасения увеличения объема работы и стресса;
- отсутствие уверенности в надежности новой системы.

Лучшей подготовке работников к освоению новой системы могло бы способствовать:

- практическое применение сразу после теоретического курса;
- предоставление четких инструкций и пошаговых методичек;
- личное наставничество опытных пользователей.

По нормативно-справочной информации отмечается следующее:

- Справочники покрывают большую часть деятельности (более 80%).
- Регулярное обновление нормативно-справочных данных проводится автоматизировано на постоянной основе.

По сбору и точности данных:

- Используется полный комплекс сенсоров и измерительных приборов.
- Учет простоев оборудования регулярно фиксируются средствами автоматического мониторинга.
- Постоянно отслеживаются ключевые показатели (KPI) и оперативно принимаются меры по их улучшению.
- Определенные подразделения или лица отвечают за конкретные виды данных, поступающих в информационные системы предприятия.
- Проверяются регулярно специальными отделами или системами контроля.

По бюджету на внедрение:

- Бюджет более 10 млн рублей предполагался на внедрение MES-системы.
- Запланированное финансирование на этапе внедрения превышено не было.
- Более 1 млн рублей предприятие несет ежегодно на поддержку и эксплуатацию MES-системы.
- От 3 до 5 лет после начала эксплуатации компания достигла точки самоокупаемости инвестиций в MES-систему.

Благодаря внедрению MES-системы предприятие достигло следующих экономических эффектов:

- Повысилась производительность труда.
- Сокращены издержки на производство.
- Улучшена логистика и управление запасами.
- Повышен контроль качества выпускаемой продукции.
- Появилась прозрачность производственных процессов.

ООО «Петролайн» (Российская нефтедобыча)

ООО «Петролайн» столкнулось с нехваткой четкого контроля за выполнением технологических операций и значительным числом человеческих ошибок, приводящих к убыткам. Было принято решение внедрить собственную MES-систему, разработанную совместно с партнером.

Результат:

- компания получила полный контроль над операционным циклом;
- повысила безопасность работников;
- снизила долю человеческого фактора в процессе добычи нефти;
- время выхода готового продукта сократилось на треть;
- объемы прибыли увеличились на 10%.

Omet Italia (Италия, полиграфия)

Omet Italia, производитель упаковочного оборудования, сталкивался с постоянными задержками в обработке заказов и низким уровнем синхронизации между отделами продаж и производства. После внедрения MES-системы была налажена полная интеграция с системой ERP и оборудованием на линии печати.

Результат:

- время выполнения заказов было уменьшено почти вдвое;
- скорость обработки увеличилась на 20%;
- количество возвратов продукции снизилось практически до нуля;
- возросла удовлетворенность клиентов.

Heineken (Нидерланды, пивоварение)

Heineken использовала традиционную ERP-систему для управления своим бизнесом, однако столкнулись с трудностями при контроле над качеством пива и логистическими цепочками. Был выбран путь внедрения комплексной MES-системы.

Результат:

- система позволила значительно увеличить объемы производства без увеличения числа работников;
- налажено точное отслеживание каждого этапа производства;

- значительно снизилось количество отходов.

Газпромнефть-Сервис (Россия, сервис нефтяной отрасли)

Газпромнефть-Сервис столкнулся с неэффективностью в управлении ремонтом и техническим обслуживанием оборудования, нарушением графика ремонта и повышенными затратами на обслуживание. Была внедрена собственная MES-система, созданная специально для потребностей сервиса нефтяных месторождений.

Результат:

- количество внеплановых ремонтов снизилось на 30%;
- общий срок восстановления работоспособности оборудования сократился на четверть;
- экономический эффект составил около 1 млрд рублей ежегодно.

Омский нефтеперерабатывающий завод (АО «Газпромнефть-ОНПЗ»)

На Омском нефтеперерабатывающем заводе была реализована интеграция APSIM с системой управления качеством продукта.

Результат:

- Сокращение потерь и повышение эффективности переработки сырьевых потоков.

На Омском НПЗ было осуществлено внедрение DeltaV.

Результат:

- Автоматическое управление ключевыми установками, такими как установка гидроочистки дизельного топлива и установка первичной перегонки нефти.

На Омском НПЗ было осуществлено внедрение SIMATIC PCS 7 для управления потоками сырья и материалами, синхронизации работы цехов и оптимальной загрузки оборудования.

Результат:

- Создание виртуальных моделей производственных линий помогла скорректировать загрузку паровых котлов и теплообменников, снизив потребление энергии и увеличив срок службы оборудования.

- Увеличился объем перерабатываемого сырья.
- Снизились капитальные вложения.
- Расходы на техническое обслуживание уменьшились почти вдвое.

На Омском нефтеперерабатывающем заводе (ОНПЗ), внедрена PISystem для мониторинга ключевых показателей и оптимизации процессов.

Результат:

- Быстрая оценка динамики технологических процессов и определение факторов, влияющих на эффективность работы оборудования.
- Получение точных прогнозов и рекомендаций относительно оптимального распределения нагрузок и профилактического обслуживания техники.
- Своевременное обнаружение отклонений от нормы и предупреждение возникновений критических ситуаций.
- Уменьшение процента брака.
- Повышение общей продуктивности завода.
- Избежание значительных финансовых потерь.
- Повышение прозрачности бизнес-процессов.
- Оперативное принятие решений.

Московский нефтеперерабатывающий завод (АО «Газпромнефть-МНПЗ)

На Московском НПЗ были успешно проведены проекты по оптимизации режима работы реакторов каталитического риформинга и крекинга, позволившие увеличить выход светлых нефтепродуктов. Специалисты используют APSIM для оценки результатов своей работы и выявления областей, нуждающихся в улучшении.

Результат:

- Существенное снижение энергопотребления благодаря точной настройке рабочих режимов компрессоров и насосов.
- Благодаря применению статистических методов и алгоритмов машинного обучения, APSIM помогает контролировать стабильность свойств продукции.
- Система способна автоматически регулировать технологический процесс

таким образом, чтобы обеспечить постоянное соблюдение установленных требований к качеству.

На Московском НПЗ было осуществлено внедрение DeltaV.

Результат:

- Сокращение потребления электроэнергии и пара на отдельных этапах обработки.
- Экономия энергоресурсов и увеличение рентабельности.
- Операторы получают своевременные уведомления о любых изменениях параметров, позволяющих быстро реагировать на потенциальные проблемы.
- Риск аварии снижается, что положительно сказывается на экологической безопасности региона и сохранении здоровья работников.

На Московском НПЗ было осуществлено внедрение SIMATIC PCS 7.

Результат:

- После внедрения системы сократилось число внеплановых остановок производства.
- Операторы могут управлять технологическими линиями практически в режиме реального времени, находясь в комфортных офисах.
- Повышение безопасности и точности работы.
- Сокращение численности обслуживающего персонала.

На Московском НПЗ было осуществлено внедрение PISystem.

Результат:

- Сокращение издержек и увеличения выхода целевых продуктов.
- Повышение надежности производственного цикла.
- Минимизация влияния человеческого фактора на результаты работы.

Новопортовское нефтегазоконденсатное месторождение

(ООО «Газпромнефть-Ямал»)

На Новопортовском месторождении внедрена специальная версия системы SIMATIC PCS 7.

Результат:

- Контроль уровня эмиссий загрязняющих веществ.

- Помощь в обеспечении высокого стандарта чистоты воздуха и воды.

«Томскнефтехим»

В Новосибирской компании «Томскнефтехим» было осуществлено внедрение PISystem для оптимизации технологических процессов и улучшения показателей энергоэффективности.

Результат:

- Снижение затрат на электроэнергию и теплоэнергию благодаря точному контролю и управлению нагрузками.
- Уменьшение себестоимости продукции за счёт сокращения числа дефектов и увеличения коэффициента использования оборудования.
- Рост выручки вследствие повышения качества выпускаемых товаров и удовлетворения спроса потребителей.

Неудачные внедрения

Завод автомобильных аккумуляторов Johnson Controls

Johnson Controls попыталась внедрить MES-систему на заводе в Мексике.

В результате возникли серьезные проблемы:

- Сбой в интеграции с ERP-системой привел к хаосу в планировании производства.
- Работники испытывали трудности с освоением новой системы, что сказывалось на производительности.
- Задержки в запуске привели к финансовым потерям.

Ошибка состояла в поспешности и недооценке важности предварительной подготовки и тестирования.

Хлебопекарня Vimbo Bakeries USA

Vimbo Bakeries USA потратила миллионы долларов на внедрение MES-системы, но столкнулась с серьезными трудностями:

- Медленный отклик системы на запросы.
- Проблемы с обработкой больших объемов данных.
- Сложности с интеграцией с существующими системами.

Проект провалился из-за плохого планирования и неполноценного анализа бизнес-процессов.

Таким образом, анализ успешных и неудачных внедрений позволяет сделать выводы:

- Подготовка важнее всего: тщательная предварительная подготовка и изучение бизнес-процессов помогут избежать неприятных сюрпризов.
- Тестирование: пробное внедрение системы на отдельном участке позволит выявить слабые места и скорректировать план действий.
- Коммуникация: открытое общение с работниками и поставщиками MES создаст атмосферу сотрудничества и взаимопонимания.

Внедрение системы управления производством (MES) позволяет существенно повысить эффективность работы предприятия, снизить затраты и улучшить качественные показатели. Рассмотрим конкретные цифры, подтверждающие значимость таких систем [4].

Снижение затрат

Среднестатистические показатели свидетельствуют о снижении затрат на:

- Материалы и энергию: до 15%.
- Простои оборудования: до 20%.
- Административные расходы: до 10%.

Так, например, предприятие по производству бытовой техники, внедрив MES, сэкономило на материале и энергии около \$1,5 млн. в год.

Рост ОЕЕ (общая эффективность оборудования)

Показатель ОЕЕ (Overall Equipment Effectiveness) демонстрирует, насколько эффективно используется оборудование. Средняя величина прироста ОЕЕ после внедрения MES достигает 10-15%.

Например, одна металлургическая компания увеличила ОЕЕ с 65% до 80%, что дало прирост выручки на \$3 млн. в год.

Сокращение времени вывода продукции

MES-системы помогают сократить время от старта производства до выпуска

готовой продукции. В среднем время уменьшается на 15-20%.

Так, автопроизводитель, внедрив MES, сумел сократить среднее время вывода автомобиля с 4 часов до 3,2 часа, увеличив ежедневную выработку на 20%.

Дополнительные бонусы

Помимо снижения затрат и роста эффективности, внедрение MES-система также способствует:

- Сокращению количества брака: до 25%.
- Улучшению внутренней логистики: до 10%.
- Повышению уровня автоматизации: до 30%.

6. Анализ внедрения MES

6.1. Отраслевые сценарии внедрения MES-систем на отечественных предприятиях

Внедрение MES-систем (Manufacturing Execution Systems) варьируется в зависимости от специфики отрасли. Рассмотрим наиболее характерные сценарии внедрения для черной металлургии, автомобилестроения, машиностроительной и других отраслей [24].

Черная металлургия, горнодобывающая промышленность

ПАО «Северсталь»

MES-система: Danielli QMet

Внедрение на производственных участках:

– На всех переделах Череповецкого металлургического комбината и горно-рудных активах.

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Управление качеством продукции.
- Интеграция с ERP-системами.
- Оптимизация загрузки оборудования.
- Аналитический модуль.
- Безопасность и защита данных.

Результаты:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа.
- Снижение объема незавершенного производства.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Снижение процента брака и улучшение качества продукции.
- Снижение затрат на производство (энергоресурсы, материалы).

Автомобильная промышленность*ПАО «КАМАЗ»*

MES-система: Программный комплекс для оптимизации и управления производством ПУЛЬС, ООО «Цифровая платформа КАМАЗ».

Внедрение на производственных участках:

- Кузнечный завод.
- ПАО «КАМАЗ».

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Интеграция с ERP-системами.
- Безопасность и защита данных.

Результаты:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа.
- Снижение объема незавершенного производства.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Повышение точности планирования и выполнения планов.
- Сокращение бумажного документооборота.
- Повышение производительности.

Автомобилестроение*АО «АЗ «УРАЛ»»*

MES-система: Profit Mes на платформе 1С.

Внедрение на производственных участках:

- Главный конвейер.
- Линия сборки мостов.

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.

- Интеграция с ERP-системами.

Результаты:

- Сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа.
- Снижение объема незавершенного производства.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Повышение точности планирования и выполнения планов.
- Сокращение бумажного документооборота.
- Снижение затрат на производство (энергоресурсы, материалы).

Разработка проектов промышленных процессов и производств

ООО «ТМХ ТЕХНОЛОГИИ»

MES-система: 2050

Внедрение на производственных участках:

- Производственные мощности заводов.

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Производственные мощности заводов.

Результаты:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.

Машиностроение

АО «Объединённая двигателестроительная корпорация»

MES-система: Система собственной разработки в интеграции с АИС "Диспетчер".

Внедрение на производственных участках:

- На всех цехах производственного комплекса в разном объеме модулей.

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Интеграция с ERP-системами.
- Оптимизация загрузки оборудования.

- Аналитический модуль.

Результаты:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Повышение точности планирования и выполнения планов.
- Сокращение бумажного документооборота.

Энергетика

АО «Интер РАО – Электрогенерация»

MES-система: Система сбора, расчета и передачи технологической информации (ССПРТИ), ООО «Сигма».

Внедрение на производственных участках:

- Диспетчерские пункты управления.
- Производственно-технические отделы.
- Цех автоматизированных систем управления производственными процессами.
- Руководители предприятий.

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Аналитический модуль.

Результаты:

- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Повышение точности планирования и выполнения планов.

Нефте- и газодобыча, нефтеперерабатывающая промышленность

ПАО «Газпром нефть»

MES-система: OSISoft PI System, ООО «ИндаСофт» (I-DS/P), Labware, QDIS, ООО «Автоматика-сервис».

Внедрение на производственных участках:

- АО «Газпромнефть-МНПЗ».
- АО «Газпромнефть-ОНПЗ».
- ООО «Газпромнефть-ОЗСМ».

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Управление качеством продукции.
- Интеграция с ERP-системами.
- Поддержка технической документации.
- Оптимизация загрузки оборудования.
- Аналитический модуль.
- ЦМИД (Центр мониторинга и диагностики).
- АСВДПА (Автоматизированная система верификации данных поточных и виртуальных анализаторов качества).
- СПАС (Система предиктивной аналитики событий).
- СИД ПАК (Система интеллектуальной диагностики поточных анализаторов качества).
- АСКУБ (Автоматизированная система контроля, учета балансов).
- ЭЖКО (Электронный журнал контроля операций).
- База данных реального времени.

Результаты:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Сокращение производственного цикла и времени выполнения заказа.
- Снижение объема незавершенного производства.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Снижение процента брака и улучшение качества продукции.
- Повышение точности планирования и выполнения планов.
- Сокращение бумажного документооборота.

- Снижение затрат на производство (энергоресурсы, материалы).

Химическая промышленность

АО «МХК «ЕвроХим»»

MES-система: Zifra Ziiot – поставщик ЦТиП.

Внедрение на производственных участках:

- На восьми предприятиях Группы ЕвроХим внедрена MES-система в основных производственных цехах.

Используемые функции MES-системы на предприятии:

- Планирование и диспетчеризация производства.
- Мониторинг и отслеживание производственного процесса.
- Управление качеством продукции.
- Интеграция с ERP-системами.
- Оптимизация загрузки оборудования.
- Аналитический модуль.

Результаты:

- Повышение общей эффективности оборудования.
- Повышение прозрачности и оперативности управленческой отчетности.
- Снижение процента брака и улучшение качества продукции.
- Снижение затрат на производство (энергоресурсы, материалы).
- Снижение потерь и рост уровня технологической дисциплины.
- Повышение уровня эксплуатационной готовности за счет автоматизированного расчета производительности.

6.2. Преимущества внедрения MES-систем

Внедрение системы управления производством (MES) приносит множество преимуществ, одно из которых – повышение прозрачности производственных процессов. Рассмотрим, каким образом MES влияет на прозрачность производства и какие положительные последствия это несет для предприятия.

Прозрачность производства

Прозрачность производства – это возможность точно и детально видеть все происходящие процессы на производстве, понимать текущее состояние дел, выявлять слабые звенья и своевременно устранять проблемы. Чем выше прозрачность, тем эффективнее принимаются управленческие решения и тем быстрее реагируют на возникающие ситуации.

Факторы повышения прозрачности при внедрении MES

– *Сбор и анализ данных в реальном времени*

MES позволяет собирать и хранить данные о каждом этапе производственного процесса, причем данные поступают в режиме реального времени. Это дает руководству мгновенный доступ к точной информации о статусе производства, нагрузке на оборудование, количестве готовой продукции и наличии запасов.

– *Карта производственных процессов*

Система создает наглядную карту производства, показывая, где находятся полуфабрикаты, сырье и готовая продукция, как распределены задания и какое оборудование занято. Руководители могут моментально увидеть узкие места и принять соответствующие меры.

– *Онлайн-аналитика и отчеты*

MES формирует отчеты по любым параметрам: загрузке оборудования, количеству произведенной продукции, причинам остановок и многом другом. Это помогает глубже проанализировать ситуацию и выработать стратегию дальнейших действий.

– *Централизованное хранилище данных*

Все данные собираются в одном месте, что исключает дублирование информации и предотвращает возникновение ошибок. Единая база данных доступна всем участникам производственного процесса, что гарантирует четкую координацию усилий.

– *Улучшение контроля качества*

MES фиксирует всю информацию о продукции: от сырья до готового товара. Это позволяет быстро находить причину брака, определять виновника и избежать

повторного появления аналогичных проблем.

Положительные последствия повышения прозрачности

– Повышение производительности

Четкое представление о положении дел на производстве позволяет точнее рассчитывать необходимое количество ресурсов, рационально загружать оборудование и оптимизировать маршруты продукции.

– Снижение простоев оборудования

Благодаря постоянной оценке состояния оборудования и его загруженности, MES помогает избежать неожиданных простоев и предотвратить поломки.

– Снижение уровня брака

Постоянный мониторинг и запись всех шагов производства помогают обнаружить моменты, приводящие к браку, и устранить их еще до отправки продукции потребителю.

– Улучшение дисциплины и мотивации персонала

Работники видят свое влияние на общие показатели предприятия, что мотивирует их работать качественнее и быстрее достигать результатов.

– Ускорение реакции на внешние факторы

Имея полную картину происходящего, руководство может вовремя отреагировать на любые изменения внешней среды, будь то колебания цен на сырье или изменения в законодательстве.

Снижение простоев оборудования и рабочих процессов

Простои – это периоды времени, в течение которых оборудование или работники простаивают, не выполняя полезных производственных операций. Простои снижают общую производительность предприятия, увеличивают себестоимость продукции и приводят к потере прибыли.

Причины простоев

- выход из строя оборудования;
- несвоевременная доставка материалов или комплектующих;
- нарушение технологических процессов;
- недостаточное планирование и распределение задач;

- потеря квалификации работниками.

MES помогает справиться с этими проблемами путем автоматизации и оптимизации производственных процессов.

Способы снижения простоев при внедрении MES

- *Предсказательная диагностика оборудования*

Одной из главных функций MES является возможность раннего выявления неисправностей оборудования. Используя датчики и алгоритмы анализа данных, система предупреждает о возможном выходе оборудования из строя задолго до происшествия. Это позволяет провести профилактическое обслуживание и избежать длительного простоя.

- *Оперативное управление ресурсами*

MES обеспечивает точное распределение задач и назначение ресурсов. Это значит, что задание выполняется там, где оно должно быть выполнено, и теми людьми, которые подготовлены и оснащены необходимым инструментом. Такая организация исключает задержки, вызванные отсутствием нужных ресурсов.

- *Контроль выполнения задач*

Система постоянно мониторит ход выполнения производственных заданий. Любое отклонение от графика немедленно фиксируется и передается ответственным лицам. Это позволяет оперативно вмешиваться и восстанавливать нормальный ритм работы.

- *Планирование профилактических мероприятий*

Регулярные профилактические мероприятия позволяют предупредить поломки и замедлить износ оборудования. MES может автоматически назначать и отслеживать проведение таких мероприятий, обеспечивая бесперебойную работу предприятия.

- *Улучшение координации между службами*

Часто причиной простоев бывает плохая координация между различными службами предприятия. MES предоставляет единый источник информации, доступный всем заинтересованным сторонам. Это способствует лучшему взаимодействию и уменьшает время, затрачиваемое на согласование действий.

Позитивное влияние на качество продукции и соответствие установленным нормативам

Качество продукции – это совокупность свойств и характеристик, которые определяют пригодность продукции для удовлетворения установленных или подразумеваемых потребностей потребителя. Нормативы – это установленные государством или внутренними правилами предприятия требования к качеству, безопасности и другим характеристикам продукции [2].

Пути улучшения качества и соответствия нормативам при внедрении MES.

– *Контроль соблюдения технологических процессов*

Одна из ключевых функций MES – контроль соблюдения технологических регламентов. Система регистрирует каждое действие на производстве, фиксирует используемые ингредиенты и параметры производства. Это позволяет гарантировать, что вся продукция производится в строгом соответствии с нормами и техническими условиями [2].

– *Повышение точности измерений и расчетов*

MES обеспечивает точную регистрацию данных о массе, объеме, составе и характеристиках продукции. Исключается человеческий фактор, снижается вероятность ошибок, вызванных неправильным замером или записью.

– *Автоматизация проверок и тестирования*

Система позволяет автоматизировать процедуры контроля качества, проверять продукцию на соответствие нормативам сразу после ее изготовления. Это сокращает время, необходимое для проведения тестов, и увеличивает частоту их проведения.

– *Обучение и инструктаж персонала*

MES предоставляет электронные инструкции и пошаговые руководства для выполнения операций. Каждый работник может обратиться к ним в любое время, что минимизирует вероятность ошибочных действий и способствует повышению квалификации.

– *Обратная связь и исправление ошибок*

Система оперативно информирует руководство о нарушениях и отклонениях от стандарта. Благодаря этому появляется возможность незамедлительно внести

коррективы и исправить ошибку, предотвратив негативные последствия.

6.3. Барьеры и риски внедрения MES-систем

Внедрение системы управления производством (MES) может быть достаточно дорогостоящим процессом [6].

Причинами высокой стоимости являются следующие факторы:

– *Покупка и лицензирование программного обеспечения*

Покупка самой MES-системы – лишь начало расходов. Дополнительно требуются лицензии на право пользования, оплата услуг интегратора, а также ежегодные платежи за техническую поддержку и обновления.

– *Аппаратное обеспечение*

Иногда требуется приобретение нового оборудования для полноценной работы MES: серверов, сетевого оборудования, компьютеров и периферийных устройств. Все это добавляет значительную сумму к общим затратам.

– *Работы по интеграции*

Передача данных между MES и существующими системами предприятия (ERP, СКУД, PLC и др.) требует значительных усилий и финансовых вложений. Задача осложняется, если старые системы устарели или недостаточно хорошо структурированы.

– *Проведение организационных изменений*

Переход на новую систему сопровождается изменениями в структуре предприятия, обучении персонала, перестройке рабочих процессов. Все это требует времени и денег.

– *Внешние факторы*

Дополнительные расходы могут возникнуть из-за неблагоприятных экономических условий, колебаний курсов валют, налогов и прочих обстоятельств.

6.4. Анализ барьеров внедрения по результатам отраслевого опроса

Проведенный опрос промышленных предприятий позволяет не только теоретически описать риски внедрения MES-систем, но и верифицировать их реальной практикой. Данные, полученные от респондентов, подтверждают и дополняют перечень барьеров, представленный в предыдущих разделах.

Ключевые барьеры, подтвержденные респондентами:

1. Финансово-экономические ограничения

Предприятие среднего бизнеса (ООО «Пегас-Агро») в качестве основного барьера указывает «Высокую стоимость лицензий и внедрения». Это коррелирует с тезисом о том, что для среднего бизнеса стоимость ТСО остается критическим фактором отказа от старта проектов, несмотря на понимание технологической необходимости внедрения [24].

2. Организационные и человеческие факторы

«Сопrotивление изменениям со стороны производственного персонала» – данный барьер зафиксирован одновременно и у представителя крупного бизнеса (ПАО «Северсталь»), и у среднего предприятия. Это позволяет утверждать, что масштаб предприятия не гарантирует автоматического принятия системы персоналом. Культурная трансформация и вовлечение работников являются сквозной проблемой отрасли [24].

3. Технологическая неготовность и интеграционные сложности

ООО «Пегас-Агро» отмечает «Недостаточную зрелость базовых процессов» и «Проблемы с интеграцией MES с другими системами». Это подтверждает вывод отчета о том, что попытка внедрить MES на неподготовленную инфраструктуру (отсутствие цифровизации учета, неактуальные справочники) заведомо ведет к росту бюджета и сроков проекта [24].

4. Стратегические риски

Важным наблюдением является указание респондента из числа среднего бизнеса на «Отсутствие четкой стратегии цифровизации». Это подчеркивает, что внедрение MES не должно рассматриваться как изолированный ИТ-проект; оно требует перестройки системы управления предприятием в целом.

Результаты опроса объективизируют теоретическую модель рисков. Наибольшую чувствительность к стоимости демонстрирует средний бизнес, в то время как сопротивление персонала является универсальным вызовом. Ключевым фактором успеха, по данным ПАО «Северсталь», является «Повышение общей эффективности оборудования» и переход к собственным импортозамещенным

решениям, что позволяет контролировать критически важную производственную логику [24].

7. Выбор MES-систем для промышленных предприятий, критерии отбора

При выборе MES-системы (Manufacturing Execution System) для промышленного предприятия важно учитывать ряд критериев, чтобы подобрать оптимальное решение, соответствующее потребностям организации. Рассмотрим ключевые факторы выбора.

Соответствие MES-системы бизнес-процессам

Соответствие MES-системы бизнес-процессам означает, что выбранная система эффективно поддерживает текущие процессы предприятия, помогая их выполнению и развитию. Процессы включают в себя планирование, организацию, контроль и анализ производственных операций [2].

Проверка соответствия MES бизнес-процессам:

– *Оценка текущих процессов*

Прежде чем приступить к внедрению MES, необходимо тщательно изучить и описать текущие бизнес-процессы предприятия. Необходимо создать подробный перечень процессов, выделить ключевые показатели эффективности (KPI) и составить дорожную карту изменений.

– *Тестирование выбранной системы*

Протестировать выбранную MES-систему на небольшом участке производства. Оценить, насколько удобно и эффективно она справляется с возложенными функциями. Протестировать ее взаимодействие с другими системами (ERP, WMS и др.).

– *Оценка влияния на персонал*

Изучить реакцию работников на внедрение MES. Узнать, насколько комфортно они чувствуют себя с новой системой, готовы ли учиться и применять ее ежедневно.

Принципы обеспечения соответствия бизнес-процессам:

– *Начинать с простых задач*

Сосредоточиться на интеграции MES с простыми процессами, такими как учет материалов или контроль качества. Когда они начнут работать стабильно, приступать к решению более сложных задач.

– *Учитывать мнение персонала*

Привлекать работников к обсуждению внедрения MES. Физические лица, непосредственно выполняющие производственные операции, могут подсказать важные детали, которые иначе могли бы остаться незамеченными.

– *Регулярный мониторинг и корректировка*

Постоянно отслеживать работу MES и вносить коррективы, если появляются отклонения от ожиданий. Регулярный мониторинг позволяет своевременно выявить проблемы и принять меры для их устранения.

Масштабируемость и гибкость

Масштабируемость – это способность системы сохранять устойчивость и эффективность при увеличении или уменьшении нагрузки. Другими словами, хорошая MES-система должна одинаково успешно справляться как с небольшими цехами, так и с большими производствами.

Гибкость – это свойство системы легко приспосабливаться к изменениям, возникающим в ходе производственного процесса. Гибкая MES-система способна быстро перенастраиваться под новые требования и изменять свои функции без серьезных вмешательств.

Хорошая масштабируемость и гибкость MES-системы способствуют:

- снижению издержек: оптимальный подбор ресурсов и эффективное распределение задач снижают расходы на эксплуатацию;
- повышению производительности: быстрая реакция на изменения позволяет оперативно менять приоритеты и вносить коррективы;
- уменьшению рисков: способность системы выдерживать повышенные нагрузки защищает от непредвиденных простоев и потерь.

Обеспечение масштабируемости и гибкости:

– *Компонентная архитектура*

Разделение системы на отдельные компоненты позволяет свободно комбинировать и масштабировать ее, исходя из потребностей предприятия. Можно добавить новые блоки или удалить лишние, не затрагивая остальные части системы.

– *Виртуализация и контейнеризация*

Технология виртуализации и контейнеризации позволяет изолировать разные части системы друг от друга, что упрощает их масштабирование и перенос на другое оборудование.

– *Web-интерфейс и мобильные приложения*

Web-интерфейс и мобильные приложения делают систему доступной независимо от местонахождения работника. Это позволяет гибко распределять задачи и оперативно реагировать на изменения.

– *OpenAPI и RESTful API*

Открытый интерфейс и стандартный протокол обмена данными упрощают интеграцию с другими системами и позволяют быстро вводить новые функции.

Соответствие стандартам

Основные отраслевые стандарты:

– *Good Manufacturing Practice (GMP)*

Применяется в фармацевтической и пищевой промышленности. Стандарт устанавливает требования к качеству продукции, контролю за процессами производства и документацией.

– *Международная организация по стандартизации (ISO)*

Наиболее распространены стандарты серии ISO 9000 (менеджмент качества), ISO 14000 (экологический менеджмент) и ISO 22000 (безопасность пищевых продуктов).

– *Food and Drug Administration (FDA)*

Американское агентство, устанавливающее стандарты для лекарственных препаратов, медицинских приборов и пищевых продуктов. Соответствие требованиям FDA необходимо для экспорта продукции в США.

– *European Union Directives (EUD)*

Европейские директивы устанавливают обязательные требования к безопасности и качеству продукции, экспортируемой в ЕС.

Поддержка отраслевых стандартов необходима по нескольким причинам:

- соответствие юридическим требованиям: несоблюдение стандартов может повлечь штрафы и запрет на продажу продукции;
- повышение доверия потребителей: сертификаты соответствия повышают доверие потребителей и партнеров;
- возможность выхода на мировые рынки: соответствие международным стандартам открывает доступ к экспортным рынкам.

Проверить следующее:

- изучить документацию производителя MES-системы на предмет заявленных сертификатов соответствия;
- посмотреть, предусмотрена ли интеграция с системами электронного документооборота и контроля качества;
- проверить, возможна ли автоматизация проверок и формирования отчетов согласно стандарту.

Возможность интеграции**ERP (Enterprise Resource Planning)**

ERP-системы занимаются управлением основными ресурсами предприятия: человеческими, материальными, финансовыми и временными. Интеграция MES с ERP позволяет [9]:

- обеспечивать синхронность между планированием и исполнением;
- совмещать производственное расписание с данными о снабжении и продажах;
- управлять материальным потоком и складом.

PLM (Product Lifecycle Management)

PLM-системы отвечают за управление полным жизненным циклом продукта: от идеи до утилизации. Связь MES с PLM обеспечивает:

- полную прослеживаемость продукции;
- актуальность конструкторско-технологических данных;
- поддержку качества продукции на высоком уровне.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

SCADA-системы осуществляют сбор данных с оборудования и обеспечивают контроль технологических процессов. Интеграция MES с SCADA позволяет:

- управлять оборудованием на уровне MES;
- получать оперативные данные о состоянии оборудования;
- проводить диагностику и прогнозировать неисправности.

Общая стоимость владения (ТСО)

ТСО (Total Cost of Ownership) – это совокупная сумма всех затрат, связанных с владением и эксплуатацией системы на протяжении всего периода ее использования.

Сюда входят:

- первоначальная покупка и установка;
- затраты на обучение персонала;
- эксплуатационные расходы (обслуживание, электроэнергия, аренда помещений);
- ремонт и замена частей оборудования;
- лицензионные сборы и обновления.

ТСО важно учитывать, потому что низкие первоначальные затраты могут обернуться большими расходами впоследствии. Качественно проработанный ТСО-анализ позволяет сравнить несколько вариантов MES и выбрать наиболее выгодный.

Экономическая эффективность инвестиций (ROI)

Return on Investment (ROI) – это мера экономической эффективности инвестиций. Рассчитывается как разница между полученной прибылью и вложенными средствами, деленная на величину вложений и умноженная на 100%.

Высчитывается по формуле:

$$\text{ROI} = ((\text{Доходы} - \text{Расходы}) / \text{Расходы}) * 100\%.$$

Здесь доходы – это дополнительная прибыль, полученная благодаря внедрению MES, а расходы – общая стоимость владения (ТСО).

Важно отметить, что ROI должен рассматриваться в комплексе с TCO, так как сам по себе высокий ROI может скрывать чрезмерные затраты на владение системой.

Пример расчета TCO и ROI

Допустим, предприятие рассматривает покупку MES-системы за $\text{R}1$ млн рублей. Годовые эксплуатационные расходы составляют $\text{R}200$ тыс., срок эксплуатации – пять лет. Предполагаемая дополнительная прибыль от внедрения составляет $\text{R}300$ тыс. в год.

Тогда:

- Общие расходы (TCO): $\text{R}1 \text{ млн} + (\text{R}200 \text{ тыс./год} \times 5 \text{ лет}) = \text{R}2 \text{ млн}$.
- Доходы: $\text{R}300 \text{ тыс./год} \times 5 \text{ лет} = \text{R}1,5 \text{ млн}$.
- ROI: $(\text{R}1,5 \text{ млн} - \text{R}2 \text{ млн}) / \text{R}2 \text{ млн} \times 100\% = -25\%$.

Получившийся отрицательный ROI говорит о том, что затраты превышают ожидаемую прибыль, следовательно, такой вариант MES нецелесообразен.

Таблица 5 – Стоимость внедрения и TCO [25].

MES-система	Лицензии (млн руб.)	Внедрение (млн руб.)	Поддержка (%/год)	Обучение, руб.	TCO за 5 лет
Siemens Opcenter	5-25	10-50	18-22%	86 000	Очень высокое
AVEVA MES	3-20	8-40	20-25%	237 552	Высокое
SAP ME	4-30	15-60	17-22%	80 000	Очень высокое
1C:MES	0.5-5	2-15	20%	51 500	Среднее
Фобос	1-8	3-20	15-20%	80 000	Среднее

Анализ производительности MES

Производительность MES (Manufacturing Execution System) – это показатель, характеризующий эффективность функционирования системы управления производством. Она отражает способность MES обеспечивать выполнение производственных целей организации с минимальными ресурсами и временем. Для оценки производительности MES используются различные метрики и методы анализа.

Основные компоненты анализа производительности MES:

Показатели доступности оборудования (OEE)

Одним из наиболее распространенных методов оценки производительности MES является расчет показателя общей эффективности оборудования (Overall Equipment Effectiveness, OEE). Данный показатель объединяет три основных компонента:

- готовность оборудования (Availability) – доля времени, в течение которого оборудование фактически работает по назначению;
- производительность (Performance) – отношение фактической скорости производства к номинальной;
- качество (Quality) – процент годной продукции среди всей произведенной.

Формула расчета OEE выглядит следующим образом:

$$\text{OEE} = \text{Готовность} \times \text{Производительность} \times \text{Качество}$$

Время цикла и пропускная способность

Время цикла (Cycle Time) – это промежуток времени, необходимый для производства единицы продукции. Пропускная способность (Throughput) показывает количество единиц продукции, которое может быть выпущено за определенный период времени.

Эти показатели позволяют оценить, насколько эффективно организовано производство и выявить потенциальные узкие места.

Уровень соответствия плану (Schedule Attainment)

Данный показатель отражает степень выполнения планового графика производства. Он рассчитывается как соотношение фактически выполненных объемов к запланированным:

Уровень соответствия плану = Фактически произведенное / Запланированное.

Высокий уровень соответствия свидетельствует о хорошей синхронизации планирования и исполнения.

Коэффициенты загрузки ресурсов

Коэффициенты загрузки показывают, насколько полно используются имеющиеся производственные мощности. Они рассчитываются отдельно для каждого типа ресурса (оборудование, персонал):

Коэффициент загрузки = Используемое время / Доступное время

Оптимальная загрузка способствует эффективному использованию инвестиций в инфраструктуру.

8. Перспективы развития MES-систем в России

Industry 4.0 - четвертая промышленная революция, в которой традиционные производственные процессы заменяются киберфизическими системами, использующими Big Data, искусственный интеллект, робототехнику и другие цифровые технологии. Умная фабрика – это воплощение этих идей на конкретном предприятии, где производство осуществляется на основе интеллектуальной аналитики и автономного управления.

Развитие концепции Industry 4.0 (четвертой промышленной революции) и концепция умной фабрики (Smart Factory) предполагают глубокое проникновение цифровых технологий в производственные процессы. В этой парадигме MES (система управления производством) приобретает новое значение, становясь центральным компонентом цифровой трансформации [6].

Роли MES в Industry 4.0 и Smart Factory

– *Сбор и анализ данных*

MES-система выступает центром сбора данных о производственных процессах. Она аккумулирует информацию с различных устройств и систем, проводит первичную обработку и передает ее на верхний уровень (ERP, BI-системы) для дальнейшей аналитики.

– *Контроль и управление производством*

MES позволяет оперативно управлять производственными процессами, контролируя их исполнение и оперативно реагируя на отклонения. Это особенно важно в условиях smart factory, где многое зависит от точности и скорости реакций.

– *Интеграция с другими системами*

MES связывает различные информационные потоки на предприятии, выступая мостом между нижестоящими (PLC, SCADA) и вышестоящими (ERP, CRM) системами. Это обеспечивает целостную картину происходящих процессов и создает предпосылки для принятия стратегических решений.

– *Автоматизация процессов*

Умная фабрика стремится к максимальной автоматизации, а MES помогает в этом, автоматизируя контроль качества, мониторинг оборудования и логистику.

Тенденции развития MES-систем

Современные системы управления производством (MES) выходят за рамки традиционных задач управления и начинают играть ключевую роль в интеграции новейших технологий, таких как цифровые двойники, предиктивная аналитика и искусственный интеллект (ИИ). Рассмотрим, как именно MES интегрируются с этими технологиями и какие преимущества это приносит предприятиям.

Цифровые двойники

Цифровой двойник – это виртуальная копия физической системы или объекта, которая позволяет имитировать его поведение и анализировать возможные сценарии.

Интеграция MES с цифровыми двойниками позволяет:

- смоделировать производственные процессы до их реальной реализации;
- провести виртуальные испытания и оптимизацию оборудования;
- снизить риск появления брака и дефектов.

Например, предприятие авиационной промышленности, используя цифровую копию самолета, сумело сократить время на доводку конструкции на 30%, сэкономив миллионы долларов.

Предиктивная аналитика

Предиктивная аналитика – это технология, позволяющая предсказывать будущие события на основании исторических данных. MES-система может накапливать огромные объемы данных о производственных процессах, что делает ее идеальной базой для предиктивных моделей.

Основные преимущества:

- прогнозирование поломок оборудования и предупредительное обслуживание;
- оптимизация маршрутов доставки и сокращения логистических издержек;
- предсказание спроса и управление запасами.

Предприятия, внедрившие предиктивную аналитику на основе MES, смогли сократить простои оборудования на 15% и сэкономить на ремонте до 20% бюджета.

Искусственный интеллект

Искусственный интеллект (ИИ) способен автоматически анализировать данные и принимать решения на их основе. MES-система становится идеальным источником данных для ИИ.

Интеграция MES с ИИ позволяет:

- автоматизировать принятие решений по управлению производством;
- самостоятельно подбирать оптимальные режимы работы оборудования;
- освобождать менеджеров от рутинных задач, концентрируя их внимание на стратегических направлениях.

Например, химическое предприятие внедрило систему ИИ на основе MES, что позволило снизить затраты на энергоносители на 10% и повысить производительность на 5%.

Комплексные и многофункциональные системы управления производственными операциями (MOM)

С развитием цифровых технологий классические системы управления производством (MES) претерпели значительные изменения, превратившись в более комплексные и многофункциональные системы управления производственными операциями (MOM). Рассмотрим, как произошел этот переход и какие преимущества принесла новая парадигма [6].

Основные различия между MES и MOM:

- *Объем покрытия процессов*

MES традиционно охватывает узкие зоны ответственности, такие как производство и контроль качества. MOM охватывает полный цикл управления производственными операциями, включая планирование, дизайн, снабжение и логистику.

- *Уровень интеграции*

MES-системы слабо интегрированы с другими системами предприятия, такими как ERP и CRM. MOM предусматривает глубокую интеграцию и свободный обмен данными между всеми уровнями управления.

– *Методология управления*

MES основана на реактивном подходе, когда реакция на событие происходит постфактум. MOM реализует прогностический подход, предсказывая события и предпринимая упреждающие действия.

Преимущества перехода к MOM:

- повышение прозрачности процессов: глубокая интеграция позволяет наблюдать за всеми аспектами производства в режиме реального времени;
- оптимизация использования ресурсов: MOM позволяет лучше распределять ресурсы и минимизировать простои;
- рост производительности: благодаря углубленному анализу данных и оптимизации процессов повышается общая эффективность производства.

Переход от классических MES к MOM-системам является естественным продолжением эволюции цифровых технологий. MOM обеспечивает больший охват процессов, лучшую интеграцию и более глубокие аналитические возможности. Компании, осуществившие подобный переход, получают значительные конкурентные преимущества и повышают свою привлекательность на рынке.

Заключение

Система управления производством (MES) является ключевым элементом современной производственной инфраструктуры, позволяющим значительно повысить эффективность и прозрачность производственных процессов. Внедрение MES помогает предприятиям:

- снизить затраты: оптимизировать использование ресурсов, уменьшить количество брака и сократить простои оборудования;
- повысить производительность: за счет лучшей координации и планирования производства;
- улучшить качество продукции: благодаря контролю качества и идентификации слабых звеньев;
- обеспечить соответствие нормативам: возможность автоматического контроля и внесения записей, подтверждаемых ГОСТ и международными стандартами.

Однако успешное внедрение MES требует тщательной подготовки, глубокого анализа текущих процессов и активного участия персонала. Нужно уделить внимание проблемам интеграции с устаревшими системами, дефициту квалифицированного персонала и ряду других вопросов.

Тем не менее, правильно выбранная и профессионально внедренная MES-система может стать катализатором развития предприятия, обеспечивая быстрый рост и повышение конкурентоспособности.

Рекомендации для предприятий, планирующих внедрение MES:

- *Четко формулируйте цели и задачи*

Перед началом проекта четко сформулируйте цели внедрения MES и задачи, которые планируется решить. Определите, какие именно проблемы и задачи должна решить новая система, какие показатели эффективности вы хотите улучшить и как будете измерять успех.

- *Выберите подходящее решение*

При выборе MES-системы обратите внимание на ее функциональность, совместимость с существующими системами (ERP, PLM, SCADA и др.),

масштабируемость и открытость интерфейсов. Лучше отдать предпочтение зарекомендовавшим себя системам с хорошей репутацией и поддержкой.

– *Подготовьтесь к интеграции*

Проведите всесторонний анализ ваших текущих процессов и подготовьте необходимую инфраструктуру для интеграции MES с другими системами предприятия. Оцените возможности интеграции с устаревшими системами и примите меры для их модернизации или обхода трудностей.

– *Обучите персонал*

Обучение работников является одним из ключевых моментов успешного внедрения. Убедитесь, что ваша команда готова осваивать новую систему, убедитесь, что все работники знакомы с принципами работы MES и умеют пользоваться ею на практике.

– *Начните с небольшого пилотного проекта*

Вместо полного и внезапного внедрения попробуйте начать с пилотного проекта на отдельной площадке или в отдельном подразделении. Это даст возможность выявить возможные проблемы и откорректировать план действий перед широкомасштабным внедрением.

– *Выделите достаточное финансирование*

Внедрение MES требует значительных финансовых вложений. Убедитесь, что у вас есть достаточный бюджет для покупки лицензии, оплаты интеграционных работ, обучения персонала и последующего обслуживания системы.

– *Готовьтесь к постоянным улучшениям*

Будьте готовы к тому, что внедрение MES – это не одноразовый акт, а долгий процесс постоянных улучшений и коррекции. Будьте открыты к обратной связи от работников и заказчиков, будьте готовы корректировать и совершенствовать систему по мере необходимости.

– *Берите во внимание опыт других предприятий*

Изучите опыт других предприятий, уже внедривших подобные системы. Обращайтесь к сообществу коллег, читайте тематические публикации и аналитические обзоры, консультируйтесь с экспертами и поставщиками решений.

Следуя этим рекомендациям, ваше предприятие сможет уверенно войти в мир современных технологий управления производством и извлечь из этого максимум пользы.

Список используемой литературы

1. Андреев Е. Б. MES-системы: взгляд изнутри. - 2015.
2. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. – 2011
3. Добренко Н.В. Интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений в MES-системах с использованием больших языковых моделей. - 2024
4. Гончаренко Д.В. Повышение эффективности производства с помощью использования MES-систем. - 2017
5. Шпандарук В.А. Российские MES-системы: достоинства, недостатки и примеры применения. - 2024
6. Боровков А.И. Анализ рынка систем управления производством (MES-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад. - 2024
7. Асланова И.В. MES как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия. - 2017
8. Нурпейсов Т.С. Разработка MES-системы для управления технологическим процессом гидроочистки нефтепродуктов. - 2026
9. Степанов Д.Ю. Интеграция ERP и MES-систем: взгляд сверху. - 2016
10. Егоров А.А. MES как нервная система современного умного производства. - 2024
11. Смелов А.Ю. Информационная поддержка предприятий по производству фосфорных удобрений с применением MES-систем. - 2012
12. Кужанбаев Р.Т. Современные и перспективные методы диспетчеризации на производстве. опыт и проблемы внедрения и применения erp, mes, scada и csgr систем на российских предприятиях. - 2020
13. Толепбергген С.О. Место и роль MES (Manufacturing Execution systems) в оперативном управлении предприятием. – 2015
14. Куликов Ю.А. Особенности систем оперативного управления производством на промышленных предприятиях. – 2015
15. Дворянкин О.А. Борьба за информационные (цифровые) платформы в интернете. – 2021

16. Камшилов С.Г. Определение уровня автоматизации бизнес-процессов на промышленном предприятии. – 2015
17. Гелисханов И.З. Цифровые платформы в экономике: сущность, модели, тенденции развития. – 2018
18. ГОСТ Р МЭК 62264-1-2010. Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология. – 2014
19. ГОСТ Р МЭК 62264-3-2012 «Интеграция систем управления предприятием. Часть 3. Рабочая модель управления технологическими операциями. – 2015
20. Высочин С.В. Принципы построения систем для расчёта производственных расписаний. – 2008
21. Глазов М.М. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятий: учебное пособие. – 2012
22. Афонасова М.А. Экономика предприятия: учебное пособие. – 2014
23. Тирон Г.Г. Взаимосвязь стратегического и оперативного управления как фактор развития производства. – 2004

Иные источники

24. Опросная форма об эффектах от внедрения MES систем в деятельности промышленных предприятий. ФГАУ «ЦИТ», 2026 г. <https://expertise.fcpriirf.ru/survey/hb/1148/results/>.
25. Таблица сравнения MES-систем. <https://inner.su/articles/tablitsa-sravneniya-mes-sistem/#table-cost>

Приложение № 1
к аналитическому исследованию
о цифровой трансформации промышленности

MES-система (производитель, страна)	Основная сфера применения	Функционал				Интеграция				Стоимос ть коробоч ного решения , млн руб.	Техническая поддержка	Преимущества	Недостатки
		Планирование производства	Контроль качества	Управление ресурсами	Анализ производи тельности	ERP	PLM	SCADA	Legacy				
Зарубежные MES-системы													
Siemens Opcenter (Siemens, Германия)	Машиностроен ие, металлургия, электроника	●	●	●	●	●	●	●	●	1–10	Круглосуточ ная, региональны е офисы	Мощная, надёжная, широкий функционал	Сложная настройка, высокая стоимость
Rockwell FactoryTalk (Rockwell Automation, США)	Производствен ная автоматизация	—	●	●	●	●	○	●	●	0,8– 8	Телефонная линия, онлайн- сервисы	Простота использования, хорошая интеграция с оборудованием Rockwell	Дорогая лицензия, ограниченная интеграция вне экосистемы
ABB Ability Genix (ABB, Швеция)	Энергетика, промышленнос ть инфраструктур а	○	●	●	●	●	○	●	●	1,5– 15	Международ ная сеть представител ьств	Удобный интерфейс, мощная аналитика	Высокая стоимость, сложность обучения
AspenTech aspenONE MES (AspenTech, США)	Нефтехимия, фармацевтика	●	●	●	●	●	○	●	●	2–20	Обучение персонала	Отличная аналитика, мощная платформа	Требуе т тщательной подготовки данных, дорогая эксплуатация
Schneider Electric EcoStruxure Plant (Schneider Electric, Франция)	Электроэнерге тика, инженерные сети	○	●	●	●	●	○	●	●	1,2– 12	Многолетний опыт, сервисные центры в РФ	Хорошая интеграция с инфраструктуро й Schneider	Сложности адаптации для крупных российских предприятий

Honeywell MES (Experion PKS) (Honeywell, США)	Химическая, пищевая, энергетика	○	●	●	●	●	○	●	●	1,5–15	Качественная поддержка, горячие линии	Эффективный контроль процессов, удобное управление запасами	Трудности с настройкой, иногда недостаточный функционал
Wonderware Intelligence (Aveva Group, Великобритания/США)	Индустриальная автоматизация	—	●	●	●	●	○	●	●	0,8–8	Хорошее обслуживание, помощь в эксплуатации	Лёгкий сбор и анализ данных с оборудования, удобная панель	Не хватает некоторых инструментов в отчётности, сложная структура лицензий
Emerson Ovation (Emerson, США)	Энергоуправление, регулирование процессов	—	●	●	●	●	○	●	●	1,2–12	Глобальная поддержка	Надёжная система для технологического процесса, качественная интеграция	Проблемы с локализацией, высокая цена
Lantek IntelliMES (Lantek Systems, Испания)	Металлообработка, резка металлов	●	●	●	●	●	●	●	●	0,5–5	Поддержка через партнёров, локализация	Подходит для металлообработки, эффективное управление ресурсами	Ограниченность по отраслям
APSIM (CSIRO, Австралия)	Агропроизводство, моделирование	—	○	○	○	—	—	—	—	Бесплатно	Минимальная, проект некоммерческий	Универсальность, бесплатность, активное применение учёными	Нет официальной поддержки, сложность освоения
DeltaV (Emerson, США)	Нефтепереработка, химия, газ	—	●	●	●	●	○	●	●	1,5–15	Квалифицированная поддержка, гарантия	Надёжность, удобство в использовании, высокое качество обработки данных	Возможны проблемы с поиском кадров для настройки

SIMATIC PCS 7 (Siemens, Германия)	Крупные промышленные комплексы, химия, энергетика	○	●	●	●	●	●	●	●	1,5–15	Немецкое качество, авторизованные партнёры в РФ	Гибкость настроек, простота эксплуатации, качественное оборудование	Высокая начальная стоимость, необходимость дополнительного обучения
PI System (OSIsoft / AVEVA, США)	Облачное хранилище данных, аналитика	—	●	●	●	●	○	●	●	1,2–12	Глобальное покрытие, квалифицированное сопровождение	Прекрасно справляется с большими объёмами данных, надёжная система сбора информации	Дорогое решение, сложный процесс миграции данных
Отечественные MES-системы													
Промобит MES (ООО «Промобит», Россия)	Металлургия, машиностроение	●	●	●	●	●	○	●	●	0,4–4	Русскоязычная, высокая квалификация инженеров	Лояльность поставщиков, быстрое внедрение, удобные отчёты	Документация требует улучшений, ограниченное распространение на крупных предприятиях
ИНТЕГРАЛ-MES (ЗАО «Интеграл-М», Россия)	Производство, проектно-конструкторская деятельность	●	●	●	○	●	○	●	●	0,3–3	Локализованная поддержка, консультации	Экономичное решение, удобный интерфейс, хороший сервис	Невысокий уровень узнаваемости, нехватка маркетинга
Astra-LUX (ГК IBS, Россия)	Автоматизация документооборота, управление	—	○	○	○	●	—	○	○	0,5–5	Официальная служба поддержки, обновление версий	Простота внедрения, удобное управление пользователями	Недостаточное развитие функционала для сложных производств
ProPlan (АО «Инновационные технологии», Россия)	Планирование, бюджетирование, управление ресурсами	●	○	●	○	●	○	○	○	0,3–3	Консультации по установке и работе, дистанционная поддержка	Доступная цена, понятный интерфейс, быстрая установка	Недостаточное обширное функционал для крупных предприятий

СПРУТ- Управление производством (АО «Фирма Спрут», Россия)	Проектирование, изготовление изделий, автоматизация	●	●	●	●	●	○	●	●	0,4–4	Своевременная поддержка пользователей, техпомощь	Прозрачность управления, удобное создание документов, российский аналог западных решений	Непростая интеграция с устаревшим оборудованием
1С:Управление производством (Фирма «1С», Россия)	Складской учёт, финансовое планирование, бухгалтерия	●	●	●	●	●	—	—	○	0,15–1,5	Поддержка сертифицированными партнёрами, горячие линии	Популярность, доступность, лёгкая интеграция с продуктами 1С	Мелкие недостатки, зависимость от квалификации и подрядчика

Обозначения: ● – полная поддержка / наличие; ○ – частичная поддержка / ограниченно; — – отсутствует

Примечания:

Наличие функционала «Планирование производства»:

- Да: Полноценный встроенный модуль планирования производства.
- Нет: Функция отсутствует либо минимально реализована.
- Частично: Есть ограниченная поддержка функций планирования (может потребоваться дополнительная настройка или интеграция сторонних модулей).

Наличие функционала «Контроль качества»:

- Да: полноценная реализация функциональности контроля качества (регистрация дефектов, статистический анализ, связь с нормативной документацией);

- Ограниченно: частичная поддержка (функционал присутствует, но ограничен спецификой области — например, исключительно аграрные показатели);
- Частично: базовый функционал доступен, но необходим дополнительный специализированный инструмент или отдельная конфигурация для полноценного контроля качества.

Наличие функционала «Управление ресурсами»:

- Да: полноценный функционал управления ресурсами (оборудование, материалы, персонал, энергоносители).
- Частично: базовые возможности присутствуют, но специализированные задачи требуют дополнительной конфигурации или стороннего ПО.

Наличие функционала «Анализ производительности»:

- Да: полный набор инструментов для анализа показателей производительности (KPI, OEE, отчёты по эффективности, сравнение планов и фактического исполнения).
- Ограничено: инструментарий имеется, но сильно привязан к определённой сфере (например, сельскому хозяйству в случае Apsim).
- Частично: существует минимальный набор инструментов анализа производительности, однако глубокая аналитика возможна лишь через дополнительную настройку или подключение внешних приложений.

Наличие функционала интеграции с системами класса ERP (Enterprise Resource Planning):

- Да: имеется полная или расширяемая функциональность интеграции с популярными ERP-системами (SAP, Oracle E-Business Suite, Microsoft Dynamics, 1C и др.).

– Нет: отсутствуют средства для прямой интеграции с ERP-системами (необходимо дополнительное программное обеспечение или разработка собственного API).

Наличие функционала интеграции с системами класса PLM (Product Lifecycle Management):

– Да: предусмотрена прямая интеграция с популярными PLM-системами (например, Teamcenter, Windchill, Enovia и т.п.) для обмена информацией о конструкциях, изделиях и материалах.

– Частично: имеются механизмы взаимодействия с PLM, но возможно потребуется дополнительно настроить интерфейсы передачи данных или разработать кастомные компоненты.

– Нет: интегрироваться с PLM невозможно или затруднительно, интеграция доступна только через сторонние сервисы или собственное API.

Наличие функционала интеграции со SCADA-системами (Supervisory Control And Data Acquisition):

– Да: поддерживается прямое подключение и обмен данными с различными SCADA-системами (WinCC, CitectSCADA, iFix, InTouch и т.д.). Поддерживается двунаправленный обмен информацией и данными в режиме реального времени.

– Нет: прямого подключения к SCADA-системам нет, требуется внешняя интеграция (API, специальные адаптеры).

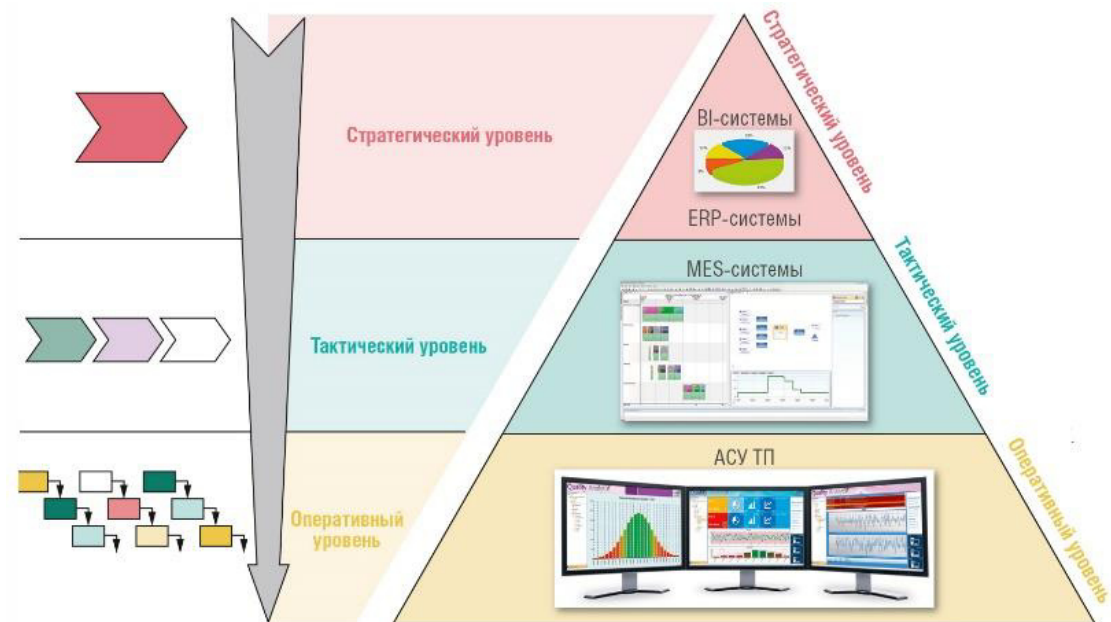
– Частично: поддержка подключений к некоторым популярным SCADA-системам, возможны ограничения по полноте функционала или масштабируемости интеграции.

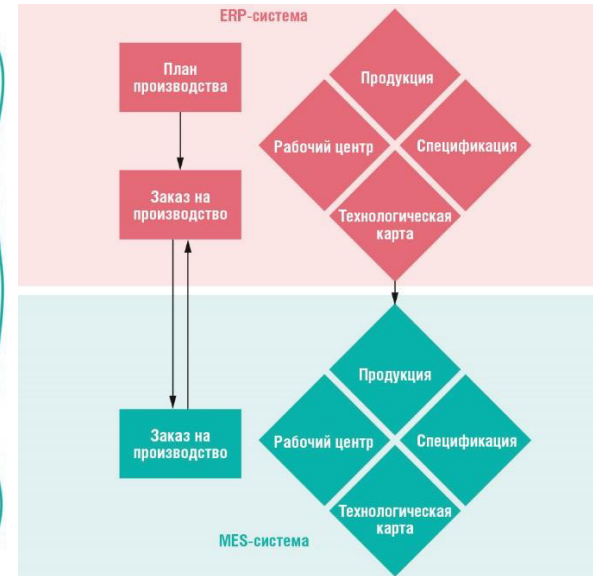
Наличие функционала интеграции с legacy-системами (устаревшими информационными системами):

- Да: предусмотрен широкий спектр механизмов интеграции с устаревшими информационными системами, такие как стандартные протоколы связи (OPC, MQTT, Modbus), API-интерфейсы, поддержка промежуточных форматов (XML, JSON, CSV).
- Нет: система изначально не поддерживает интеграцию с legacy-приложениями без существенных доработок.
- Частично: поддержка интеграции существует, но ограничивается некоторыми отдельными компонентами или интерфейсами, требуются индивидуальные настройки или сторонние адапторы.

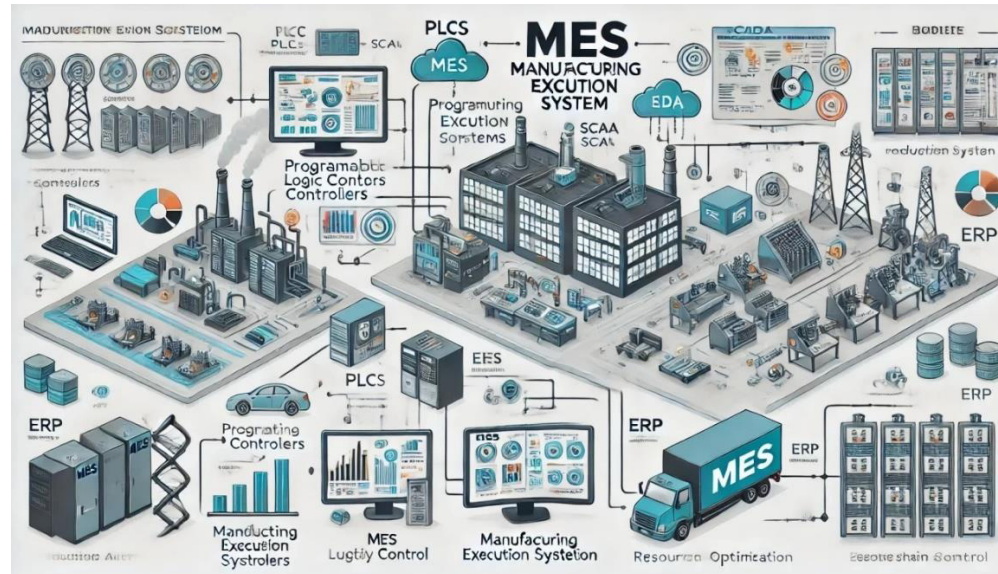
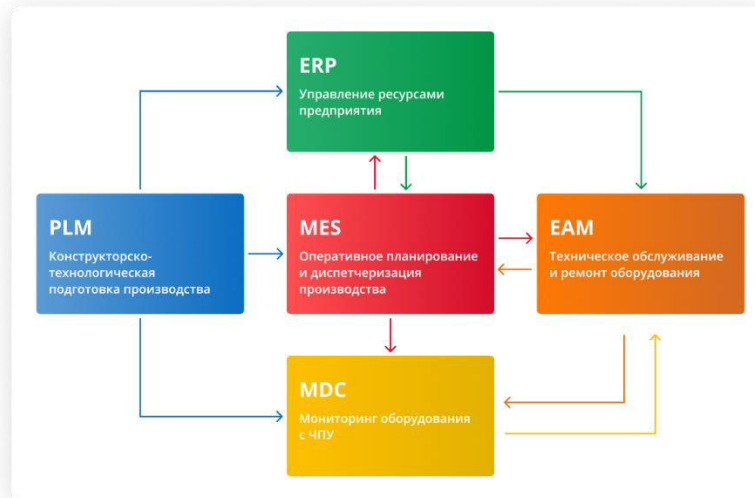
Приложение № 2
к аналитическому исследованию
о цифровой трансформации промышленности

Интеграция с ERP (Enterprise Resource Planning).

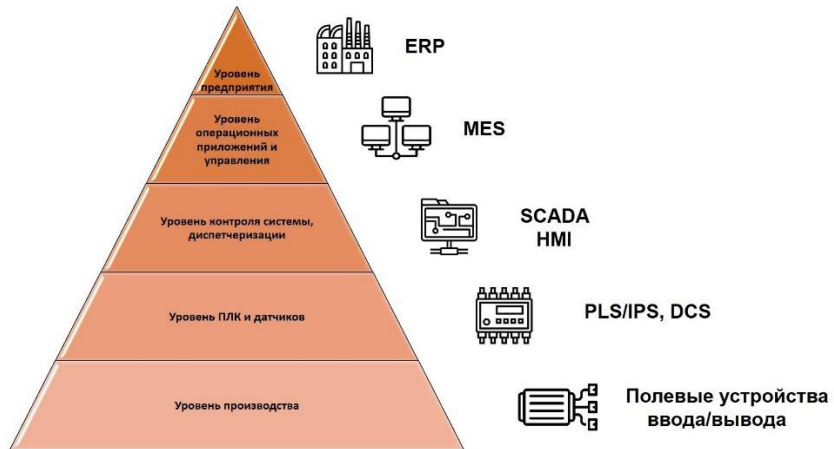




Интеграция с PLM (Product Lifecycle Management).



Интеграция со SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).



Интеграция с ИИТ (Industrial Internet of Things).

