

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Производственная система	
1.1. Понятие производственной системы	
1.2. Типы и характеристики производственных систем	
1.3. Методы и подходы развития производственной системы	
Тема 2. Тенденции развития производственных систем современного машиностроительного предприятия	
2.1. Современные тенденции развития машиностроительного предприятия	
2.2. Уровни технологической зрелости предприятия	
2.3. Реализация и внедрение технологий Индустрии 4.0	
Тема 3. Зарубежные и отечественные практики развития производственных систем в парадигме Индустрии 4.0	

Тема 1. Производственная система

1.1. Понятие производственной системы

Рассмотрим понятие производственная с точки зрения системного анализа. Существует несколько десятков определений термина «Система». Но в общем все определения в той или иной степени определяют *систему*, как совокупность элементов взаимосвязанных между собой и нацеленных на выполнение главной цели. При этом система может включать в себя подсистемы каждая из которых может иметь свою цель. На открытую систему может оказывать влияние окружающая среда, системы могут изменять свою структуру и характер связей между элементами системами. Понятно что *производственная система* это совокупность подсистем или элементов нацеленных на производство материальных объектов и получение в результате этого экономической выгоды, в нашем случае - электровоза, завода, сельскохозяйственной машины или технологической машины - станка. На производственную систему могут оказывать влияние внешние факторы, например, экономическая ситуация в стране, сезонный спрос на продукцию и т.д.

Производственные системы, обладают определёнными характеристиками или особенностями, такими как: изменчивостью (отдельные параметры системы могут иметь нестационарное состояние и отличаться стохастичностью поведения), непредсказуемость поведения (невозможность спрогнозировать поведение системы в условиях влияния на неё внешних факторов, например, в условиях конкуренции или в условиях ограниченности ресурсов), способность менять структуру, способностью противостоять разрушающим факторам, адаптацией. Но все особенности производственной системы подчинены основной цели - получению экономической выгоды.

Производственная система включает в себя ряд подсистем: производственная подсистема (как основная часть системы), управленческая

подсистема, вспомогательная и т.д. Состав производственной системы может меняться в зависимости от отрасли производства, зависеть напрямую от размера производственной системы и т.д.

Эффективность производственной системы это способность системы преобразовывать материальные ресурсы и ценности в конечный продукт с наименьшими затратами со стороны самой системы, так же система должна обладать способностью к обучению, развитию, самоанализу. Производственная система нацелена на получение конечного продукта, так же как и все ее элементы подчиняются этой главной цели, т.е система является целенаправленной. В условиях современных требований производственная система должна уметь подстраиваться под окружающую среду, например под требования конечного потребителя продукции, для удовлетворения потребностей этого самого потребителя. Например, для обеспечения сервисного и послегарантийного обслуживания сельскохозяйственной техники, многие предприятия этого сегмента открывают свои центры обслуживания, что бы увеличить прибыль от выпускаемой продукции и не потерять своих клиентов.

Понятно что производственная система это сложная система, одной из высших форм человеческой деятельности. Производственная система содержит множество подсистем находящихся в строгой иерархии между собой и связанных друг с другом определенным способом. Причём связи и иерархические цепочки могут меняться в процессе развития системы. В качестве подсистем выступают цеха, участки, различные отделы. В тоже время любая производственная система является подсистемой более сложной системы, например отрасли.

Начальным подуровнем производственной системы можно считать технологическое оборудование, различные аппараты и обслуживающих эти машины операторов. Машина и человек образуют начальный подуровень состоящий из двух взаимосвязанных объектов - машина - человек.

Совокупность подсистем машина - человек и вспомогательный персонал образуют подсистему более высокого уровня - производственный участок, производственные участки объединяются в подсистемы следующего уровня - цех или участок в зависимости от формы организации предприятия. Подсистемы более высокого уровня начиная от уровня производственного участка представляют собой сложные системы обладающие своей структурой и организацией, содержащей свои связи.

Одним из важных требований к производственной системе является ее целостность. Т.е функционирование всех подсистем подчинено одной главной цели - выпуск продукта. Для это в системе требуется осуществить проектирование, расчёт и изготовление продукции в соответствии с технологическими требованиями.

Если обратится к понятию производственная система с точки зрения организации технологических процессов, то можно сказать что производственная система это совокупность технических устройств, программного обеспечения, информационных баз данных, людей и т.д. нацеленных на производство материального объекта, в соответствии с заданной технологией производства - готовой продукции. Производственная система с точки зрения технологических процессов должна включать в себя ряд последовательно выполняемых действий, при помощи инструментов, машин и человека.

С какой бы стороны не сматривалась производственная система нужно понимать что это сложный объект, находящийся в постоянной связи с внешним миром.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое производственная система с точки зрения системного анализа?
2. Что такое производственная система с точки зрения организации производственных процессов?

3. Охарактеризуйте различные уровни производственной системы?
Приведите пример.

1.2. Типы и характеристики производственных систем

Комплексная характеристика особенностей производственной системы определяет тип производственной системы. Так на на характеристику оказывают влияние такие факторы как: организации производственной системы, масштабы выпускаемой, номенклатура выпускаемой продукции и размеры продукции. технического уровня определяют по нескольким параметра.

Так в зависимости от номенклатуры, размера и объёмов выпускаемой продукции производственные системы разделяют на системы с единичным, серийным и массовым производством и производство с непрерывным процессом переработки. Сравнительные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики производств.

Параметр	Тип производства		
	Единичный	Серийный	Массовый
Номенклатура и объем выпуска	Номенклатура выпускаемого изделия не ограничена	Номенклатура выпускаемых изделий ограниченная	Номенклатура выпускаемых изделий ограниченная, выпускается большим объёмом
Повторяемость номенклатуры выпускаемой продукции	Не повторяется	Продукция выпускается партиями. Партия может быть мелкой, средней и крупной	Однотипная продукция выпускаемая постоянно на протяжении какого-то промежутка времени
Технологическое оборудование	Технологическое оборудование универсальное. Расстановка станочного оборудования не	Технологическое оборудование как универсальное (в случае мелких партий) и специальное	Технологическое оборудование специальное, узкоспециальное. Оборудование расположено в

	принципиальная Закрепление операции за станком отсутствует	(средняя и крупная партия). Технологическое оборудование располагается группами для обработки однородных элементов	соответствии с технологическим циклом изготовления. За каждым станком закреплена одна - две технологические операции
Годовой объем выпускаемой продукции	1. При масса до 20 кг. - до 100 шт. 2. От 20 до 300 кг. - до 10 шт. 3. Свыше 300 кг. - 1-5 шт.	<u>Мелкосерийное</u> 1. При масса до 20 кг. - 101 - 500 шт. 2. От 20 до 300 кг. - 11 - 200 шт. 3. Свыше 300 кг. - 6 - 100 шт. <u>Среднесерийное</u> 1. При масса до 20 кг. - 501 - 5000 шт. 2. От 20 до 300 кг. - 201 - 1000 шт. 3. Свыше 300 кг. - 101 - 300 шт. <u>Крупносерийное</u> 1. При масса до 20 кг. - 5001 - 50000 шт. 2. От 20 до 300 кг. - 1001 - 5000 шт. 3. Свыше 300 кг. - 301 - 1000 шт.	1. При масса до 20 кг. - свыше 50000 шт. 2. От 20 до 300 кг. - свыше 5000 шт. 3. Свыше 300 кг. - свыше 1000 шт.

Так же существует обособленный вид производственной системы - системы с непрерывным процессом переработки (continuous process conversion system). Данный тип производственной системы нацелен на выпуск значительного объёма одноимённой продукции измеряемой в различных единицах (тоннах, метрах, единицах объёма и т.д.). Такой тип производства характерен, например, для металлургических предприятий выпускающих прокатную сталь, алюминиевые чушки, или для нефтеперегонных предприятий и т.д.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Приведите характеристики единичного типа производства?
2. Приведите характеристики среднесерийного типа производства?
3. Приведите характеристики массового типа производства?

4. Приведите характеристики производственных систем непрерывного процесса переработки?
5. Сравните все типы производств?

1.3. Методы и подходы развития производственной системы

Современный промышленный мир диктует свои требования к производственным системам. Для того что бы «оставаться на плаву» современной производственной системе приходится развиваться и адаптироваться к внешним факторам. Для обеспечения выпуска конкурентноспособной продукции требуется уменьшение себестоимости и повышение качества выпускаемой продукции.

Как говорилось ранее, производственная система обладает способностью к адаптации и саморазвитию, т.е система должна иметь возможность изменения и пополнения набора определённых инструментов, таких как управленческие технологии, методы и инструменты для реорганизации и организации производственных процессов с минимальными сроками и обеспечить соответствующий уровень выпускаемой продукции. К таким методам можно отнести: технологии «Бережливого производства» (TPS/LEAN), статистическое управление производственными процессами (SPC), методы теории ограничений ТОС, методы быстрой переналадки оборудования (SMED), параметрическая и структурная оптимизация производственных процессов. Так же важным параметром развития производственных систем способность выявлять и устранять скрытые производственные факторы, в результате которых могут возникнуть производственные издержки. Это может оказать влияние на потребительскую ценность продукта и увеличению затрат на поддержание качества продукции.

Остановимся более подробно на перечисленных ранее метода.

Технология «Бережливого производства» (TPS/LEAN). Данная технология это скорей целая производственная философия. Суть в

вовлечении в процесс оптимизации производственных издержек каждого сотрудника предприятия и максимальной клиентоориентированности, т.е. постоянное стремление к устранению все видов потерь. Данное понятие ввели американские исследователи на основе анализа деятельности компании Toyota.

Одним из основополагающих факторов является ценность качества конечного продукта, его оценка на всех этапах его производства. В результате оценки предполагается создание возможностей устранения любых действий приводящих к пустым затратам ресурсов. Для определения этих пустых затрат иногда применяют термин из производственной системы Toyota — muda (яп. 無駄 муда), означающий всевозможные затраты, потери, отходы, мусор. Примером может служить складирование промежуточного продукта на складе или сервисном центре, что приведёт к дополнительным производственным издержкам, не нужных конечному потребителю, но «лежащих на его плечи».

Основной задачей «бережливого производства» считается планомерное сокращение всех производственных процессов не добавляющих ценности конечному продукту.

Один из основателей компании Toyota Тайити Оно выделил 7 видов производственных потерь (рис.1): из-за перепроизводства, из-за лишних технологических операций, из-за ненужных перемещений, из-за выпуска бракованной продукции, из-за ожидания, из-за ненужной транспортировки, из-за лишних запасов. В дальнейшем Джеффри Лайкер, исследователь производственной системы Toyota добавил ещё один вид потерь - нереализованный творческий потенциал сотрудников. Так же выделяют еще выделяют два не маловажных источника потерь это: перегрузка рабочих, сотрудников или мощностей при работе с повышенной интенсивностью и неравномерность выполнения операции, например, сезонность работы.



Рис.1. 7 видов потерь на каждом производстве

В настоящее время предложено много способов достижения концепций «Бережливого производства». Среди них такие как достижение превосходного качества (сдача с первого предъявления, система «ноль дефектов», обнаружение и решение проблем у истоков их возникновения), гибкость, установление долговременных отношений с потребителями (путём деления рисков, затрат и информации). Если обратиться к основоположникам понятия «Бережливое производство», то компания Toyota базируется на двух принципах: «точно вовремя» и автономизации. Принцип «точно вовремя» означает что требуемые элементы необходимые на сборочном конвейере должны поступать в требуемом количестве в требуемое время, что позволяет сократить складские запасы. Второй принцип требует внедрение в производство автоматизированного технологического оборудования с

возможностью самодиагностики, возможностью исправления своих неисправностей, анализом качества выпускаемой продукции, с возможностями сигнализировать в случае необходимости помощи и т.д.

Понятно, что технология «бережливого производства» это сложное многогранное понятие, однако оно нашло широкое промышленное применение в мировой промышленной практике.

Следующим методам развития промышленного предприятия следует считать метод *статистическое управления производственными процессами (SPC)*. Это метод мониторинга производственного процесса с целью управления качеством выпускаемой продукции на всех этапах производства. В качестве инструментов мониторинга применяются статистические инструменты анализа.

Данный метод управления принят обязательным на промышленных предприятиях Европы и Японии с момента внедрения стандарта ISO/TS 16949 в автомобилестроении. Российским аналогом этого стандарта является ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 «Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ИСО 9001:2008 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части». Но в отличие от РФ в странах Европы и Японии стандарт является обязательным и относится почти ко всем отраслям промышленности. В США существует аналог данного стандарта и так же является обязательным.

Основным инструментом этого метода является контрольная карта Шухарта. Карта представляет собой графическое средство сбора данных и принятия решений относительно стабильности или предсказуемости любого процесса, что определяет способы управления соответствующим процессом.

Цель данного метода в выявлении особых причин изменения системы, приводящих её в нестабильное состояние, и нахождении способ их устранения, поддержание производственной системы в состоянии

управляемого процесса, снижение вероятности выпуска бракованной продукции и конечного времени всего производственного цикла.

Следующий метод - *метод теории ограничений ТОС*. В 80-х годах прошлого века Элияху Голдратт разработал методологию управления системами в различных сферах деятельности человека - теорию ограничений. Данная теория базируется на поиске и управлении ключевыми ограничениями системы, определяющих эффективность действия всей системы и её успех. Основной особенностью методологии данной системы является то, что совершая определённые усилия по управлению малым количеством элементов системы, достигается эффект, намного превышающий результат одновременного воздействия на все или большинство проблемных элементов системы сразу или поочерёдно. Основной подход в теории ограничений нацелен на то что бы выявить ограничения и осуществить управления этими ограничениями для эффективного достижения конечной цели. Под эффективностью в этом случае подразумевается максимальная скорость достижения конечной цели с минимально возможными затратами, без ограничения конечной цели по содержанию. Теория включает в себя набор логических инструментов, позволяющих найти ключевые ограничения и стоящее за ними управленческое противоречие, найти решение и способы его внедрения с учётом интересов всех заинтересованных сторон. Разработаны прикладные решения теории ограничений для управления производственным процессом, управлением проектами при разработке новой продукции и т.д.

Далее рассмотрим метод *быстрой переналадки оборудования (SMED)*. Метод быстрой переналадки можно отнести к к технологии «бережливого производства». Суть метода в том что бы сократить издержки производства при переналадке и переоснастке оборудования и включает в себя ряд теоретических и прикладных приёмов, позволяющих сократить время подготовительных операции.

Автором этого метода является Сигео Синго. Он смог обнаружить некоторую закономерность встречающуюся на предприятиях в процессе переналадке, которые стали основой его системы SMED. Так он выяснил что: некоторые операции переналадки можно осуществлять только при полной остановке оборудования (например, смена пресс-формы), а другие операции переналадки возможно осуществлять в процессе работы оборудования (например, элементы крепления этой самой пресс-формы). В результате этих наблюдений, Сигео Синго пришёл к выводу, что при переводе как можно большего числа операции переналадки в операции выполняемые в процессе работы оборудования или внешние операции, можно в несколько раз сократить время переналадки оборудования в целом.

Так автор метода предлагает несколько вариантов при внедрении технологии SMED: отделение внутренних операций от внешних, максимально возможное преобразование внутренних операций во внешние, применение унифицированных элементов оборудования, использование в технологическом оборудовании как можно более меньшего числа различных крепёжных элементов и замена их на многофункциональные зажимы, применение промежуточных приспособлений, применение параллельных операции.

Метод структурной оптимизации и метод параметрической оптимизации производственных процессов включает в себя различные методы анализа структуры предприятия и технологического процесса на предприятии. Данные методы позволяют выявить наиболее слабые места предприятия с точки зрения процессов производства и точки зрения структуры самого предприятия. В настоящее время в наборе математического моделирования появились программные продукты позволяющие осуществить имитационное моделирование реального объекта. Данный тип программ позволяет в режиме реального времени оценить эффективность использования рабочего время на производстве, так выпуска, отследить

логистические операции внутри предприятия, разработать наиболее эффективную, с точки зрения компоновку технологического оборудования, с учётом особенностей производства.

Как видно, из всего вышесказанного для развития любого машиностроительного предприятия требуется внедрение новых технологий и методов принятых на вооружение в различных странах мира. Для определения слабых мест в уже существующих предприятиях существуют свои методы оценки и выявления этих мест. Для подготовки к запуску новых предприятий существуют методы имитационного моделирования для оценки эффективности и разработки рекомендации. Только в результате работы по внедрению передовых технологии возможно выйти на конкурентноспособный уровень выпускаемой продукции.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите основные методы развития современного предприятия?
2. Что из себя представляют технологии «Бережливого производства» (TPS/LEAN)?
3. Что из себя представляют методы статистическое управления производственными процессами (SPC)?
4. Что из себя представляют методы теории ограничений ТОС?
5. Что из себя представляют методы быстрой переналадки оборудования (SMED)?
6. Что из себя представляет параметрическая оптимизация производственных процессов?
7. Что из себя представляет структурная оптимизация производственных процессов?

Тема 2. Тенденции развития производственных систем современного машиностроительного предприятия

2.1. Современные тенденции развития машиностроительного предприятия

Развитие промышленности в стране тесно связано с уровнем машиностроительного производства. Машиностроительное производство является не только поставщиком машин и аппаратов для всех сфер деятельности человека, но и направлением деятельности человека оперативно откликающейся на современные тенденции, научно-технические изобретения и идеи. Машиностроение позволяет разрабатывать новые и совершенствовать существующие машины и устройства для облегчения человеческого труда. Такое явление как четвёртая промышленная революция или Индустрия 4.0, не могли не оказать влияние на машиностроительный комплекс в целом.

В настоящее время к машиностроительному комплексу предъявляют повышенные требования. Выпускаемая продукция должна соответствовать техническому уровню, качеству и надёжности, при этом на производство каждой единицы техники должно тратиться как можно меньше времени, к деталям машин предъявляются повышенные требования. От момента технического задания до выпуска готовой продукции, необходимо максимально сократить время цикла создания готового продукта. Все эти требования связаны с темпами развития науки и внедрением новых технологии в производство, что приводит к тому что часть машин не успевает выйти в серийное производство, а уже, можно сказать, морально устарели.

Одним из основных критериев оценки технической оснащённости предприятия является гибкое автоматизированное производство (ГАП). Это производство имеющее вооружении комплекс автоматизированного технологического оборудования и оборудование для контроля и диагностики качества выпускаемой продукции, складирование и транспортировку изделий, а так же комплекс программного обеспечения позволяющего осуществить подготовку полного комплекта конструкторской и технологической документации. Технологический процесс в этом случае осуществляется

роботизированным технологическим оборудованием или гибких производственных модулей. Для управления технологическим оборудованием используют набор программ, микропроцессоры и систему датчиков.

Характерным в этом случае является применение технологии энергосбережения станков, многооперационных станков с ЧПУ, гибких производственных систем, с возможностью автоматизированной переналадки, материаловосберегающих технологий и технологии снижающих трудоёмкость. Применение промышленных роботов в технологическом процессе позволяет повысить производительность, улучшить условия труда рабочих на предприятии, улучшить показатели техники безопасности производственных процессов и уменьшить влияние человеческого фактора на качество выпускаемой продукции за счёт автоматизации технологических процессов.

Если рассматривать, перспективы дальнейшего развития машиностроительных предприятий, повышения уровня технико-экономических показателей производства и качества готовой (выпускаемой) продукции, то следует оценивать уровень решения ряда задач. Первая задача, расширение сфер применения автоматизированного проектирования. Т.е. создания такого комплекса программных продуктов, который позволит решать как можно большее количество проектных задач. Вторая задача, повышение надёжности и ресурса машин. Решение этой задачи возможно за счёт применения новых технологий изготовления элементов машин (например, применение аддитивных технологий. Аддитивные технологии также помогут решить и задачу снижения металлоёмкости конструкции машин), и новых материалов повышенной износостойкости. Ну и конечно, задача, актуальная всегда, это повышение КПД машин и снижение энергозатрат.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Основное направление развития машиностроительного производства?

2. Перечислите основные задачи для достижения максимальной эффективности машиностроительного предприятия?

3. Расскажите о возможностях применения аддитивных технологий на производстве?

2.2. Уровни технологической зрелости предприятия

С 2011 года, когда впервые была озвучена концепция Индустрия 4.0 промышленным предприятиям приходится либо воплощать на предприятиях эти концепции, либо оставаться на своём уровне развития, что в конечном итоге приведёт к закрытию предприятия. С одной стороны концепции Индустрии 4.0 кажутся фантастическими, с другой стороны уровень развития современной техники достиг небывалых высот в настоящее время. С другой стороны, любой человек, понимающий что такое российское производство может решить, что внедрение таких концепции Индустрии 4.0, как: интернет вещей, аддитивные технологии, автономные роботы и роботизация, искусственный интеллект и т.д., это фантастика, несмотря на то что, подобные программы успешно работают во многих странах мира. Так же ясно что промышленное отставание российского производства сейчас, через несколько лет окажется отставанием на несколько десятков лет. Если не начать внедрять технологии Индустрии 4.0 сейчас, это станет большой проблемой российского производства уже через пару лет.

Внедрение технологии Индустрии 4.0 должно стать стратегическим планом развития любого предприятия , не желающего остаться не у дел через пару лет.

Что же должно послужить отправной точкой внедрения концепции Индустрии 4.0 на предприятиях? Необходимо оценить производственную и технологическую базу предприятия. Оценка производственной и технологической базы позволит понять уровень технологической зрелости

предприятия /12/ и сформировать дальнейшую стратегию развития или повышения уровней технологической зрелости.

Ключевым критерием для развития предприятия является внедрение цифровой системы управления производством. Внедрение концепции Индустрии 4.0 невозможно без цифрового управления производством. Внедрение цифровой системы управления позволит отслеживать и управлять технологическим оборудованием, производственными процессами, осуществлять оперативное планирование производственных процессов и связать все элементы технологического процесса воедино.

В журнале «Технологии в электронной промышленности» /12/ были предложены следующие уровни технологической зрелости производственного предприятия (Таблица 2). Внедрение цифровых технологий в управление производством определяет уровень технологической зрелости предприятия. Только цифровые технологии и уровень их внедрения на каждом этапе производственного цикла (начиная от отдельного технологического оборудования и заканчивая уровнем высшего руководства).

Таблица 2. Уровни технологической зрелости производственного предприятия

Уровень технологической зрелости	Уровень внедрения элементов цифровой системы управления производством
Первый уровень	Полное отсутствие цифровой системы управления производством
Второй уровень	Внедрение цифровой системы управления производством не носит комплексный характер и характеризуется автоматизацией ряда базовых составляющих, таких как кадры, бухгалтерия, разработка конструкторской документации, технологической документации и т.д..
Третий уровень	Средняя степень внедрения цифровой системы управления производством. Бумажный и электронный документооборот осуществляются параллельно в связи с недостаточной достоверностью последнего.
Четвёртый уровень	Высокая степень внедрения цифровой системы управления производством. Информационные потоки предприятия полностью

	переведены в единую цифровую систему. Решения руководителями принимаются на основании оперативной и достоверной информации, полученной из цифровой системы управления производством
Пятый уровень	Полное внедрение оперативного цифрового управления производством. Присутствует автоматизация принятия управленческих решений на основании получаемой в режиме реального времени информации о ходе производства

При достижении пятого уровня технологической зрелости предприятия можно говорить о готовности предприятия к внедрению таких технологий Индустрии 4.0 как: интернет вещей, Big DATA и т.д. Можно говорить о возможности реализации на предприятии технологий «умное производство». Без достижения предприятием пятого уровня технологической зрелости внедрение технологии Индустрии 4.0 нецелесообразно. Внедрение цифровых технологии невозможно без предварительной подготовки предприятия. В эту подготовку должны входить: автоматизация производственного процесса, внедрении CAD/CAM/CAE, систем MES и т.д.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что является ключевым фактором для внедрения концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии.
2. Перечислите уровни технологической зрелости предприятий?

2.3. Реализация и внедрение технологий Индустрии 4.0

Как говорилось выше, невозможно внедрение технологий Индустрии 4.0 в производственный процесс предприятия без достижения определённого уровня технологического и производственного развития предприятия. Так для повышения производственной и технологической зрелости предприятия и реализации концепции Индустрия 4.0 на современном промышленном предприятии можно выделить несколько этапов внедрения цифровых систем в производственные процессы (таблица 3) /12/. В таблице приведены основные направления по реализации концепции Индустрия 4.0.

Таблица 3. Этапы реализации концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии.

Этап	Требуемое программное обеспечение	Примечание
Первый этап	<p>Внедрение систем CAD/CAM/CAE</p> <p>Для обеспечения автоматизированной разработки технологической и конструкторской документации</p> <p>CAD (Computer Aided Design) - компьютерная помощь проектированию. Самая основная функция CAD - определение геометрии конструкции, поскольку геометрия определяет все последующие этапы жизненного цикла продукта и является основой для последующего использования в системах CAM и CAE.</p> <p>CAM (Computer Aided Manufacturing) - компьютерная помощь изготовлению. Системы CAM используется для планирования, управления и контроля операций производства. Наиболее важным качеством этих системы является способность автоматизировать расчеты траекторий перемещения инструмента для обработки на станках с ЧПУ.</p> <p>CAE (Computer Aided Engineering) - компьютерная помощь инженерии. CAE — это технология для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта, решения различных инженерных задач (расчет конструктивной прочности, нагрузки, напряжения, деформации, анализ тепловых процессов, расчет гидравлических систем и механизмов и др.).</p>	Компоненты первого и второго этапа реализации концепции Индустрия 4.0 позволяют осуществлять сквозное проектирование
Второй этап	<p>Внедрение систем PDM</p> <p>Для обеспечения электронного документооборота</p> <p>PDM-система (англ. Product Data Management) — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолёты и ракеты, компьютерные сети и др.).</p> <p>В PDM-системах обобщены такие технологии, как:</p> <p>управление инженерными данными (engineering data management — EDM)</p>	

	<p>управление документами</p> <p>управление информацией об изделии (product information management — PIM)</p> <p>управление техническими данными (technical data management — TDM)</p> <p>управление технической информацией (technical information management — TIM)</p> <p>управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.</p>	
Третий этап	<p>Внедрение цифровой системы управления на уровне цеха, участка</p> <p>Внедрение систем управления производственными процессами - MES систем MES (от англ. Manufacturing Execution System) – система управления производством. MES-система – это ПО, специально разработанное для повышения эффективности планирования и управления производством.</p> <p>К основным функциями MES системы относятся процессы управление процессами производства. Функциональность производственных систем MES это: приведение производственных мощностей в действие; сбор информации, связанной с производством; планирование; ведение контроля качества; установление связи между персоналом и оборудованием, между производством и поставщиками, между инженерным отделом и менеджментом и т.д.; отслеживание и изменение компонентов, сырья и полуфабрикатов, которые применяют в процессе производства; управление техническим обслуживанием и ремонтом.</p>	Внедрение данных систем позволяет осуществить диспетчеризацию и оперативное планирование на предприятии
Четвёртый этап	<p>Внедрение цифровой систему управления на уровне предприятия в целом.</p> <p>Внедрение систем ERP - системы планирования ресурсов предприятия.</p> <p>Эти системы предназначены для автоматизации и ускорения процессов ведения бизнеса (производства), что снижает негативное влияние человеческого фактора. На практике это позволяет оптимизировать работу крупной компании с большим количеством подразделений, отделов, сотрудников и клиентов.</p>	Решения на этом этапе принимаются руководителями на основании оперативной и достоверной информации полученной от цифровой системы управления производственными процессами
Пятый этап	<p>На этом этапе осуществляется интеграция технологического оборудования и программного обеспечения в единое цифровое пространство на основе принципов Индустрии 4.0.</p> <p>Система «Индустриального интернета вещей»</p>	Автоматизация принятия управленческих решений на основе полученной в

	(IIoT) Индустриальный интернет вещей (Industrial internet of things, IIoT) — это комплексная система, которая обеспечивает автоматическое управление производственными предприятиями посредством всемирной сети. Практически это выглядит так: из работы на оборудовании промышленного производства практически полностью исключается человеческий фактор, все процессы и производственные алгоритмы полностью автоматизированы и роботизированы, а управление ими осуществляется при помощи ПО на базе искусственного интеллекта (ИИ) /26/	режиме реального времени информации о ходе производства
--	--	---

Реализация концепции Индустрии 4.0 на промышленных предприятиях России не такая далёкая перспектива, как кажется. Организация предприятий по принципу «умного производства» это лишь вопрос грамотного планирования и управления предприятием.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Сколько этапов реализации концепции Индустрия 4.0 требуется для достижения высшего уровня технологической зрелости промышленному предприятию?
2. Что включает в себя первый этап реализации концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии?
3. Что включает в себя второй этап реализации концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии?
4. Что включает в себя третий этап реализации концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии?
5. Что включает в себя четвёртый этап реализации концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии?
6. Что включает в себя пятый этап реализации концепции Индустрия 4.0 на промышленном предприятии?

Тема 3. Зарубежные и отечественные практики развития производственных систем в парадигме Индустрии 4.0

На примере мирового опыта машиностроительного производства, можно смело сказать что, автоматизация сборочного производства приведёт не только к снижению стоимости конечного продукта, но и повышению качества этого продукта. Понятно, что качество сборки осуществляемой машиной зачастую выше качества сборки осуществляемой человеком (не рассматриваем единичное производство эксклюзивной продукции). По предварительным оценкам на 2017 лидером в этой сфере является Корея /27, 28/ (рис. 2). При это самый динамичный рост по покупкам роботов показала Индия /29/ (рис.3). Как видно из данных представленных на сайте международной федерации робототехники ситуация в РФ крайне печальная. Если обратится к количественным показателям на 10 т. сотрудников, то и тут РФ не выглядит удачно (рис.4).



Рис.2. Количество установленных промышленных роботов в 2017 году.

Но все же, не смотря на печальную ситуацию в РФ, многие специалисты считают что /30/ преграды для внедрения технологии Индустрии 4.0 это прежде всего экономическое состояние страны. Так например, наличие в стране дешёвой рабочей силы ставит под вопрос целесообразности приобретения на производство промышленного робота, так же сюда можно отнести неготовность многих руководителей разного уровня доверять датчикам и контроллерам. Им проще пойти и проверить самостоятельно. Ну

и конечно, не стоит недооценивать возможные экономические риски. В стране где нет собственного производства промышленных роботов, можно попасть под экономические санкции и нет возможности рассчитывать на устойчивость национальной валюты, вопрос автоматизации производственных процессов, это скорей экономический риск.

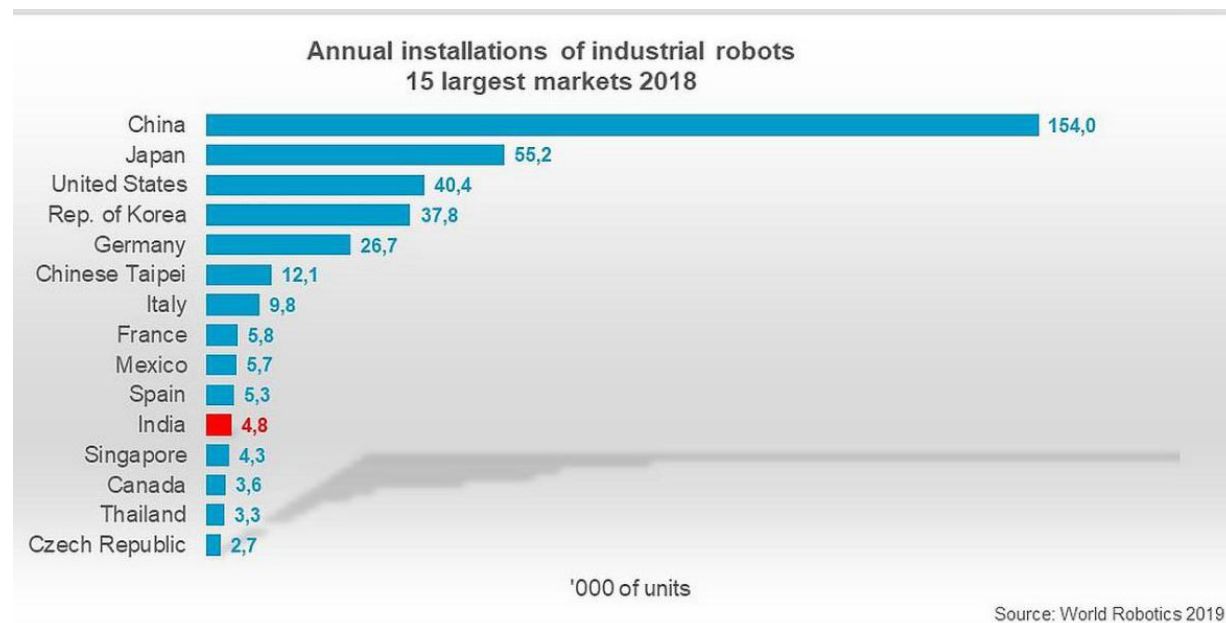


Рис.3. Количество ежегодно установленных промышленных роботов в 2018 году.



Рис. 4. Количество промышленных роботов на 10000 сотрудников.

Однако, не смотря на все трудности и преграды в РФ существуют предприятия с достаточно высоким уровнем автоматизации. Такими примерами могут быть «Макфа», ряд электростанции с использованием турбинного оборудования Siemens (Няганская ГРЭС) и GE (Курганская ТЭЦ-2), завод Volkswagen в Калуге, Фортум, DMG-Mori Seiki, FM Logistic. Так же сюда можно отнести Тихвинский вагоностроительный завод, который использует роботизированную сварочную линию: степень автоматизации на предприятии высока. В реализации концепции «Индустрия 4.0» в значительной мере продвинулись крупные российские корпорации, например, «Металлоинвест» или «Газпромнефть», а также предприятия ВПК (Росатом – РФЯЦ-ВНИИЭФ) /30/.

Остановимся подробнее на этих предприятиях.

Компания МАКФА входит в пятерку крупнейших производителей макаронных изделий, большая часть производственных процессов компании полностью автоматизированы. Остановимся подробнее на одном из проектов реализованных в 2018 году. Компания МАКФА в содружестве с компанией EME произвели полную автоматизацию склада готовой продукции. Склад обеспечивает хранение всего спектра выпускаемой продукции предприятия МАКФА, на территории склада организовано два вида хранения для разного типа продукции: напольное хранение (приоритетное размещение для муки) и стеллажное хранение (приоритетное для макаронных изделий). Реализовано разделение на зоны по товарам, в частности. отдельной является зона безглютеновой продукции. Смешение товаров разных групп в зонах не допускается. К вопросу автоматизации и внедрения WMS на складе компания «МАКФА» подошла со всей серьёзностью. В результате автоматизации склада готовой продукции были решены задачи оптимизации и значительного повышения эффективности работы склада, повышение прозрачности процессов управления, управление

автотранспортом, организация адресного хранения и оптимального размещения продукции на складе, организация учёта партий товара, полная прослеживаемость продукции от входа до отгрузки со склада, сокращены остатки с маленьким остаточным сроком годности за счёт ведения принципа FEFO, минимизированы ошибки на всех этапах работы склада, снизилось влияние человеческого фактора, точность сборки заказов увеличена в несколько раз, организован отбор продукции по срокам годности для сетевых клиентов, согласно условиям поставок, сокращён внутренний бумажный документооборот, ведётся мониторинг выполняемых заданий сотрудниками склада и работы складской техники в режиме онлайн. /31/.

Рассмотрим ещё одно предприятие - Тихвинский вагоностроительный завод (ТВСЗ) (рис.5, рис.6). В 2019 года Тихвинский вагоностроительный заводе внедрил цифровое управление производством на базе Infor ERP LN. Внедрение этой системы позволило создать в рамках предприятия современную систему управления для крупной промышленной площадки с технологическими процессами, сочетающими в себе элементы процессного, дискретного и поточного производства с высоким уровнем автоматизации. Система автоматизации охватывает помимо ТВСЗ, охватывает завод по выпуску вагонов-цистерн «ТихвинХимМаш», производство специализированных вагонов «ТихвинСпецМаш», а также цех по изготовлению комплектующих из высокопрочного чугуна, инструментальное и раскройное заготовительное производства. Реализации этих технологий позволило объединить потоки технологической и логистической информации со всех предприятий. На предприятии также внедрена автоматическая система управления качеством литейного производства. ERP-система обеспечивает поддержку роста бизнеса, в частности, в вопросах быстрой

постановки на производство появляющихся моделей продукции и обеспечения объёмов выпуска.



Рис. 5. Ячейка роботизированного модуля Кука. Тихвинский вагоностроительный завод

Внедрение системы ERP на этапе строительства, позволит создать в компании - Тихвинском вагоностроительном заводе, эффективную систему управления предприятием, его подразделениями и взаимодействующими организациями. /31/



Рис. 6. Линия сборки цистерн. ТихвинХимМаш

Так же примером внедрения технологии Индустрия 4.0 может служить компания Металлоинвест. Металлоинвест, один из крупнейших производителей и поставщик железорудной продукции и горячебрикетированного железа (ГБЖ) на мировом рынке. На этом предприятии успешно внедрены цифровые управленческие решения. Компания включает в себя множество производственных площадок. Благодаря внедрения ERP системы стало возможно объединение этих площадок в единую систему. В настоящее время ERP-система включает в себя четыре производственные площадки Металлоинвеста, трейдинговых и логистических операторов компании.

Цель программы цифровой трансформации Металлоинвеста Industry 4.0 – выход на принципиально новый уровень ведения бизнеса и достижение долгосрочного индустриального лидерства. На сегодняшний день в компании централизована функция снабжения, управления персоналом, учета и ИТ, создан общий центр обслуживания и внутреннее ИТ подразделение. Максимально упрощены бизнес-процессы технического обслуживания и ремонта, снабжения, управления запасами, учёта и расчёта себестоимости, кадрового и финансового учёта. Повышена эффективность ключевых процессов и точность планирования. Руководство Компании обеспечено информационной системой принятия решений на основе достоверных данных по всем предприятиям, доступных в единой системе.

/32/

Если говорить о наиболее удачных и успешных проектах в области цифрового производства за рубежом, то прежде всего, это, конечно, сам Siemens, который одновременно выступает в качестве разработчика технологий цифрового производства и является активным пользователем этих же технологий. И наиболее яркий пример – завод электроники Сименс в Амберге, где выпускаются промышленные контроллеры. Ассортимент выпускаемой продукции насчитывает более 1000 наименований, объем

производства – примерно 12 миллионов промышленных контроллеров в год. Качество выпускаемой продукции достигает 99,999%. Производство максимально автоматизировано, более 75% работ выполняется станками и компьютерами; система управления производством тесно интегрирована с конструкторской подсистемой; системы проектирования передают конструкторские изменения непосредственно в технологические процессы на этап изготовления. Ежедневно на заводе создается свыше 50 млн записей производственно-технологической информации, что позволяет проследить весь жизненный цикл каждого выпускаемого изделия.

Фактически изделия сами управляют процессами собственного изготовления. Нанесенные на модели коды сообщают оборудованию о технологическом маршруте и требованиях каждой выполняемой операции. Здесь мы видим реализованный подход цифрового двойника. В результате такого подхода максимальное время от заказа до отгрузки готовой продукции сократилось до 24 часов, повысился уровень удовлетворенности клиентов, увеличилось количество заказов, а также сократилась стоимость./33/

Подразделение компания Siemens Rail Systems можно сказать является передовым в области внедрения цифровых технологии на предприятии. Компания Siemens является поставщиком поездов «Сапсан» (Velaro RUS) и «Ласточка» (Desiro RUS) для ООО «РЖД». В настоящее время под Санкт-Петербургом открылся новый цех по обслуживанию поездов на базе моторвагонного депо Санкт-Петербург – Московское. Как и все предприятия Siemens депо оснащено передовыми технологическими машинами и программными продуктами позволяющим осуществлять контроль технологических процессов.

Так же можно рассмотреть пример компании Rolls-Royce. британская компания, специализирующаяся на производстве оборудования для авиации, судов и энергетического оборудования. Все технологические линии сборки

авиационных и турбированных двигателей включают в себя технологии бережливого производства, в том числе встроенную систему защиты от ошибок, защиту от повреждения посторонними предметами (Foreign Object Damage - FOD), непосредственную маркировку частей, электронные инструкции и интеллектуальные инструменты. В целом мы ожидаем сокращения общего времени сборки двигателя и лучшего качества готовых изделий.

Так же достойный для ознакомления пример это компания BOSCH. Группа компаний BOSCH активно реализует проекты в области Индустрии 4.0 на собственных производственных площадках. Ряд таких пилотных проектов уже введены в эксплуатацию. Одним из успешных проектов является новая линия сборки гидравлических клапанов в г. Хомбурге. В рамках данной линии производится идентификация продукта с помощью RFID, согласованная с планом выпуска, продукт информирует адаптируемую линию об этапах сборки. Сменные автономные сборочные места преобразуют виртуальный производственный план в конфигурацию реальной сборочной линии с автоматическими настройками сборочных станций. В рамках линии организован обмен данными в реальном времени с MES/ERP. Внедрение новой линии позволило увеличить вариативность производимых изделий с 10 модификаций до 25, минимизировать время настройки и наладки и сократить объем склада. На российских заводах группы BOSCH, компания также реализует подходы Индустрии 4.0./33/

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Приведите примеры внедрения технологий Индустрии 4.0 на российских предприятиях?
2. Приведите примеры внедрения технологий Индустрии 4.0 на иностранных предприятиях?
3. Какие примеры, на ваш взгляд, являются наиболее удачными вариантами внедрения технологии Индустрии 4.0?

Список используемых источников

1. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. — М.: «Альпина Паблишер», 2011. ISBN 978-5-9614-1654-1
2. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т., Рус Дэниел. Машина, которая изменила мир. — М.: Попурри, 2007. ISBN 978-985-483-889-2
3. Голоктеев К., Матвеев И. Управление производством: инструменты, которые работают., — СПб.: Питер, 2008. ISBN 978-5-91180-599-9
4. Тайити Оно. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства. — М: Издательство ИКСИ, 2012. ISBN 978-5-903148-39-4
5. Сигео Синго. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства. — М: ИКСИ, 2010. ISBN 978-5-903148-35-6
6. Паскаль Деннис. Сиртаки по-японски: о производственной системе Тойоты и не только. — М. Издательство ИКСИ, 2007, ISBN 978-5-903148-04-2
7. Ясухиро Монден. Система менеджмента Тойоты. — М. Издательство ИКСИ, 2007, ISBN 978-5-903148-19-6
8. Лайкер Джеффри. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира — М.: «Альпина Паблишер», 2011. ISBN 978-5-9614-1590-2
9. Шук Джон, Ротер Майкл. Учитесь видеть бизнес-процессы: Практика построения карт потоков создания ценности (2-е издание). — М.: «Альпина Паблишер», 2008. ISBN 978-5-9614-0621-4
10. Джордж Л. Майкл. Бережливое производство + шесть сигм. Комбинируя качество шести сигм со скоростью бережливого производства. — М: «Альпина Паблишер», 2007 ISBN 978-5-9614-0636-8
11. Мэри Поппендик, Том Поппендик. Бережливое производство программного обеспечения: от идеи до прибыли. — М.: Вильямс, 2010. ISBN 978-5-8459-1538-2

12. <https://www.tech-e.ru/>
13. <https://vys-tech.ru/2018/04/11/industriya-4-0/>
14. <https://mirznanii.com/a/165706/razvite-proizvodstva-v-rossii>
15. <https://controleng.ru/internet-veshhej/tsifrovaya-sistema-upravleniya-proizvodstvom-vazhny-j-shag-k-industrii-4-0/>
16. Основы систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М.С. Килина ; Донской гос. техн. ун-т. – Электрон. текстовые дан. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2018. – 80 с. – URL: <https://ntb.donstu.ru/content/2018702>. – ЭБС ДГТУ.
17. К.В.Фролов (гл. ред.) | Энциклопедия "Машиностроение" в 40 томах [36 книг] (1994-2013)
18. <https://additiv-tech.ru/o-zhurnale.html>
19. Справочник технолога-машиностроителя, Том 2, Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., 1986.
20. Капустин Н.М. Комплексная автоматизация в машиностроении; М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 368 с.
21. Экономическая и социальная география; справочные материалы. Дронов В.П., Макасовский В.П.
22. Mark Graban. Lean Hospitals: Improving Quality, Patient Safety, and Employee Satisfaction (англ.) ISBN 978-1-4200-8380-4
23. Майкл Вейдер. Как оценить бережливость вашей компании. Практическое руководство. ДЕАН, 2011
24. Майкл Вэйдер. Инструменты бережливого производства. Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства. Альпина Бизнес Букс, 2007 г.
25. Царенко А. С. «Бережливое государство»: перспективы применения бережливых технологий в государственном управлении в России и за рубежом. Государственное управление. Электронный вестник Выпуск № 45. Август 2014 г

26. <https://future2day.ru/iiot/>
27. <https://prometej.info/naemnyj-trud-i-robotizaciya/>
28. <https://ifr.org/free-downloads>
29. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/indias-robot-wonder>
30. <https://rb.ru/opinion/industriya-40/>
31. <http://www.tadviser.ru>
32. https://www.vedomosti.ru/press_releases/2019/09/16/metalloinvest-zavershil-vnedrenie-tsifrovoi-platformi-upravleniya-biznes-protssami
33. http://www.up-pro.ru/library/information_systems/production/primery-russia.html