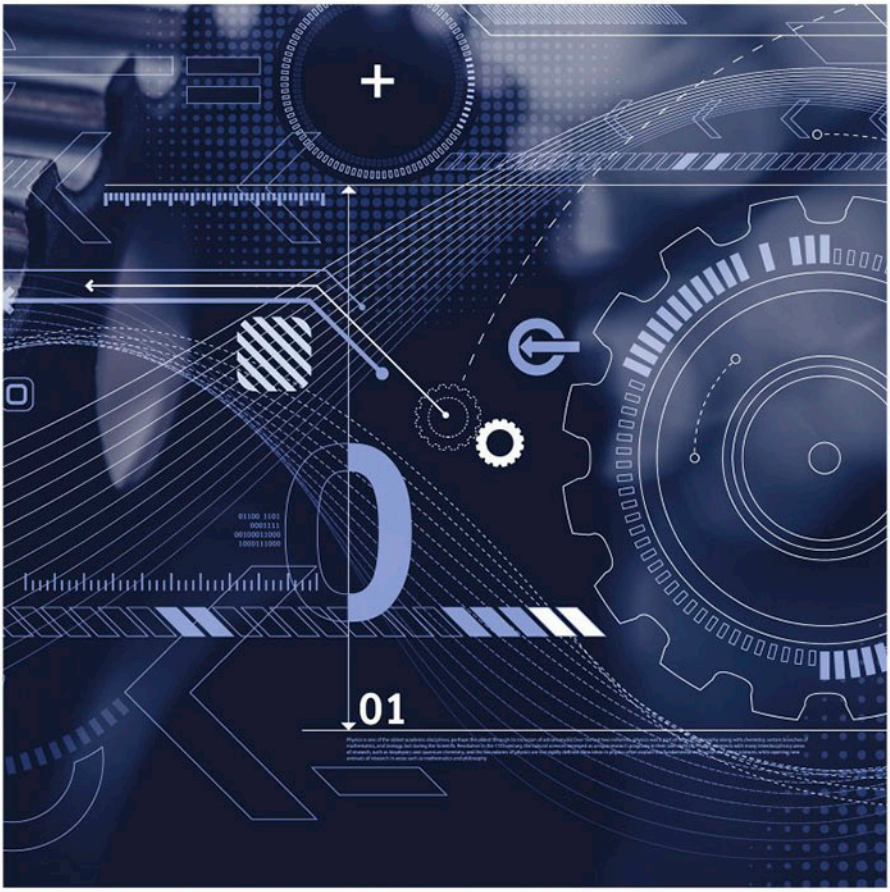


В. Г. Солдатов, Я. А. Вавилин,
Е. В. Удовенко

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В МАШИНОСТРОЕНИИ

«Инфра-Инженерия»

В. Г. Солдатов, Я. А. Вавилин, Е. В. Удовенко

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2026

УДК 621
ББК 34.4
С60

Рецензенты:
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой
(Брянский государственный технический университет) *Шалыгин М. Г.*;
кандидат технических наук, заместитель директора по качеству
общества с ограниченной ответственностью «НПО “Группа компаний
машиностроения и приборостроения”» (ООО «НПО “ГКМП”») *Клепинин Б. Н.*

Солдатов, В. Г.

С60 Прогрессивные технологии в машиностроении : учебное пособие / В. Г. Солдатов, Я. А. Вавилин, Е. В. Удовенко. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 208 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-2753-1

Изложены вопросы, связанные с созданием, совершенствованием и внедрением прогрессивных машиностроительных технологий. Рассмотрены основные тенденции развития промышленного производства с позиции Индустрии 4.0 и устойчивого развития с учетом требований по эффективному использованию ресурсов.

Для студентов всех форм обучения по следующим укрупненным группам специальностей и направлений подготовки: «Машиностроение», «Технологические машины и оборудование», «Прикладная механика», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Мехатроника и робототехника», «Проектирование технологических машин и комплексов», а также может быть полезно для инженерно-технического персонала машиностроительных предприятий.

УДК 621
ББК 34.4

ISBN 978-5-9729-2753-1

© Солдатов В. Г., Вавилин Я. А., Удовенко Е. В., 2026
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2026
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 4
Введение 6

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ПРОГРЕССИВНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 7

Глава 1. Особенности современного машиностроительного комплекса 7
Глава 2. Создание новых и совершенствование существующих технологических процессов 15
Глава 3. Основные тенденции и направления развития современного машиностроения 26
Глава 4. Основы управления качеством при разработке и реализации технологий 34

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 55

Глава 5. Индустрия 4.0 57
Глава 6. «Умное» производство 87
Глава 7. Цифровая трансформация стандартизации и SMART-стандарты 108
Глава 8. Устойчивое производство и устойчивое развитие предприятия 120

РАЗДЕЛ 3. ЗЕЛЕНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 130

Глава 9. Нормативное регулирование 130
Глава 10. Основные характеристики малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий 137
Глава 11. Основы энерго- и ресурсосбережения в машиностроении 153
Глава 12. Основы инженерной экологии машиностроительного производства 159

РАЗДЕЛ 4. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА 170

Глава 13. Общие характеристики прогрессивных машиностроительных технологий 170
Глава 14. Перечень, характеристики и примеры прогрессивных машиностроительных технологий 175
Заключение 201
Список использованной и рекомендованной литературы 202

Предисловие

Машиностроение – это фундамент современной цивилизации и основа ее развития. Машиностроение представляет собой мультитехнологичный производственный сектор, в котором разные отрасли используют большое множество существенно различающихся технологий, не имеющих общей базы. Для каждой отрасли машиностроения действуют свои технические нормы и требования. Современные технологии создают новые продукты, снижают расходы материалов и энергии, повышают эффективность работы и экологичность процессов, улучшают качество продукции и жизни людей.

Основная задача современного машиностроения – непрерывное совершенствование, разработка и внедрение прогрессивных технологий, более эффективных машин и оборудования с учетом цифровизации и экологии.

Приведенные в учебном пособии теоретические сведения окажут существенную помощь обучающимся при изучении дисциплины «Прогрессивные технологии в машиностроении», будут способствовать более глубокому пониманию основ прогрессивных машиностроительных технологий, особенностей современного машиностроительного комплекса, вопросов создания новых и совершенствования существующих технологических процессов, управления качеством при разработке и реализации технологий и стоящих перед современными техническими специалистами задач.

Изложенный в учебном пособии материал содержит основную теоретическую часть и дополнительную информацию для самостоятельной работы обучающихся, что соответствует рабочей программе дисциплины, основным целям и задачам ее освоения.

При создании учебного пособия использовано множество различных литературных источников, включая учебные и научные издания, нормативную документацию, интернет-ресурсы. Учебный материал представлен в необходимо достаточном объеме, удобной для восприятия и понимания форме с приведением примеров. Понятия и определения раскрываются по тексту, что обеспечивает повторение и более глубокое понимание учебного материала. В пособии представлены схемы и рисунки, классификационный материал скомпонован в таблицы, что обеспечивает наглядность, лучшее понимание и освоение учебного материала.

Учебное пособие состоит из 4 разделов и 14 глав. В первом разделе изложены основы современных прогрессивных машиностроительных технологий с учетом особенностей и ключевых тенденций и направлений развития машиностроительного комплекса. Второй раздел посвящен современной концепции устойчивого производства. Дана характеристика построения умного производства на основе Smart-стандартов и методологии устойчивого развития в условиях перехода предприятий к Индустрии 4.0. В третьем разделе рассмотрены вопросы

и понятия концепции зеленого производства, ресурсо- и энергосбережения и инженерной экологии. Четвертый раздел содержит общие характеристики, перечень и примеры прогрессивных машиностроительных технологий.

С методической точки зрения материал учебного пособия изложен в определенной логической последовательности, что позволяет обучающимся лучше понимать и осваивать учебный материал. В конце каждой главы сделаны обобщающие выводы. Читателям предлагается проверить уровень усвоения материала, ответив на вопросы для самоконтроля.

Коллектив авторов выражает надежду, что представленный в учебном пособии материал будет способствовать плодотворной подготовке и развитию будущих специалистов и их профессиональному развитию.

Введение

Машиностроение изготавливает средства производства, что определяет состояние производственного потенциала всех отраслей экономики, обеспечивая производственным оборудованием, инструментом, оснасткой, приборами, комплектующими и изделиями. Следовательно, применяемые в машиностроении прогрессивные технологии и производимая высокотехнологичная продукция определяют прогресс и развитие всех отраслей народного хозяйства. Уровень развития машиностроения определяет материалоемкость и энергоемкость валового внутреннего продукта, производительность труда, качество жизни людей, промышленную и экологическую безопасность и обороноспособность государства.

Машиностроение выступает основным двигателем научно-технического прогресса и инноваций. Ассортимент выпускаемой машиностроительной продукции отличается большим разнообразием, что определяет глубокие различия отраслей, применяемых технологий, оборудования и материалов, а также существенно влияет на размещение производства.

Создание, внедрение и развитие прогрессивных технологий – это основная движущая сила экономического роста. Современные мировые технологические тенденции развития производства заключаются во все большей автоматизации и цифровизации, внедрении интеллектуальных роботизированных систем, повышении качества, безопасности и экологичности процессов и продукции, увеличении надежности изготавливаемого производственного оборудования. Машины, оборудование и другая машиностроительная продукция становятся все более интеллектуально и научно-технически емкими.

Молодому специалисту – современному выпускнику высшего учебного заведения – необходимо ориентироваться в современных передовых производственных технологиях, тенденциях их эволюции и влияния на качество продукции и развитие машиностроительной отрасли в целом.

Ввиду большой сложности производственного процесса, его организации, планирования и управления, только специалисты, обладающие системным мышлением и специальными знаниями способны обеспечить развитие научно-технического прогресса и рост эффективности производства.

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ПРОГРЕССИВНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Современное машиностроение становится все более наукоемким, инновационным, развивающимся и быстро изменяющимся. Все это требует постоянного прогресса технологий, внедрения интеллектуальных информационных систем в процессы проектирования и производства. Необходима трансформация подходов к планированию и организации работ, управлению качеством и менеджменту персонала. Остро стоят вопросы повышения социальной и экологической ответственности производственных предприятий. Основной целью решения данных задач является повышение качества продукции, процессов производства и жизни людей.

Глава 1. Особенности современного машиностроительного комплекса

С глобальной точки зрения, машиностроение – это комплекс отраслей, специализирующихся на производстве технически сложной продукции, машин, оборудования, транспорта, а также вооружения и военной техники [1].

В машиностроении в основном используется *дискретный тип производства*, при котором продукция производится в виде отдельных и отчетливо различимых единиц, имеющих свои уникальные технические характеристики. При этом исходный материал (сырье) перерабатывается в готовый продукт за несколько переделов с прерыванием производственного процесса, который вынужденно разбивается на отдельные технологические операции. Перед началом выпуска каждой партии продукции требуется *подготовка производства*. Данный факт усложняет движение материального потока, приводит к увеличению длительности производственного цикла, росту величины запасов и себестоимости продукции.

Дискретный тип производства характеризуется следующими особенностями:

1) индивидуальность и сложность продукции;

2) наличие отдельных технологических операций с четко определенным началом и концом;

3) многообразие технологических операций и применяемого оборудования;

4) наличие незавершенного производства и технологических заделов;

5) вынужденные регламентированные перерывы между операциями технологического процесса;

6) постоянно перестраиваемые технологические процессы;

7) возможная неопределенность объемов, приоритетов и номенклатуры заказов, особенно для индивидуальных заказов;

8) сложные логистические сети и большое количество поставщиков материалов и комплектующих;

9) повышенная себестоимость продукции;

10) необходимость обеспечения гибкости и быстрой реакции производства на изменения.

С точки зрения планирования, управления и обеспечения качества дискретное производство является довольно сложной системой, так как оно требует наличия разноплановых технологических операций и соответствующего специального и универсального оборудования, большого количества поставщиков материалов и комплектующих, квалифицированного персонала различных уровней и направлений подготовки. При этом обязательным условием эффективной работы выступает необходимость увязки между собой всех технологических процессов и операций, постоянного контроля всех бизнес-процессов и формирования оптимальной производственной программы, так как при нерациональном планировании происходит снижение производительности системы.

Планирование и управление производством также определяется следующими организационными и технико-экономическими особенностями:

1) номенклатура выпускаемой продукции;

2) объем выпуска изделий;

3) размер партии – группы заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени;

4) степень постоянства номенклатуры;

5) вид применяемого оборудования (универсальное или специализированное);

6) характер загрузки рабочих мест;

7) количество операций, закрепленных за одним рабочим местом (коэффициент закрепления операций) – определяет уровень специализации рабочих мест.

Исходя из сочетания данных факторов, на машиностроительном предприятии производство продукции может иметь следующий характер:

1) массовое;

2) серийное (крупно-, средне- и мелкосерийное);

3) единичное (штучное под определенный заказ).

Серийность производства определяется в основном в зависимости от числа изделий в партии и значения коэффициента закрепления операций $K_{з.о.}$ (табл. 1). Значение $K_{з.о.}$ принимают для планового периода 1 месяц и определяют по следующей простой формуле:

$$K_{з.о.} = O/P,$$

где O – число различных технологических операций;

P – число рабочих мест, на которых выполняются данные операции.

Таблица 1

Серийность производства в зависимости от годовой программы выпуска и коэффициента закрепления операций

№	Серийность	$K_{з.о.}$	Годовая программа выпуска деталей, шт. с учетом массы М		
			М < 10 кг	10 < М < 100 кг	М > 100 кг
1	Массовое	1	> 50 000	> 5000	> 1000
2	Крупносерийное	< 10	5000…50 000	500…5000	300…1000
3	Среднесерийное	10…20	500…5000	200..500	100..300
4	Мелкосерийное	20…40	100…500	100…200	5…100
5	Единичное	> 40 или не регламентируется	< 100	< 10	< 5

Планирование и управление единичным производством дополнительно осложняется неопределенностью предстоящих работ по объемам и номенклатуре.

Машиностроительным предприятиям с дискретным типом производства постоянно приходится решать следующие *типовые проблемы и задачи*:

1) необходимость координации внутризаводских планов по производству в подразделениях (цехах, участках);

2) совместный учет целей управления при формировании производственной программы;

3) координация аутсорсинга;

4) контроль соблюдения графиков и выполнения заказов;

5) контроль и оптимизация себестоимости продукции;

6) снижение уровня незавершенного производства;

7) учет и снижение запасов готовой продукции;

8) устранение «узких мест» в производственном процессе;

9) обеспечение качества продукции и процессов;

10) контроль и оптимизация производственной программы;

11) необходимость обеспечения разноплановых результатов хозяйственной деятельности (финансовых, технико-экономических, производственных трудовых, социальных);

12) оптимизация поставок с учетом приоритетности заказов и сроков исполнения;

13) мониторинг спроса на рынке и требований клиентов.

С учетом вышеперечисленных особенностей, проблем и задач дискретного типа производства, особенно важным элементом планирования и управления является совместный учет тактических и стратегических целей при формировании производственной программы предприятия. При этом приходится формировать и обеспечивать эффективное управление целой системой планов с различными сроками, масштабами и производственными подразделениями (рис. 1).

Производственная программа современного машиностроительного предприятия формируется с учетом данных маркетинговых исследований рынка, анализа текущего и перспективного спроса, сформированного портфеля заказов, ограниченности всех видов ресурсов, наличия и объема государственного заказа. Также необходимо учитывать, что производственная программа характеризуется

частой сменяемостью выпускаемых изделий, наличием большого количества вариантов модификаций продукции.

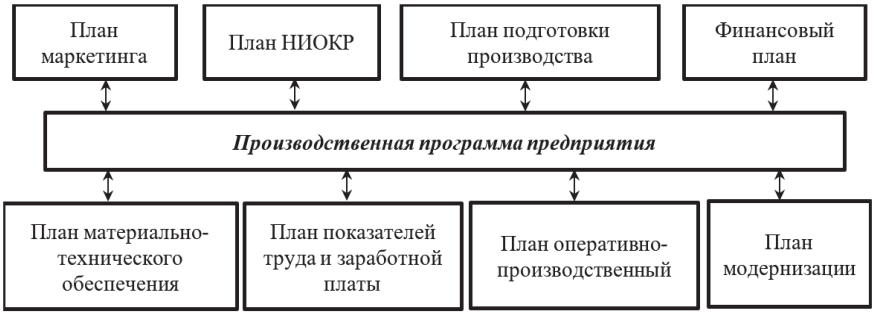


Рис. 1. Связь производственной программы машиностроительного предприятия с системой планов

В организацию машиностроительного производства продолжают внедряться тенденции ухода от крупносерийного к мелкосерийному и штучному позаказному производству с разработкой и адаптацией изделия под индивидуальные задачи заказчика [1].

Исходя из рассмотренного выше, можно выделить следующие основные *особенности современного машиностроительного производства*:

1. Высокий уровень сложности некоторых видов продукции и большое разнообразие ассортимента.

2. Существенные различия отдельных отраслей, что определяет специализацию предприятий.

3. Дискретный тип производства, что определяет специфику планирования, организации и управления технологическими процессами производства продукции.

4. Высокие наукоемкость, трудоемкость и материалоемкость продукции – требуется большой объем прикладных исследований, большие затраты ресурсов и высокая квалификация используемого труда.

5. Широкое развитие межотраслевых и внутриотраслевых связей, основанных на производственном кооперировании. Системы крупных машиностроительных комплексов могут включать тысячи поставщиков и контрагентов.

6. Зависимость от транспортной сети и логистической системы поставок сырья и материалов.

7. Зависимость эффективности производства от размещения предприятий (оптимальный вариант – это близость источников сырья и мест потребления готовой продукции).

8. Высокая потребность в квалифицированном персонале по очень широкому спектру направлений подготовки (машиностроение, материаловедение, энергетика, автоматизация, информатика, электроника и т. д.). Большое количество занятых работников различных профессий.

9. Сложная система планирования, организации и управления, определяемая характером производства и выпускаемой продукции, применяемой технологии и используемого оборудования.

10. Большие затраты времени на подготовку производства, разработку и проектирование изделий.

11. Высокая потребность в прикладных научных исследованиях, опытно-конструкторских работах и инновациях.

Грамотно составленная производственная программа машиностроительного предприятия является основным механизмом организационного и технико-экономического планирования и управления. Это позволяет оптимально согласовать все процессы с учетом производственных особенностей, планового объема выпуска продукции, ее ассортимента и качества.

Для успешного решения данных задач необходимо обеспечить достаточную *гибкость производства* по отношению к внешним и внутренним факторам, что означает возможность системы адекватно реагировать на запланированные и незапланированные изменения номенклатуры продукции или технологии. В этой связи современные машиностроительные предприятия ориентируются в основном на создание гибких производств.

Гибкие производственные системы позволяют решать следующие основные задачи:

1) постоянная оптимизация технологических процессов и операций;

2) рациональное использование всех видов ресурсов;

3) изменение и оптимизация производственных маршрутов;

4) регулирование загрузки оборудования;

5) гибкая кадровая политика и оптимизация графиков работы персонала;

6) сокращение времени простоев, межоперационных перерывов и переналадок оборудования;

7) снижения уровня запаса материалов и готовой продукции;

8) повышение производительности труда и эффективности работы;

9) альтернативное использование производственных мощностей;

10) оптимальное распределение приоритетов для своевременного выполнения заказов;

11) реорганизация структур и методов управления.

Итак, для дискретного производства важны гибкость и адаптивность для быстрого реагирования на изменения технологий, рынка, спроса на продукцию и портфеля заказов.

Различные отрасли машиностроительного производства характеризуются определенной *специализацией*, предполагающей сосредоточение основной производственной деятельности на изготовлении определенных видов продукции, ее части или выполнении отдельных технологических операций.

Специализация определяет обособление отдельных отраслей и четкое разделение труда между предприятиями, является важнейшим направлением интенсификации производства. Такой подход к организации работ обеспечивает повы-

шение производительности труда и эффективности производства за счет больших возможностей использования высокопроизводительного оборудования, средств автоматизации и роботизации.

Специализация обусловливает широкие длительные связи по *кооперированию*, что означает участие в процессе производства готовой продукции множества предприятий, каждое из которых выполняет определенные технологические операции.

В машиностроении выделяют следующие *формы специализации*:

1) предметная – предприятия специализируются на выпуске готовой продукции определенного назначения (автомобили, трактора, оборудование и т. д.);

2) подетальная – предприятия специализируются на выпуске отдельных деталей, узлов и агрегатов;

3) технологическая – предприятия специализируются на выполнении отдельных стадий технологического процесса;

4) вспомогательных производств – предприятия специализируются на выпуске инструмента и оснастки, тары и упаковки, выполнении ремонтных работ.

Сложносоставной характер машиностроительной продукции определяется тем, что для одного изделия, в зависимости от его сложности, количество деталей и сборочных единиц может измеряться тысячами. Данный факт определяет множество различных технологий и способов изготовления деталей, включающих:

1) производство заготовок – *заготовительные производства*;

2) обработку деталей – *обрабатывающие производства*;

3) последующую сборку узлов и агрегатов (сборочных единиц) – *сборочные производства*, состав которых определяется технологией производства, особенностями функционального назначения готового изделия и его техническими параметрами.

Заготовительное производство в общей цепочке изготовления машиностроительной продукции занимает первое и важное место. От эффективности используемых технологий производства заготовок зависят снижение общей себестоимости, трудоемкости и энергоемкости производства продукции, расходов на обработку и инструмент, повышение производительности труда и коэффициента использования материалов.

К заготовительным производствам относятся:

1) литейное производство – получение отливок из различных металлических и неметаллических материалов;

2) обработка металлов давлением – производство заготовок методами пластического деформирования и формообразования (ковка, штамповка, высадка, прокат);

3) раскройно-заготовительное производство – размерная резка и правка различного проката (листового и профильного).

Обрабатывающие производства производят продукцию (детали, изделия) путем обработки и преобразования заготовок и сырьевых материалов. Применяемые методы обработки заготовок деталей можно разделить на следующие классы в зависимости от способа воздействия:

1) без съема материала с поверхности заготовки – применяют методы с изменением формы и размеров деталей (обработка давлением) и без изменения формы и размеров (термическая и химико-термическая обработка);

2) со съемом материала – классифицируются по виду используемой энергии (механические, электрофизические, электрохимические, химические и комбинированные);

3) с нанесением материала на поверхность – применяют термомеханические, механические, электрофизические и химические методы нанесения покрытий.

Сборочное производство является заключительной стадией изготовления машиностроительной продукции, включает в себя сборку, сварку, отделку, окраску, испытания, упаковку, реализацию, а также во многом определяет качество готовой продукции и сроки ее изготовления. Сборочное производство включает в себя большое многообразие сборочных операций и видов соединений, размерных, кинематических и динамических связей в машинах, механизмах и конструкциях.

Для всех типов производств одним из основных требований, определяющих их эффективность, качество и стоимость будущей продукции, является *технологичность конструкции* деталей и машин.

Технологичность – это совокупность свойств конструкции, позволяющих вести технологическую подготовку производства, изготовление, сборку, монтаж, транспортирование, эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание, а также утилизацию изделия при максимально низких затратах труда, времени, средств и материалов при обеспечении установленных значений показателей качества [2].

Выделяют *производственную*, *эксплуатационную* и *ремонтную технологичность*, которая определяется следующими основными показателями:

1. Применение в машине деталей с минимальной механической обработкой, то есть получением заготовок с размерами максимально соответствующими детали (технологии точного литья, штамповки, фасонного проката).

2. Унификация деталей – применение одинаковых деталей в различных узлах машины.

3. Максимальное применение стандартных конструктивных элементов деталей (резьба, пазы, фаски, канавки и др.), а также стандартных припусков и посадок.

4. Использование деталей и узлов уже освоенных в производстве.

5. Технологическая целесообразность – учет количества выпускаемых изделий (серийность), технологии и условий изготовления, специализации рабочих мест.

6. Снижение трудоемкости сборочных и ремонтных операций – обеспечение рациональной конструкции, удобной компоновки с легкодоступными местами сборки и крепления, возможности применения сборочных автоматов и роботов.

7. Объединение в единый процесс систем автоматизированного проектирования и производства за счет применения цифровых технологий.

Основными *показателями технологичности* конструкции являются: *трудоемкость* (количество рабочего времени), *материалоемкость* (количество материально-сырьевых ресурсов), *энергоемкость* (величина потребления энергетических ресурсов на все технологические процессы) производства единицы

продукции, ее обслуживания, эксплуатации, ремонта и утилизации. Показатели технологичности во многом характеризуют качество изделия.

Итак, мы рассмотрели основные особенности машиностроительного производства, которое представляет собой сложный комплекс различных отраслей. Все данные особенности учитываются при планировании, проектировании и управлении производством. Для обеспечения роста и развития машиностроения остро ощущается необходимость в *трансформации* следующих ключевых направлений деятельности предприятий: *повышение наукоемкости производства, цифровизация всех этапов жизненного цикла продукции, управление качеством, экология и социальная ответственность*. Данные задачи можно решить только за счет разработки и внедрения прогрессивных технологий.

Для проверки уровня усвоения учебного материала предлагается ответить на контрольные вопросы:

1. Что означает дискретный тип производства?
2. Какими особенностями характеризуется дискретный тип производства?
3. Какими особенностями определяются планирование и управление производством?
4. Как различается и чем определяется серийность производства?
5. Каковы проблемы и задачи машиностроительного предприятия с дискретным типом производства?
6. Каковы особенности формирования производственной программы современного машиностроительного предприятия?
7. Какие можно выделить основные особенности современного машиностроительного производства?
8. Что означает гибкость производства и какие задачи позволяет решать?
9. Что означает специализация производства?
10. Каковы основные характеристики заготовительных, обрабатывающих и сборочных производств?
11. Что означает и чем определяется технологичность конструкции изделия?

Глава 2. Создание новых и совершенствование существующих технологических процессов

Технологический процесс (технология) – это определенный способ превращения предмета труда в готовый продукт. Разработка прогрессивных и совершенствование существующих технологий – это основа всего развития машиностроения, решающее направление единой технической политики, базис технической трансформации современного производства.

В условиях ограниченности трудовых, сырьевых и энергетических ресурсов технологический процесс должен быть более экономичный и экологичный, способствовать снижению затрат на единицу готовой продукции. Данные факты говорят о том, что технологии имеют решающее значение в повышении эффективности производства. Их уровень и совершенство определяют качество, безопасность, экологичность процессов и продукции, соотношение между затратами и результатами труда.

Прогрессивные технологии разрабатываются и совершенствуются с целью обеспечения:

1) оптимизации технологических процессов и операций для конкретных производственных условий;

2) повышения гибкости производств;

3) сокращения межоперационных перерывов и простоев оборудования;

4) снижения трудоемкости производства;

5) снижения расхода сырья и материалов, а также количества образующихся отходов;

6) более полной загрузки оборудования и повышения его производительности;

7) снижения расхода всех видов энергии и топлива;

8) повышения качества процессов и продукции;

9) повышения экологичности производства.

Исходя из этого, можно выделить следующие *основные направления развития и совершенствования технологических процессов*:

1. Научные:

а) проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР);

б) создание новых методик;

в) исследование характеристик процессов;

г) разработка моделей процессов.

2. Организационные:

а) научная организация труда и совершенствование организации производства;

б) применение концепции управления жизненным циклом изделий;

в) повышение эффективности управления – применение автоматизированных и интеллектуальных систем;

г) менеджмент персонала;

д) менеджмент качества.

3. Цифровизация:

а) моделирование и создание цифровых двойников процессов и изделий;

б) аддитивные технологии;

в) обработка больших объемов данных;

г) искусственный интеллект;

д) интернет вещей.

4. Конструкторские:

а) унификация и стандартизация изделий и комплектующих;

б) стандартизация средств технологического оснащения;

в) повышение технологичности конструкции изделий;

г) системы автоматизированного проектирования.

5. Технологические:

а) разработка и внедрение прогрессивных технологических процессов;

б) внедрение прогрессивных средств производства (оборудования, оснастки и инструмента);

в) оптимизация производственного цикла и технологических процессов.

6. Технические:

а) повышение качества изделий;

б) автоматизация и роботизация производственных операций и процессов;

в) внедрение и развитие систем менеджмента качества.

7. Производственные:

а) внедрение комплексных систем управления производством;

б) повышение технологической дисциплины и культуры производства;

в) системы менеджмента качества.

Как показывает практика, только комплексный подход и развитие сразу по всем направлениям способны обеспечить с точки зрения долгосрочной перспективы ощутимый рост эффективности производства, экономию ресурсов и переход на качественно более высокий уровень технологий. Это является основным условием современного научно-технического прогресса.

Ключевым понятием в данном комплексном развитии производства является *жизненный цикл продукции (ЖЦП).*

Согласно ГОСТ Р 15.000-2016, *ЖЦП* – это совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения состояния продукции от обоснования ее разработки до окончания эксплуатации и последующей ликвидации [3].

ГОСТ Р 53791-2023 дает следующие определение: *ЖЦП* – это последовательные и взаимосвязанные стадии системы жизненного цикла продукции от приобретения или производства из природных ресурсов или сырья до конечного размещения в окружающей среде (в виде отходов, сбросов и выбросов) [4].

Соответственно на всем ЖЦП выделяются отдельные *стадии жизненного цикла продукции* – это условно выделяемая часть ЖЦП, которая характеризуется спецификой направленности работ, производимых на этой стадии, и конечными

результатами, поддающимися установленному документированию [4]. Пример ЖЦП представлен на рис. 2.

Стадии ЖЦП объединяются используемыми технологиями. От уровня совершенства и прогрессивности технологий зависят все показатели эффективности, экономичности и безопасности работ и процессов на всех стадиях ЖЦП. Технологии – это весьма изменчивая во времени категория, на протяжении ЖЦП может смениться несколько технологий.

Для примера раскроем суть и содержание нескольких следующих стадий ЖЦП [3]:

1) *исследование и проектирование* – разработка технического задания на выполнение исследований, изучение достижений научно-технического прогресса, формирование требований к уровню и качеству новой (модернизированной, модифицированной, совершенствованной) продукции, испытание опытных образцов;

2) *разработка* – разработка соответствующей конструкторской и технологической документации, изготовление, предварительные и приемочные испытания образцов, доработка конструкторской документации опытных образцов;

3) *эксплуатация* – работы, направленные на получение максимального полезного эффекта от использования продукции, в том числе при снятии с эксплуатации.



Рис. 2. Основные стадии жизненного цикла продукции

Любые промышленные изделия в своем жизненном цикле проходят также следующие стадии [3]:

1) *модернизация* – создание продукции с улучшенными потребительскими свойствами путем ограниченного изменения исходной продукции;

2) *модификация* – создание продукции, однородной с исходной продукцией, но с отличной от нее областью применения, и выпускаемой одновременно с исходной продукцией;

3) *совершенствование* – доработка продукции в процессе производства, повышающая эффективность ее производства или применения без существенного изменения основных показателей.

Комплексный подход ко всем стадиям ЖЦП объединяется в *систему разработки и постановки продукции на производство* – совокупность взаимосвязанных основополагающих организационно-методических и общетехнических национальных стандартов, устанавливающих основные положения, обеспечивающие техническое и организационное единство выполняемых работ на стадиях ЖЦП, а также взаимодействие заинтересованных сторон [3].

В данном подходе к разработке и производству продукции прогрессивные технологию решают следующие основные задачи:

1) производство продукции высокого технического уровня, качества и конкурентоспособности с учетом современных достижений научно-технического прогресса, новых технологий, бережливого производства, безопасности и здоровья людей, охраны окружающей среды, экономии материальных и энергетических ресурсов;

2) сокращение сроков и затрат на разработку, производство и ремонт, эксплуатацию и ликвидацию продукции;

3) обеспечение стабильности показателей качества при производстве и ремонте продукции, эксплуатации и утилизации;

4) своевременное обновление устаревшей продукции;

5) обеспечение производственных возможностей и гибкости производства.

При разработке и совершенствовании технологических процессов большое значение имеют *типизация* и *групповая технология*.

Типизация технологических процессов – сведение многообразных процессов к ограниченному числу рациональных типов и внедрение их в производство. Речь о том, что одно и то же изделие можно получить при помощи различных технологических процессов, что заставляет применять типизацию близких по своему характеру технологий.

Типизация проводится в два основных этапа:

1) разбивка изделий на классы согласно общности технологических задач, решаемых при их изготовлении продукции;

2) разработка типовой технологии для изделий схожих по конструктивно-технологическим признакам.

Данный подход способствует внедрению в производство прогрессивных технологий, упрощает и сокращает процесс проектирования и разработки, ускоряет подготовку производства по выпуску продукции.

Типовые технологические процессы успешно применяются при массовом, крупносерийном, а также мелкосерийном производстве при повторяющемся выпуске изделий. При небольших партиях и частой перенастройке оборудования применяют индивидуальные процессы. В данных условиях наиболее экономичной и производительной будет групповая технология.

Групповые технологические процессы разрабатываются путем определенной классификации изделий, которую проводят на основе следующих этапов:

1) объединение изделий в классы по признаку однородности применяемого оборудования;

2) объединение в группы внутри классов по признаку геометрической формы, габаритов и общности подлежащих обработке поверхностей;

3) разработка группового технологического процесса для каждой группы изделий, с учетом наладки оборудования и применения одинаковых средств технического оснащения.

Групповая технология позволяет обеспечить экономию трудовых и материальных ресурсов на всех стадиях производства, возможность эффективнее использовать рабочее время и оборудование, повышает гибкость и общий технологический уровень.

Ввиду сложности процессов и работ при разработке и реализации производственных технологий часто развитие идет путем *комбинирования* – соединения в единый комплекс различных технологических процессов. Это обеспечивает наиболее полное использование сырья и отходов, повышает экономические показатели производства.

Основой для создания *комбинированных процессов* являются:

1) комплексное использование сырья и материалов;

2) экономия всех видов энергии;

3) снижение отходов и их вторичное использование;

4) сочетание последовательных стадий обработки изделий;

5) типизация технологических процессов;

6) совершенствование организации и управления.

Важнейшей составляющей при разработке новых и совершенствовании существующих технологических процессов является *подготовка производства*.

Подготовка производства – это обеспечение готовности предприятия к выпуску изделий в необходимые сроки, запланированного количества и уровня качества при минимальных затратах трудовых, материально-технических и энергетических ресурсов, с учетом экологичности и безопасности всех процессов.

Основная *цель подготовки производства* – это создание всех необходимых условий, обеспечивающих более высокий технический, социально-экономический и экологический уровень производственного процесса, с учетом инноваций и современных достижений научно-технического прогресса.

Основная *задача подготовки производства* – разработка прогрессивных технологических процессов и обеспечение их необходимым оборудованием и оснасткой, которые наиболее полно с технической и экономической точки зрения отвечают заданным производственным условиям.

Подготовка серийного и массового производства включает в себя весьма разнообразные, сложные и трудоемкие работы и процессы. Свойства и назначение продукции, особенности технологии ее изготовления определяют всю организационную структуру предприятия и характеристики его производственных циклов. Поэтому подготовка производства в общем объеме затрат времени и ресурсов предприятия на выпуск продукции занимает довольно большую долю (табл. 2) [5].