

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**О. В. Агеев**

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНО-  
КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
15.04.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания  
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Агеев, О. В.

Методы оптимизации проектно-конструкторских решений: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / О. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 28 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям.

Табл. 3, список лит. – 16 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 30 марта 2023 г., протокол № 6

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2023 г., протокол № 5

УДК 658.512.26

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Агеев О. В., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	27

## ВВЕДЕНИЕ

Современная техника машиностроительных производств является сложной и разнообразной, характеризуется высокой динамичностью, обусловленной интенсивным ростом потребностей в высококачественных изделиях и непрерывным расширением сфер их использования. Эта особенность развития техники оказывает влияние на конструкторскую деятельность. Всё чаще конструктор должен предвидеть всё возможное многообразие ожидаемых условий использования разрабатываемых изделий и осознанно формировать стратегию обновления базовых моделей и исполнения этих изделий в обозримой перспективе.

Прогресс производственных систем, потребность в новых видах готовой продукции, развитие технологий обуславливают увеличение объема проектных работ. Требования к качеству проектов, срокам их выполнения, качеству и техническому уровню неуклонно возрастают. Это связано с усложнением проектируемых объектов и систем, увеличением функциональных возможностей промышленных изделий, совершенствованием технологий машиностроения.

Вместе с тем ясно, что удовлетворить этим требованиям невозможно за счёт простого увеличения количества проектировщиков. Сказывается снижение общей численности научного и инженерно-технического персонала в отрасли машиностроения. Кроме того, имеются организационные ограничения на параллельное выполнение проектных работ. Одним из путей решения этой проблемы является комплексная оптимизация проектирования.

Эффективность любого производства в первую очередь определяется конкурентоспособностью выпускаемой продукции. Ее повышения можно добиться только в результате активного воздействия на производственный процесс научно-технического прогресса. Это воздействие комплексное: оно охватывает материалы, из которых производятся изделия, их конструкцию, технологический процесс, организацию производства, оборудование. Изыскание новых, более прогрессивных материалов, технологичных изделий и более рациональных технологических процессов вызывает необходимость замены в первую очередь действующего технологического оборудования на базе проектирования новых машин.

Для создания прогрессивных машин проектант должен обладать широкими знаниями и быть не только конструктором, но еще и технологом, экономистом, дизайнером и т.д. Решения задач конструирования в современных экономических условиях должны быть не просто правильными – они должны быть оптимальными. Под оптимальным решением можно понимать одно из правильных решений, позволяющих достичь поставленной цели и одновременно добиться максимальной эффективности по принятому критерию оценки.

Цель оптимизации проектно-конструкторских решений – повышение качества проектных работ и изделий, снижение материальных затрат, сокращение сроков проектирования, повышение производительности труда разработчиков. Два десятка лет тому назад среди целей оптимизации проектирования указывалась необходимость сокращения количества инженерно-технических работников, занятых проектированием. В современных условиях речь идет скорее о компенсации нехватки инженеров-проектировщиков, необходимости учета и совершенствования предшествующего проектного опыта.

«Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» – дисциплина образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение».

Дисциплина «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к профессиональной деятельности в области технологии машиностроения.

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся знаний и умений по методологии оптимизации проектно-конструкторских решений в области машиностроения.

Задачами дисциплины являются следующие:

- изучение основ организации автоматизированной сборки и контроля машиностроительных изделий высокой сложности в условиях гибкого производства;
- освоение методов и средств обеспечения оптимальных режимов и параметров технологических процессов на основе современных методов анализа;
- освоение математических методов оптимизации параметров изделий машиностроения и структуры технологических маршрутов их изготовления.

Результатами освоения дисциплины является поэтапное формирование требуемых компетенций у обучающихся.

При реализации дисциплины «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- этапы и порядок выполнения проектно-конструкторских работ;
- жизненный цикл изделий машиностроения;
- основные и вспомогательные цели автоматизации проектирования;
- основополагающие математические методы, используемые при оптимизации параметров машиностроения;
- методы автоматизации проектирования;

- классификацию и виды обеспечения САПР;
- программы для автоматизации разработки электронных устройств;
- уметь:
- выбрать систему автоматизированного проектирования для решения конкретных задач;
- формализовать требования к системе автоматизированного проектирования;
- владеть:
- навыками разработки комплекта конструкторской документации с использованием системы автоматизированного проектирования
- навыками применения математических методов используемых при оптимизации параметров машиностроения.

Для успешного освоения дисциплины «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях;
- выполнение и защита курсовой работы.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, соответственно относятся:

- вопросы к экзамену по дисциплине.

Промежуточная (заключительная) аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;
- получившие положительную оценку при выполнении курсовой работы.

Универсальная система оценивания результатов обучения приведена в таблице 1 и включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаниями и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

# 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области проектирования технологических линий, подбора оборудования пищевых производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливая их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия, консультирование по решению практических заданий, выполнение контрольной работы для очно-заочной формы обучения.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по проектированию технологических линий в рыбной промышленности. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением

различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствии преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях;
- выполнение и защита курсовой работы.

Промежуточный контроль осуществляется в форме сдачи экзамена в 4-м семестре. По его результатам определяется степень достижения учебных целей по дисциплине.

Для формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Системный подход к разработке проектно-конструкторских решений
2	Критерии совершенства проектно-конструкторских решений
3	Методы прогнозирования развития машин и оборудования

Номер темы	Содержание лекционного занятия
4	Стадии и общая методика проектирования машин и оборудования
5	Методики оптимизации проектно-конструкторских решений
6	Оценка экономической эффективности проектно-конструкторских решений при оптимизации

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

## **Тема 1. Системный подход к разработке проектно-конструкторских решений**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Понятие о технике и технической системе.
2. Фазы и закономерности развития, классификация машин и оборудования.
3. Основные принципы и тенденции при проектировании и конструировании машин.
4. Качественные показатели машин и оборудования.
5. Системотехнический подход при проектировании сложных технических систем.
6. Системотехнический подход при организации технической эксплуатации машин и оборудования.

*Ключевые понятия:* системный подход, поиск решения, техническая система, машина, оборудование, функциональная целесообразность, иерархичность, декомпозиция.

*Литература:* [1, с. 6–25]

### *Методические рекомендации*

Первая тема курса дисциплины «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» позволит обучающимся получить представление о базовых понятиях дисциплины, в ней также определяется место изучаемого материала в системе научного знания и его взаимосвязь с другими дисциплинами.

При изучении данной темы курса необходимо уделить внимание основным терминам и определениям, особенностям видов проектирования, последовательности работ, предшествующих разработке проекта. Понять важность и необходимость разработки системных описаний сложной технической системы.

В современном понимании техника – это диалектически развивающаяся материальная совокупность средств труда, предметов труда и самого труда. В понятие техники входят технические устройства (от простейших орудий до сложнейших технических систем), различные виды технической деятельности

по созданию этих устройств (от научно-технических исследований и проектирования до их изготовления и эксплуатации) и технических знаний (от специализированных рецептурно-технических до теоретических научно-технических и системотехнических знаний).

Машины и оборудование составляют основу техники, поэтому развитие техники может происходить только на основе совершенствования существующих и создания новых видов машин и оборудования. Машиной называется подвижная механическая система, предназначенная для преобразования энергии или работы. Характерный признак машины – наличие двигателя и рабочего орудия с передаточными устройствами между ними. Оборудование – это совокупность машин, устройств, приборов, приспособлений, необходимых для производства. Совокупность машин, приборов, системы управления этой совокупностью и обеспечения работы называется технической системой.

Различают следующие фазы жизненного цикла машины: проектирование, изготовление и сборка, монтаж, доводка, эксплуатация, модернизация, списание и демонтаж. Процесс проектирования машины состоит из следующих этапов:

- обоснование необходимости создания новой машины;
- прогнозирование развития параметров машины;
- научно-технические исследования;
- разработка конструкторской документации;
- разработка технической документации;
- изготовление, испытание и доводка опытных образцов.

Обоснование и анализ необходимости создания машины проводятся на основании методов научного прогнозирования технических проблем и параметров машины. Под параметрами машин понимаются их характеристики, определяющие производительность, например, скорость бумагоделательной машины и ширина бумажного полотна, скорость и грузоподъемность грузового автомобиля.

Типизация заключается в том, что для машин массового и серийного производства, а в отдельных случаях и индивидуального производства, разрабатываются типажные машины с конкретными параметрами и размерами, например грузоподъемностью автомобилей, обрезной шириной бумаги на бумагоделательных машинах. Под типажом машин понимается технически и экономически обоснованная совокупность типов и типоразмеров машин, обладающих общностью назначения. В основу типажных машин закладывается базовая модель, под которой понимается конструктивное исполнение машины, являющейся основой для ряда машин подобного типа или его модификаций. Комплексность заключается в разработке комплекса машин для выполнения всех технологических операций, согласованных по производительности и другим признакам. Комплексность есть основа образования поточных линий, в том числе автоматизированных.

Принцип иерархичности конструкции заключается в разбивке конструкции машины на сборочные единицы (узлы), состоящие из сборочных единиц первого уровня и деталей, на сборочные единицы второго уровня и последую-

щих уровней на детали, на системы контроля и управления и на системы, поддерживающие работу технической системы. Принцип декомпозиции (блочности, модульный принцип) позволяет осуществлять независимую параллельную сборку отдельных сборочных единиц, их обкатку и проверку, подачу на общую сборку в законченном виде. При эксплуатации машин этот принцип позволяет реализовать блочный метод ремонта машин. Циклы сборки и ремонта уменьшаются.

Качеством продукции называется совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Количественными характеристиками качества машин являются следующие показатели: технологичность, безопасность, надежность, эргономические, эстетические, санитарно-гигиенические, патентно-правовые, трибологические характеристики.

*Вопросы для контроля:*

1. Понятие о технике, технической системе машин и оборудовании.
2. Моральное старение машины в сферах ее производства и эксплуатации.

Формы морального износа.

3. Фазы и этапы жизненного цикла машины, стадии разработки конструкторской документации.

4. Классификация факторов, определяющих развитие машины: внешние и внутренние; потребности, возможности и ограничения.

5. Классификационная система машин. Понятия о классе, роде, виде, разновидности, типоразмере, модели машины.

## **Тема 2. Критерии совершенства проектно-конструкторских решений**

*Ключевые вопросы темы*

1. Общее понятие о разработке и принятии проектно-конструкторских решений.

2. Иерархическая система управления и принятия решений.

3. Основные понятия теории принятия решений.

4. Критерий функциональной целесообразности.

5. Критерий красоты.

6. Критерий удобства.

7. Технологичность проектно-конструкторских решений.

*Ключевые понятия:* соразмерность, масштабность, тектоничность, визуальная устойчивость, визуальная напряженность, динамичность, технологичность.

*Литература:* [3, с. 26–66]

*Методические рекомендации*

Функция – основа задачи конструирования. Цель конструирования в какой-то мере наиболее полное решение поставленной функциональной задачи. Приступать к разработке проекта нужно, поняв функцию будущего изделия и представив возможное решение. Функциональная целесообразность – это

принцип, означающий соответствие выбранного решения поставленной задаче. Задача должна быть выполнена без превышения необходимых затрат. Но функция в данном случае понимается в широком смысле, например, водопроводный кран должен не только перекрывать воду, но и быть удобным в обращении. Все это означает, что надо изготавливать его из высококачественных материалов, обеспечить низкую шероховатость поверхностей и высокую точность сопряжений. Функциональная целесообразность предусматривает, в частности, обеспечение минимальной допустимой для заданной функции прочности, минимальной жесткости и других характеристик, если их повышение сопряжено с увеличением массы, удорожанием изготовления и эксплуатации устройства.

Процесс конструирования заключается в правильном выборе известной схемы (модели), подстановке в нее известных решений и, наконец, в совершенствовании конструкции отдельных элементов и системы в целом с учетом накопленного опыта эксплуатации и испытаний прототипа и с учетом анализа других, вновь появившихся решений (используется банк изобретений). Каждый этап совершенствования должен сохранить все полезное и дополнить модель новыми положительными качествами.

В современных условиях такие качества продукции, как красота и удобство начинают приобретать все большее значение. При этом связь между конструкцией и внешним видом, между технологией изготовления и удобством эксплуатации и тем более между красотой и удобством имеет весьма сложный характер. Как при конструировании уделяется внимание технологичности, прочности, износостойкости, так и при создании изделия должны учитываться требования к красоте и удобству. Существуют отдельные науки, объединяющие в себе критерии, правила и рекомендации по созданию красивых изделий (техническая эстетика) и удобных в эксплуатации (эргономика). Конструктор любого уровня должен быть знаком хотя бы с их общими положениями. Главные критерии красоты: 1. Взаимосоответствие (неразрывная связь) формы, функций, содержания (внутреннего строения). 2. Единство и целостность композиции. Если какое-либо изделие в действительности способно выполнять определенные функции и/или оно обладает достаточной прочностью и устойчивостью, способностью отличаться в лучшую сторону по каким-либо критериям, то его форма должна соответствовать функциям.

Технологичность конструкции машины – это возможность изготовления ее деталей, сборки сборочных единиц с наименьшими трудовыми затратами при рациональном расходовании материала. Технологичность оценивается удельной трудоемкостью производства, характеризуемой отношением затрат времени в нормо-часах на изготовление машины к основному параметру, определяющему производительность машины.

*Вопросы для контроля:*

1. Качественные показатели машин.
2. Показатели технологичности машин.
3. Эстетические показатели.
4. Эргономические и санитарно-гигиенические показатели, показатели безопасности.
5. Показатели надежности.

### **Тема 3. Методы прогнозирования развития машин и оборудования**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Классификация методов прогнозирования.
2. Методы экстраполяции.
3. Методы аналогий.
4. Опережающие методы прогнозирования.
5. Экспертные методы прогнозирования.
6. Оценка достоверности и точности прогноза.
7. Прогнозирование технического уровня и качества машин и оборудования.

*Ключевые понятия:* прогноз, предсказание, экстраполяция, интерполяция, корреляция, регрессия, достоверность прогноза, точность прогноза.

*Литература:* [2, с. 70–96]

#### *Методические рекомендации*

Прогнозирование развития систем – один из результативных методов принятия управленческих и технических решений в условиях от частичной определенности до полной неопределенности. Прогнозирование – это вероятностное утверждение относительно будущего, необходимое для планирования в условиях неопределенности. Прогноз – это основа для планирования, для принятия решений.

При качественных подходах используются прогнозы, основанные на суждении, мнении, прогнозы, в которых используются субъективные входные данные, такие, как мнения специалистов, например изготовителей и потребителей машин. Количественные подходы используются в статистических и ассоциативных методах прогноза. В статистических методах используют статистический или временной ряд данных на основе предположения, что будущее будет подобно прошлому. В ассоциативных методах прогнозирования определяют поддающееся оценке прошлое развитие техники для предсказания ее развития в будущем.

Методы экстраполяции относятся к наиболее применяемым методам прогнозирования развития техники. На основе анализа статистических данных, характеризующих объект за предшествующий период, т. е. на основе ретроспективного анализа развития машины, устанавливают изменение статистических данных в функции времени (т. е. временной ряд). Полагая априори, что выявленная закономерность развития будет сохраняться и в будущем, экстраполируя выявленную функцию за пределы ретроспективного анализа, прогнозируют развитие объекта.

Методы аналогий заключаются в том, что выводы о свойствах предмета или явления делаются на основании его сходства с другими предметами или явлениями, тенденции развития которых хорошо изучены. К опережающим относятся методы прогнозирования, основанные на анализе патентов и научно-технической информации. Патентная информация обладает рядом важных признаков, выгодно отличающих ее от других видов научно-технической информации. Методы экспертных оценок используют возможность человека отра-

жать с опережением окружающую действительность в своем сознании. Необходимая для прогнозирования информация содержится в мнениях квалифицированных экспертов по вопросам прогнозирования. Мнения формируются независимо друг от друга, собираются специалистами и подвергаются статистической обработке. В результате вырисовывается усредненная картина будущего, а также возможные ее варианты.

При прогнозировании возникают проблемы, среди которых наиболее острыми являются оценки точности прогноза и сравнительные характеристики существующих методов прогнозирования. Есть предположение, что точность прогноза убывает пропорционально квадрату времени срока прогнозирования. При прогнозировании наиболее существенными ошибками являются ошибки в исходных данных, в методе и модели прогнозирования. Ошибки в исходных данных – это ошибки измерения, полноты и достоверности исходных данных при ретроспективном анализе параметров машин. Ошибки метода прогнозирования связаны с выбором метода, неидентичного объекту прогнозирования. Ошибки модели возникают вследствие упрощения модели и несовершенства представления о природе и других характеристиках объекта прогнозирования.

При решении вопроса о выборе перспективных научно-технических направлений, при создании оборудования приходится сталкиваться с неопределенным множеством решений. При разработке прогноза неопределенность уменьшается и формируется конечное множество альтернативных вариантов, причем каждый из них является наилучшим с точки зрения учитываемых внешних условий (факторов прогнозного фона) и выбранной модели (тенденции) развития данного направления. Принятие решения связано с выбором из множества прогнозных вариантов наиболее перспективного (приоритетного) направления, удовлетворяющего определенному критерию.

*Вопросы для контроля:*

1. Общие черты методов и этапов прогнозирования.
2. Классификация методов прогнозирования.
3. Закономерности временного ряда: тенденции, сезонность, циклы, переменные и случайные величины.
4. Сущность метода экстраполяции.
5. Способ проверки устойчивости тенденции (тренда) по экспериментальным данным.

#### **Тема 4. Стадии и общая методика проектирования машин и оборудования**

*Ключевые вопросы темы*

1. Метод шаговых решений.
2. Снижение металлоемкости.
3. Метод инверсии.
4. Задачи автоматизации процесса проектирования.
5. Схема решения проектно-конструкторских задач с помощью ЭВМ.
6. Методы теории игр при принятии решений.

*Ключевые понятия:* компоновка машины, металлоемкость, инверсия, прием расчленения задачи, прием сдвига, прием вращения, облегчение детали, САПР, инженерный анализ, теория игр.

*Литература:* [3, с. 87–136]

### *Методические рекомендации*

При проектировании функциональных узлов конструктору приходится решать сложный комплекс вопросов работоспособности, эффективности и технологичности новой, еще не созданной машины, когда имеется только принципиальная (технологическая) и кинематическая схема. Свойства машины существенно зависят от конструкции ее узлов. Важно правильно выбрать исходный материал (литье, поковка, металлопрокат, пластмасса), решить компоновку деталей в узле, задаться их формой и размерами, выбрать покупные детали, рационально решить технологию изготовления машины и т. п.

Метод шаговых решений заключается в постепенном (шаг за шагом) решении конструкторской задачи путем поиска лучшего из возможных вариантов. Он реализуется приемами расчленения задачи, вращения и сдвига. Прием расчленения задачи заключается в выявлении исходных (заданных) положений и в расчленении общей задачи на более простые частные подзадачи, т. е. шаги ее решения. Тогда решить общую задачу легче, поскольку каждый шаг либо достаточно прост, либо имеет типовое решение. Конструктор при решении каждой частной подзадачи должен найти твердое объяснение принимаемому решению на основании выбора лучшего из возможных вариантов.

Снижение металлоемкости при проектировании машин достигается несколькими приемами, из которых главные – выбор оптимальных схем нагружения деталей, рациональный выбор исходных материалов и облегчение деталей. К одному из приемов снижения металлоемкости машины относится облегчение деталей, т. е. уменьшение их массы без изменения функциональных свойств. Таким приемом удается снизить расход металла на металлические (особенно литые) крышки, заглушки, поддоны, дверки, маховички, рукоятки и другие детали, заменив их пластмассовыми. При конструировании часто возникают случаи, когда выгодно поменять детали ролями, например ведущую деталь сделать ведомой, направляющую – направляемой, неподвижную – подвижной и т.д., при этом используется пример инверсии.

Автоматизация процесса проектирования и конструирования позволяет снизить трудоемкость проектных работ и ускорить процесс разработки изделия. Для этой цели сегодня используются технологии автоматизированного проектирования (computer – aided design – CAD), автоматизированного производства (computer – aided manufacturing – CAM) и автоматизированной разработки или конструирования (computer aided engineering – CAE). Конструирование машин является областью инженерной деятельности, наиболее сложной для автоматизации. Разработка теории и методов автоматизации конструирования находится еще в начальной стадии. Автоматизированы главным образом различные вычислительные операции, связанные с конструированием. Задачей автоматизации проектирования является создание комплексных автоматизированных си-

ством подготовки производства в машиностроении, выполняющих кроме расчета выбор наиболее рациональных технологических и конструкторских решений, компоновку машин из составляющих их элементов, подбор этих элементов, технологическое проектирование, выдачу проектной документации в готовом виде и т. п.

Основным технологическим средством автоматизации проектирования в машиностроении является цифровая ЭВМ, оперирующая с информацией, представленной в цифровой форме и физически существующей в виде различных состояний элементов. Поэтому возникает необходимость в разработке методов превращения разнообразной конструкторской документации в цифровую форму и представлении всех задач и элементов процесса проектирования только в виде операций над числами и логическими выражениями с доведением их до алгоритмов и машинных программ. Следовательно, для наиболее полного и эффективного использования вычислительной техники в проектно-конструкторской деятельности инженеров необходимы глубокие знания разработчиков по вопросам теории проектирования, конструирования заданного семейства машин, математического моделирования, использования вычислительных методов решения проектных задач, теории автоматизированной переработки информации и применения современных вычислительных средств.

*Вопросы для контроля:*

1. Содержание технического задания и предложения для эскизного, технического и рабочего проектов.
2. Особенности индивидуальных проектов машин.
3. Классификация факторов, определяющих развитие машины: внешние и внутренние; потребности, возможности и ограничения.
4. Классификационная система машин. Понятия о классе, роде, виде, разновидности, типоразмере, модели машины.
5. Основные принципы при конструировании машин.

## **Тема 5. Методики оптимизации проектно-конструкторских решений**

*Ключевые вопросы темы*

1. Задачи и математические модели оптимизации.
2. Методологические основы оптимизации.
3. Методы безусловной оптимизации технических решений.
4. Линейное программирование.
5. Нелинейное программирование при решении задач оптимизации.

*Ключевые понятия:* условная оптимизация, безусловная оптимизация, критерий оптимизации, граничные условия, линейное программирование, симплекс-метод, нелинейное программирование.

*Литература:* [3, с. 136–154]

### *Методические рекомендации*

В настоящее время методы оптимизации эффективно применяются в самых различных областях человеческой деятельности. Особенно значительные успехи достигнуты при проектировании и анализе больших технических систем, прежде всего машин и оборудования, в экономике и организации производства. Отличие оптимизационного решения от многовариантного при проектировании оборудования заключается в следующем. При вариантных расчетах значение целевой функции является следствием заданных значений величин. При оптимизационном расчете значения искомых величин удовлетворяют всем ограничениям и граничным условиям и являются наилучшими из возможных при эксплуатации оборудования.

В настоящее время для специалиста знание методов оптимизации является столь же необходимым, как знание основ математического анализа, теории механизмов и машин, физики, сопротивления материалов, деталей машин и ряда других курсов, ставших традиционными. В наиболее общем смысле теория оптимизации представляет собой совокупность фундаментальных математических результатов и численных методов, ориентированных на нахождение и идентификацию наилучших вариантов из множества альтернатив и позволяющих избежать полного перебора и оценивания возможных вариантов. Процесс оптимизации лежит в основе всей инженерной деятельности, поскольку классические функции инженера заключаются в том, чтобы, с одной стороны, проектировать новые, более эффективные и менее дорогостоящие технические системы и, с другой, – разрабатывать методы повышения качества функционирования существующих систем.

Эффективность оптимизационных методов, позволяющих осуществить выбор наилучшего варианта без непосредственной проверки всех возможных вариантов, тесно связана с широким использованием достижений в области математики: теории матриц, элементов линейной и нелинейной алгебры и дифференциального исчисления, а также положений математического анализа.

Задачи оптимизации с точки зрения математической постановки относятся к задачам математического программирования и части науки, называемой исследованием операций. Первым и наиболее важным этапом оптимизации технических решений является постановка задачи оптимизации. Корректная постановка задачи служит ключом к успеху оптимизационного исследования и ассоциируется в большей степени с искусством, нежели с точной наукой. Искусство постановки задачи постигается в практической деятельности на примерах успешно реализованных разработок и основывается на четком представлении преимуществ, недостатков и специфических особенностей различных методов оптимизации. В качестве критерия, на основе которого можно оценить техническое решение, могут быть экономические, технологические или иные факторы, например капитальные затраты, издержки в единицу времени, чистая прибыль в единицу времени, продолжительность процесса производства изделия, минимизация потребляемой энергии, минимизация массы изделия и др.

При определении оптимума обычно принимают один из критериев, который считается первичным, остальные критерии являются вторичными. Первичный критерий используется при оптимизации как характеристическая мера, а

вторичные критерии порождают ограничения оптимизационной задачи, устанавливающие диапазоны изменения соответствующих показателей от минимальных до максимальных приемлемых значений. Так, в рассматриваемом примере в качестве целевой функции берется по заданию масса пружины, которая должна быть минимальна. Хотя за целевую функцию могли быть приняты критерии прочности, предотвращение резонанса и др.

Задачами линейного программирования называются оптимизационные задачи, в которых ограничения представляются в виде равенств или неравенств и целевая функция линейна. Это наиболее часто применяемый метод решения оптимизационных задач, особенно в экономике и управлении.

Нелинейное программирование применяется при решении задач, в которых нелинейны и (или) целевая функция, и (или) ограничения в виде равенств и неравенств и для которых методы математического анализа оказываются непригодными. Нелинейное программирование представляет наиболее характерный метод оптимизации при проектировании машин и технологических процессов и служит для выбора наилучшего плана распределения ограниченных материальных, финансовых и трудовых ресурсов.

*Вопросы для контроля:*

1. Сущность оптимизации и области применения оптимизационных задач.
2. Последовательность процесса постановки задач инженерной оптимизации.
3. Границы оптимизационной системы.
4. Критерии оптимизации.
5. Независимые и зависимые переменные оптимизационных задач.
6. Оптимизационные модели.
7. Целевая функция, ограничения и пределы.
8. Условная и безусловная оптимизация.
9. Классификация задач оптимизации.
10. Классификация математических моделей оптимизации.

## **Тема 6. Оценка экономической эффективности проектно-конструкторских решений при оптимизации**

*Ключевые вопросы темы*

1. Оценка экономической эффективности проектно-конструкторских решений.
2. Оценка рентабельности машин.
3. Функционально-стоимостной анализ машин.
3. Принятие решений в условиях риска.
4. Система менеджмента качества.

*Ключевые понятия:* экономическая эффективность, экономичность машины, рентабельность, срок окупаемости, полезная отдача, долговечность, функциональная модель.

*Литература:* [2, с. 60–84]

### *Методические рекомендации*

Экономически направленное конструирование должно учитывать весь комплекс факторов, определяющих экономичность машины, и правильно оценивать относительные значения этих факторов. Главным фактором, определяющим экономичность машины, является суммарный экономический эффект за весь период работы машины. Кроме того, экономичность машины определяется ее рентабельностью, сроком окупаемости, а точнее, коэффициентами использования, эксплуатационных расходов и стоимости. Рентабельность машины выражается отношением полезной отдачи машины к сумме расходов за определенный период времени. Стоимость машины при прочих равных условиях в решающей степени зависит от серийности выпуска. При массовом выпуске стоимость машины невелика в общей сумме расходов. Как правило, экономический эффект в наибольшей степени зависит от величины полезной отдачи машины и от ее надежности, особенно от двух слагаемых надежности: долговечности и ремонтпригодности. Эти факторы постоянно должны стоять в центре внимания конструктора при разработке или модернизации машины.

Полезная отдача машины выражается стоимостью продукции или полезной работой, выполняемой машиной в единицу времени. Величина полезной отдачи зависит от производительности машины, т. е. от числа операций (или единиц работы), выполняемых ею в единицу времени, и от стоимости этих операций (единиц работы). Увеличение полезной отдачи – комплексная задача, решение которой во многом зависит от правильной организации эксплуатации машины.

Однако эту задачу следует решать конструктивными методами. Машина должна проектироваться с наибольшей возможной производительностью в соответствии с реальными требованиями производства и перспективами его развития. Рабочие и исполнительные механизмы машины должны рассчитываться на максимальный объем операций с соответствующим выбором ее кинематики, мощности, прочности и жесткости. Любая идея, которая затем материализуется в продукте, всегда требует затрат на изготовление и эксплуатацию и поэтому должна быть экономически оправдана. Преодолению противоречий между техническими и экономическими требованиями к товару способствует функционально-стоимостной анализ, который должен осуществляться в каждой фазе реализации проекта. В основе методологии ФСА лежит понимание того, что потребителя интересует в конечный разрабатываемый продукт необходимо закладывать основные функции, которые интересуют потребителя, и осуществлять их самым экономичным способом.

Функционально-стоимостной анализ – это формализованный метод нахождения резервов снижения затрат посредством исследования основных и вспомогательных функций объекта анализа и поиска наиболее экономичных технических решений их осуществления. Объектами анализа могут быть: продукция, элементы ее конструкции, технология производства, организация производства, организация работы предприятия и т. д.

Теоретическую базу современной концепции ФСА в сфере проектирования составляют принципы функциональной организованности систем, которые позволяют определить уровень организованности объектов и их жизнеспособ-

ность. Именно эти принципы помогают использовать ФСА в полной мере, связать в единое целое вопросы снижения издержек и повышения качества исполнения функций изделий с тенденциями развития техники. Различные принципы функциональной организованности отражает совокупность коэффициентов. Их целесообразно учитывать при оценке уровня качества технических решений и прогнозирования затрат на их реализацию. Кроме того, по ходу функционального исследования создаваемого изделия предусматривается системное изучение всех возможных условий, в которых оно будет существовать в течение всего жизненного цикла.

Системный анализ и системный подход пронизывают все стороны деятельности предприятия. Они проявляются, в частности, в проектном подходе при проектировании и эксплуатации машин и оборудования, в менеджменте. В соответствии с требованием ГОСТ Р ИСО 9000-2008 «В проектном подходе проект понимается как уникальный процесс, состоящий из совокупности скоординированных и управляемых видов деятельности с начальной и конечной датами, предпринимаемой для достижения цели, соответствующей конечным требованиям, и включающий ограничения по срокам, стоимости и ресурсам». Качество выполнения проекта определяется его стоимостью, временем реализации и содержанием и наглядно представляется «пирамидой управления», изображающей иерархию параметров, влияющих на качество выполнения проекта.

*Вопросы для контроля:*

1. Методика расчета себестоимости машины.
2. Методика расчета рентабельности.
3. Принципы функционально-стоимостного анализа.
4. Методы принятия решений в условиях неопределенности.
5. Типы неопределенности.
6. Особенности принятия решений в условиях риска.
7. Сущность методов теории игр при принятии решений.
8. Сущность системы менеджмента качества.

## **2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков проектирования рациональных конструкций оборудования с применением перспективных физических методов.

Практические занятия по дисциплине «Методы оптимизации проектно-конструкторских решений» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Расчет оптимального периода стойкости при проектировании режущего инструмента
2	Расчет оптимальных параметров конструкции
3	Обоснование оптимального проектного решения методом линейного программирования
4	Оптимизация проектного решения с использованием теории массового обслуживания

### **Практическая работа № 1: Расчет оптимального периода стойкости при проектировании режущего инструмента**

*Цель:* получить умения и навыки оптимизации режущих инструментов токарной и фрезерной обработки.

*Задание по практической работе:* определить оптимальный период стойкости инструментов для целевого условия минимальной себестоимости операции токарной и фрезерной обработки.

*Примечание:* исходные данные для расчета определяются преподавателем.

#### *Методические рекомендации*

Известно, что увеличение скорости резания при лезвийной обработке приводит к уменьшению машинного времени. Однако скорость резания нельзя назначать без учёта конкретных условий обработки, поскольку при её увеличении резко возрастёт износ инструмента, т. е. снизится его стойкость – машинное время работы инструментом от переточки до переточки (или до определённой величины износа). Это вызовет более частую переточку инструмента, а следовательно, и затраты труда заточника, затраты времени на снятие и установку инструмента (поскольку станок в это время будет простаивать) и перевод в отходы (при заточке) определённого количества материала, идущего на изготовление режущей части инструмента.

Таким образом, стойкость инструмента влияет и на производительность, и на себестоимость обработки. В зависимости от условий обработки, конструкции режущего инструмента и станка, общего технического уровня производства и технико-экономических условий эксплуатации станка и инструмента, значения стойкости и соответствующей ей скорости резания должны быть различными. Так, чем более сложна и дорога конструкция инструмента, больше материала режущей части инструмента при переточке и расход материала инструмента, которым ведётся переточка, больше времени затрачивается на снятие со станка затупленного инструмента и установку нового (переточенного), меньше показатель относительной стойкости инструмента, тем больше должна быть стойкость инструмента. На практике, в нормальных условиях, при назначении скорости резания используют оптимальную стойкость.

Оптимальная стойкость – стойкость режущего инструмента, при которой общая сумма затрат общественного труда при выполнении той или иной технологической операции будет наименьшей. При установлении величины оптимальной стойкости учитываются затраты, связанные как с самим инструментом, так и с использованием заданного станка при выполнении на нём данной технологической операции. Оптимальный период стойкости инструмента  $T$  для целевого условия минимальной себестоимости операции можно определить, используя теоретическую зависимость себестоимости операции механической обработки.

*Контрольные вопросы:*

1. В чём заключается суть классического метода минимизации (максимизации) функции одной переменной?
2. Какие исходные данные необходимы для решения задачи оптимизации?
3. Какова последовательность этапов поиска решения одномерной задачи оптимизации?
4. Какова роль области допустимых решений задачи оптимизации?
5. В каких случаях классический метод применить невозможно?

## **Практическая работа № 2: Расчет оптимальных параметров конструкции**

*Цель:* получить умения и навыки расчета оптимальных параметров машиностроительной продукции.

*Задание по практической работе:* определить оптимальные параметры цилиндрической емкости заданного объема при известных целевых условиях. Ёмкость сваривается аргонодуговой сваркой из листов коррозионностойкой стали 12Х18Н9Т.

*Примечание:* исходные данные для расчета определяются преподавателем.

*Методические рекомендации*

Выбор конкретного целевого условия при конструировании может быть обусловлен, например, требованиями ресурсосбережения. Поскольку для изготовления ёмкости используется дорогостоящий материал (листовая коррозионностойкая сталь), для экономии материала ёмкость должна иметь наименьшую площадь поверхности, таким образом, на её изготовление будет затрачено наименьшее количество металла. Может рассматриваться и другой вариант. Так как затраты на выполнение сварочной операции пропорциональны длине сварных швов, следовательно, ёмкость должна иметь минимальную длину швов.

Необходимо решить задачу для целевого условия, предполагающего минимизацию площади поверхности, т. е. экономию листового материала. Исходными данными для решения будут являться заданный объём ёмкости и границы изменения параметров ёмкости (для цилиндра – это высота и радиус основания). Поскольку в условии задачи явных ограничений не задано, примем в первом приближении, что высота и радиус могут меняться в диапазоне от нуля до бесконечности.

Далее необходимо определить целевую функцию, которая своим максимумом или минимумом будет сигнализировать о нахождении оптимальных значений неизвестных параметров. Из условия задачи следует, что такой функцией является площадь поверхности ёмкости. Таким образом, для минимизации площади поверхности цилиндрической ёмкости при заданном объёме необходимо, чтобы высота ёмкости была равна удвоенному радиусу основания (т. е. диаметру), иными словами, ёмкость должна вписываться в куб.

*Контрольные вопросы:*

1. Что такое целевая функция?
2. Что такое критерий оптимизации?
3. Может ли задача иметь более одного допустимого решения?
4. Может ли задача иметь более одного оптимального решения?
5. С какой целью строится вектор градиентного направления целевой функции?

### **Практическая работа № 3: Обоснование оптимального проектного решения методом линейного программирования**

*Цель:* получить умения и навыки применения метода линейного программирования при оптимизации проектного решения.

*Задание по практической работе:* рассчитать оптимальное соотношение между видами выпускаемой продукции для получения максимального ежедневного дохода.

*Примечание:* исходные данные для расчета определяются преподавателем.

*Методические рекомендации*

Компания производит краску для внутренних и наружных работ из сырья двух типов: М1 и М2. Доход от реализации краски для внутренних работ составляет 5000 руб./т, краски для наружных работ 4000 руб/т. Отдел маркетинга компании ограничил ежедневное производство краски для внутренних работ до 2 т (из-за отсутствия надлежащего спроса), а также поставил условие, чтобы ежедневное производство краски для внутренних работ не превышало более чем на 1 т ежедневный объём производства краски для наружных работ.

Прежде чем построить математическую модель задачи, необходимо ответить на следующие вопросы:

- что является искомыми величинами?
- какова цель решения?
- какой параметр задачи служит критерием оптимальности решения (прибыль, себестоимость, время)?
- в каком направлении должно изменяться значение этого параметра – к максимуму или к минимуму – для достижения наилучших результатов?
- какие условия в отношении искомых величин и ресурсов задачи должны быть выполнены?

Эти условия устанавливаются, как должны соотноситься друг с другом различные параметры задачи, например: количество ресурса, затраченного при

производстве, и его запас на складе; количество выпускаемой продукции и ёмкость склада, где она будет храниться; количество выпускаемой продукции и рыночный спрос на эту продукцию, и т. д.

Первый этап разработки модели – определение переменных. В данной задаче необходимо определить ежедневные объёмы производства краски для внутренних и наружных работ. Обозначим эти объёмы как переменные:

$x_1$  – объём производства краски для наружных работ, т/сут;

$x_2$  – объём производства краски для внутренних работ, т/сут.

В условии задачи сформулирована цель – добиться максимального дохода от реализации продукции, т. е. критерием эффективности служит параметр суточного дохода, который должен стремиться к максимуму. Чтобы рассчитать величину суточного дохода от продажи краски обоих видов, необходимо знать объёмы производства красок, т. е.  $x_1$  и  $x_2$  т краски в сутки, а также цену 1 т краски каждого вида – согласно условию, это 5 и 4 тыс. руб. за тонну соответственно.

Таким образом, доход от продажи краски для наружных работ в сутки составит  $5 \cdot x_1$  тыс. руб., а доход от продажи краски для внутренних работ –  $4 \cdot x_2$  тыс. руб. Поэтому запишем целевую функцию, обозначив её как  $z$  (она измеряется в тысячах рублей), в виде суммы дохода от продажи красок обоих видов:  $z = 5 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2 \rightarrow \max$ .

Последний элемент модели – ограничения, которые должны учитывать возможности ежедневного потребления сырья и ограниченность спроса на готовую продукцию.

*Контрольные вопросы:*

1. Какие основные элементы включает в себя задача математического программирования?

2. В чём характерная особенность задач линейного программирования?

3. Какие исходные данные необходимы для решения задачи линейного программирования?

4. В чём преимущество графоаналитического метода решения задач линейного программирования?

5. Можно ли графоаналитически решить задачу с более чем двумя неизвестными?

#### **Практическая работа № 4: Оптимизация проектного решения с использованием теории массового обслуживания**

*Цель:* получить умения и навыки применения теории массового обслуживания для оптимизации проектно-конструкторских решений.

*Задание по практической работе:* необходимо определить минимальную ёмкость накопителя гибкого производственного модуля, если вероятность переполнения накопителя и, следовательно, отказа от приёма очередной детали не должна превышать заданного значения.

*Примечание:* исходные данные для расчета определяются преподавателем.

### *Методические рекомендации*

На участке автоматизированного производства имеется гибкий производственный модуль (ГПМ), состоящий из одного обслуживающего устройства (токарного станка с ЧПУ), накопителя для размещения очереди заявок (тактового стола) и промышленного робота. Известно среднее время между поступающими заявками (заготовками для последующей обработки) и среднее время обслуживания (токарной обработки заготовок по управляющей программе). Поскольку ёмкость накопителя ограничена, может создаться неблагоприятная ситуация, когда очередной заявке будет отказано в обслуживании по причине отсутствия свободных ячеек в накопителе. В таком случае заготовка транспортируется на другой, свободный ГПМ, что приводит к дополнительным транспортным потерям.

При выполнении задания возможно использовать следующие рассуждения. Представим ГПМ как одноканальную систему массового обслуживания (СМО). Пусть  $n$  – ёмкость накопителя. Тогда в зависимости от того, сколько заготовок находится в данный момент времени в системе, можно перечислить все состояния, при которых не происходит отказа в обслуживании:

0-е состояние – ни одной заготовки в системе;

1-е состояние – одна заготовка обрабатывается;

2-е состояние – одна заготовка обрабатывается, вторая находится в накопителе и т. д.;

$n$ -е состояние – одна заготовка обрабатывается,  $n$  находятся в накопителе.

Вероятность того, что система находится в одном из перечисленных «благоприятных» состояний, есть сумма вероятностей появления каждого из них. Далее по методике расчета одноканальной системы массового обслуживания с ограниченной очередью следует рассчитать вероятность нахождения ГПМ в каждом состоянии и определить минимальную ёмкость накопителя  $n$ .

### *Контрольные вопросы:*

1. Какие основные элементы включает в себя СМО?
2. Какие правила могут использоваться в механизме обслуживания СМО?
3. Какие данные необходимы для расчёта интенсивностей потока заявок и обслуживания?
4. С какой целью используется размеченный граф состояний СМО?
5. Что характеризуют абсолютная и относительная пропускные способности СМО?
6. Как зависит пропускная способность одноканальной СМО с ограниченной очередью от соотношения между скоростями поступления заявок и обслуживания?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шкварцов, В. В. Алгоритм оптимального проектирования: учеб. пособие / В. В. Шкварцов. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" имени Д. Ф. Устинова, 2014. – 66 с.
2. Колмогоров, Г. Л. Оптимальное проектирование конструкций: учеб. пособие / Г. Л. Колмогоров, А. А. Лежнева. – Пермь: ПНИПУ, 2009. – 168 с.
3. Экономическая эффективность технических решений: учеб. пособие / С. Г. Баранчикова, Т. Е. Дашкова, И. В. Ершова, Н. Е. Калинина; под ред. И. В. Ершовой. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – 140 с.
4. Барский, А. Б. Нейросетевые методы оптимизации решений: учеб. пособие / А. Б. Барский. – Санкт-Петербург: Интермедия, 2017. – 312 с.
5. Рыжиков, Ю. И. Численные методы теории очередей: учеб. пособие / Ю. И. Рыжиков. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 512 с.
6. Белякова, А. Ю. Имитационное моделирование: учеб. пособие / А. Ю. Белякова. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2020. – 120 с.
7. Яковлев, С. В. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / С. В. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь: СКФУ, 2014. – 354 с.
8. Пройдакова, Е. В. Построение математических моделей управляющих систем обслуживания: учеб.-метод. пособие / Е. В. Пройдакова. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. – 30 с.
9. Пройдакова, Е. В. Исследование систем массового обслуживания методом имитационного моделирования: учеб. пособие / Е. В. Пройдакова, М. А. Федоткин. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. – 21 с.
10. Зюльков, А. В. Имитационное моделирование. вероятностные и статистические аспекты: учеб.-метод. пособие / А. В. Зюльков, Ю. С. Радченко, А. В. Захаров. – Воронеж: ВГУ, 2017. – 40 с.
11. Хрущева, И. В. Основы математической статистики и теории случайных процессов: учеб. пособие / И. В. Хрущева, В. И. Щербаков, Д. С. Леванова. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 336 с.
12. Салмина, Н. Ю. Имитационное моделирование: учеб. пособие / Н. Ю. Салмина. – Москва: ТУСУР, 2015. – 118 с.
13. Зариковская, Н. В. Математическое моделирование систем: учеб. пособие / Н. В. Зариковская. – Москва: ТУСУР, 2014. – 168 с.
14. Теория систем массового обслуживания: учеб. пособие / сост. А. В. Шапошников [и др.]. – Ставрополь: СКФУ, 2017. – 134 с.
15. Моделирование систем: учеб. пособие: в 2 ч. – Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2013 – Ч. 1. – 78 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/180065> (дата обращения: 13.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
16. Моделирование систем: учеб. пособие: в 2 ч. – Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2013 – Ч. 2. – 95 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/180065> (дата обращения: 13.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Локальный электронный методический материал

Олег Вячеславович Агеев

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 2,3. Печ. л. 1,8

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1