

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению практических занятий по дисциплине
«Оборудование машиностроительных производств»
для студентов направления подготовки
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Практическое занятие ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ	5
2 Практическое занятие ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	12
3 Практическое занятие ВЫБОР ЗНАМЕНАТЕЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ	30
4 Практическое занятие ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД КИНЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОРОБКИ СКОРОСТЕЙ И ПОДАЧ	33
5 Практическое занятие МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ КОЛЕС ГРУППОВЫХ ПЕРЕДАЧ	40
6 Практическое занятие САПР КОРОБОК СКОРОСТЕЙ	45
7 Практическое занятие МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАНКА	50
8 Практическое занятие ОСОБЕННОСТИ СИЛОВЫХ РАСЧЕТОВ КОРОБОК СКОРОСТЕЙ И ПОДАЧ	62
9 Практическое занятие ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБЧАТОГО СОЕДИНЕНИЯ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR	63
10 Практическое занятие ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАЛА В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR	74
11 Практическое занятие ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR	90
12 Практическое занятие ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR	104
13 Практическое занятие ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РЕЗЬБОВЫХ	

СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR	117
14 Практическое занятие АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR.....	129
15 Практическое занятие ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРУЖИН СЖАТИЯ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR	140
16 Практическое занятие РАБОТА С АССОЦИАТИВНЫМИ СПЕЦИФИКАЦИЯМИ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR	149

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для изучения методики проектирования оборудования машиностроительных производств и выполнения практических занятий по дисциплине «Оборудование машиностроительных производств». Предназначены для студентов по направлению подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, направление (профиль) подготовки: "Технология машиностроения" Квалификация выпускника: Бакалавр.

Представлены методики проведения практических занятий, приведены примеры решения задач, задания и список рекомендуемой литературы. Для закрепления материала приводятся контрольные вопросы.

Основное внимание уделено изучению методики проектирования и расчета элементов сложных технических конструкций в среде AUTODESK INVENTOR и собственных программ на примере проектирования приводов металлорежущих станков.

Выполнение практических работ необходимо для освоения профессиональных компетенций: ОПК-3 – Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование; ОПК-8 – Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа.; ПК-9 – Способен осуществлять пусконаладочные работы простого технологического оборудования механосборочного производства.

**Составители: к.т.н., доцент Сидоренко С. А.
доцент Герасимов Р.В.**

1 Практическое занятие ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Цель

Цель работы – ознакомление с методикой и стадиями подготовки конструкторской документации.

Индивидуальное задание – изучить стадии подготовки документов и выполнить разработку технического задания и технического предложения для решения конкретной технической задачи по индивидуальному заданию.

Теоретическая часть

Теоретические сведения изложены в ОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки (с Поправкой).

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
2.103—
2013

Единая система конструкторской документации СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

Издание официальное



Москва
Стандартинформ
2015

1.1 Стадии разработки документации

Единая система конструкторской документации является тем сводом правил, на основании которых устанавливается, каким именно образом должна разрабатываться конструкторская документация, согласно которой изготавли-

ваются все промышленные изделия. Именно ЕСКД определяете стадии, которые проходит разработка конструкторской документации, причем выполняется она в строго определенной последовательности.

1. Техническое задание

В техническое задание (ТЗ) входит:

- наименование и область применения изделия;
- основание для его разработки;
- цель и назначение разработки;
- технические требования;
- экономические показатели;
- необходимые стадии работ;
- порядок контроля и приемки изделия.

Техническое задание согласуется в установленном порядке с заказчиком. Если исходные данные технического задания не определяют однозначно рационального конструкторского решения, то осуществляют 2-ой этап.

1.2 Техническое предложение

Все объекты промышленного производства разрабатываются на основе технической документации. Она оформляется в несколько этапов, самым первым из которых является формулирование технического предложения.

Основными этапами выполнения работ являются следующие:

- подбор всех необходимых материалов;
- мероприятия по разработке технического предложения, где всей документации присваивается литера «П»;
- изучение, рассмотрение и окончательное утверждение технического предложения.

После того, как техническое предложение согласовывается и утверждается в том порядке, который установлен соответствующими нормативными документами, оно становится тем основанием, на котором разрабатывается тех-

нический (эскизный) проект.

1.3 Эскизный проект

Эскизный проект представляет собой конструкторскую документацию, в которой должна содержаться подробная и исчерпывающая информация относительно того, какие именно конструктивные решения были применены при разработке изделия, каково его устройство и принцип работы, а также данные относительно габаритов, основных параметров и назначения. Что касается основных этапов, которые предусматривает выполнение эскизного проекта, то ими являются:

- разработка, в ходе которой всей документации, входящей в эскизный проект, присваивается литера «Э»;
- производство согласно документации макетов, а также (если возникает необходимость) их испытание.

1.3.1 Проработка, рассмотрение и окончательное утверждение эскизного проекта

После того, как эскизный проект в установленном порядке успешно пройдет стадии согласования и утверждения, он становится основанием, согласно которому производится разработка или рабочей конструкторской документации, или же технического проекта.

1.4 Технический проект

Технический проект представляет собой комплект конструкторской документации, в которой должна содержаться подробная и исчерпывающая информация относительно того, какие именно конструктивные особенности имеет разрабатываемое изделие, каково его устройство. Кроме того, технический проект должен содержать все исходные данные, которые требуются для

успешной подготовки всей необходимой рабочей документации.

Основными этапами технического проектирования являются следующие:

1 Тщательная разработка технического проекта, в ходе которой всей касающейся его документации присваивается литера «Т».

2 Производство макетов и (если в этом есть необходимость) проведение их испытаний.

3 Проработка, рассмотрение и окончательное утверждение технического проекта.

После того, как технический проект в установленном порядке успешно пройдет стадии согласования и утверждения, он становится основанием, согласно которому производится разработка рабочей конструкторской документации.

1.5 Рабочая конструкторская документация опытного образца

Этот этап разработки конструкторской документации состоит из следующих обязательных процедур:

1 Проработка и оформление полного пакета конструкторской документации, которая требуется для того, чтобы изготовить и испытать опытный образец (или же опытную партию). При этом литера документам не присваивается.

2 Выпуск и проведение предварительных испытаний изготовленного опытного образца (или всей опытной партии)

Мероприятия по корректировке конструкторской документации, внесение в нее необходимых изменений по результатам испытаний, и присвоение ей литеры «О».

3 Еще одни, теперь уже приемочные испытания опытного образца (или же опытной партии).

4 Мероприятия по корректировке конструкторской документации, вне-

сение в нее необходимых изменений, необходимость которых выявлена в результате повторных испытаний, с дальнейшим присвоением ей литеры «О1».

5 Те изделия, которые разрабатываются по заказам Министерства обороны Российской Федерации, в случае возникновения необходимости изготавливаются повторно, после чего производится их испытание, а документации присваивается литера «О2».

1.6 Рабочая конструкторская документация серийного производства

Этот этап разработки конструкторской документации состоит из следующих обязательных процедур:

1 Выпуск установочной серии, ее испытание согласно документации с литерой «О1» или «О2».

2 Мероприятия по корректировке конструкторской документации, внесение в нее необходимых изменений, необходимость которых выявлена в результате установочных испытаний, с дальнейшим присвоением ей литеры «А».

3 Те изделия, которые разрабатываются по заказам Министерства обороны Российской Федерации, в случае возникновения необходимости изготавливаются повторно, после чего производится испытание контрольной (головной) серии в соответствии с документацией с литерой «А»; по результатам корректировки ей присваивается литера «Б».

Вопросы к практическому занятию

- 1 Какие стадии включает в себя конструкторская подготовка производства?
- 2 Что является признаком технического предложения?
- 3 Что является признаком технического проекта?

Индивидуальные задания

Индивидуальное задание – изучить стадии подготовки документов и

выполнить анализ технического задания (на примере индивидуального задания на курсовой проект).

2 Практическое занятие **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Цель работы: ознакомление с методикой обоснования технических характеристик металлорежущих станков.

Теоретическая часть

Проектирование станка начинается с обоснования технической характеристики. С этой целью в качестве исходных данных указываются размеры обрабатываемой детали и другие величины, характеризующие параметры обработки (материал обрабатываемой детали, материал режущей части инструмента, характеристика производства, в котором предполагается эксплуатация оборудования (единичное, серийное или массовое)).

В результате обоснования технических характеристик должны быть определены: максимальные и минимальные размеры обрабатываемых изделий; максимальное или минимальное значение частот вращения шпинделя (максимальное и минимальное значения подач для коробок подач); необходимая мощность электродвигателя.

Для определения этих параметров определяются операции, которые могут производиться на станке, и рассчитываются режимы резания на этих операциях. Данный анализ может быть выполнен в ручном режиме или расчетным или справочным методом.

2.1 Обоснование технических характеристик токарных и токарно-винторезных станков

При проектировании станков токарной группы должны быть известны: наибольший наружный диаметр $D_{\text{наиб}}$ (мм) изделия, обрабатываемого на станке; материал обрабатываемых изделий; материал режущей части инструментов (принимается в соответствии с обрабатываемым материалом); характер производства, в котором намечается использование станка. Для токарно-винторезных станков могут быть заданы типы и диапазон нарезаемых резьб.

План обоснования технических характеристик коробки скоростей токарного станка.

По заданному наибольшему диаметру $D_{\text{наиб}}$ определяется максимальный наружный диаметр изделия, обрабатываемый над суппортом:

$$D_{\text{max}} = C_n D_{\text{наиб}} \quad (1.1)$$

где $C_n = 0,52-0,55$ – коэффициент высоты каретки суппорта. Определяется минимальный диаметр обрабатываемого изделия

$$D_{\text{min}} = 0,25 D_{\text{max}} \quad (2.1)$$

По справочным данным [9] определяются максимальная t_{max} и минимальная t_{min} глубины резания для заданных условий обработки.

По справочным данным [9] определяются значения максимальной V_{max} и минимальной V_{min} скоростей резания для конкретно заданных условий обработки. Максимальная скорость резания V_{max} определяется для чистовых операций (при t_{min} и S_{min}) при обработке самого мягкого из заданных материалов наиболее производительным инструментом. Минимальная скорость резания V_{min} определяется для черновых операций (при t_{max} и S_{max}) при обработке самого труднообрабатываемого из заданных материалов при условии, что его твердость имеет верхний допустимый предел и наименее производительным (из указанного в задании или выбранного) инструментом (при условии обработки литых заготовок по корке). Найденное значение наименьшей скорости резания при точении сравнивается со скоростями при нарезании резьбы резцами. Если при точении наименьшая скорость резания окажется выше, чем скорость резания при нарезании резьбы, последняя принимается в качестве минимальной для проектируемого станка.

По значениям V_{max} и V_{min} определяются максимальная n_{max} и минимальная n_{min} частоты вращения шпинделя. Предполагая, что с наибольшей скоростью резания обрабатываются изделия наименьших диаметров, а с наименьшей – наибольших, получаем:

$$n_{\max} = \frac{1000V_{\max}}{\pi D_{\min}}, \quad (2.2)$$

$$n_{\min} = \frac{1000V_{\min}}{\pi D_{\max}}. \quad (2.3)$$

Определяется [9] максимальное усилие резания $P_{z\max}$ (тангенциальная составляющая усилия резания) при отделении стружки наибольшего сечения ($S_{\max}$, $t_{\max}$) в процессе обработки самого труднообрабатываемого материала.

Определяется или рассчитывается максимальная эффективная мощность резания $N_{\text{эф}}$ [9], необходимая при отделении стружки наибольшего сечения в процессе обработки наиболее производительным инструментом самого мягкого материала. Если, согласно заданию, обрабатываются различные материалы (сталь, чугун, цветные сплавы и т.д.), то в расчет принимают самую мягкую из обрабатываемых сталей, а не самый мягкий материал вообще

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_{z\max} V}{60 \cdot 102}. \quad (2.4)$$

Определяется максимальная потребная мощность электродвигателя:

$$N_{\text{эл max}} = \frac{N_{\text{эф}}}{k\eta}, \quad (2.5)$$

где $k = 1,2 - 1,3$ – коэффициент повторно кратковременной перегрузки электродвигателя ; при длительной равномерной нагрузке $k = 1$;

η – коэффициент полезного действия привода станка. КПД всех передач привода по наиболее длинной кинематической цепи, например, для кинематической схемы, представленной на рисунке 3, будет равен:

$$\eta = \eta_{\text{рп}} \eta_{\text{эк}}^3 \eta_{\text{п}}^8, \quad (2.6)$$

где $\eta_{\text{рп}}$ – КПД ременной передачи;

$\eta_{\text{эк}}$ – КПД зубчатой передачи;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД подшипников.

Значения КПД приведены в приложении 1. При ориентировочных расчетах принимается $\eta = 0,75 \dots 0,85$.

По каталогу [10] подбирается электродвигатель, ближайший к расчетному, с округлением в меньшую сторону.

Так как средняя загруженность универсальных станков по мощности значительно меньше максимальной, то мощность устанавливаемого электродвигателя по сравнению с максимальной требуемой можно уменьшить умножением ее на коэффициент 0,6 – 0,7:

$$N_{\text{уст. эл}} = (0,6 - 0,7) N_{\text{эл. max}}. \quad (2.7)$$

При расчете коробок подач отличие состоит в следующем:

а) определяется по [9] максимальная S_{max} и минимальная S_{min} величины подач. Минимальная подача S_{min} рассчитывается, исходя из требований к шероховатости поверхности, достигаемой после чистовой обработки;

б) находится максимальное усилие $P_{x \text{ max}}$, действующее вдоль оси заготовки:

$$P_{x \text{ max}} = 0,5 P_{z \text{ max}}, \quad (2.8)$$

в) определяется тяговая сила Q , необходимая для осуществления продольной подачи суппорта:

$$Q = k_1 P_{x \text{ max}} + f (P_{z \text{ max}} + G_{\text{пер}}), \quad (2.9)$$

где $G_{\text{пер}}$ – вес перемещающихся частей, даН; если вес перемещающихся частей неизвестен, то принимают $G_{\text{пер}} = 0,15 G_{\text{ст}}$;

$G_{\text{ст}}$ – вес станка, который ориентировочно принимается из каталога или из паспорта для станка такого же типоразмера;

$k_1 = 1,15$ – коэффициент, учитывающий влияние опрокидывающего момента;

$f = 0,15$ – приведенный коэффициент трения на направляющих.

2.2 Обоснование технических характеристик токарно-револьверных станков и токарно-револьверных автоматов

При проектировании токарно-револьверных станков и токарно-револьверных автоматов в задании указываются следующие исходные данные:

а) наибольший диаметр $D_{\text{наиб}}$, обрабатываемой в патроне заготовки, мм

(задается, когда обрабатывается не только прутковый материал, но и заготовка в патроне);

- б) наибольший диаметр обрабатываемого прутка $d_{\text{наиб}}$, мм;
- в) материал обрабатываемых изделий;
- г) материал режущей части инструментов;
- д) характер производства, в котором намечается использование станка.

Обоснование технических характеристик токарно-револьверного станка и токарно-револьверного автомата производится также, как и токарного станка, но с учетом возможности работы одновременно несколькими инструментами. Особенности расчета заключаются в следующем:

Если, согласно заданию, на проектируемом станке предполагается обработка заготовок из пруткового материала, закрепляемых в патроне, то $D_{\text{наиб}}$ – наибольший наружный диаметр обрабатываемого изделия, ограничиваемый станиной. Как и у токарного станка, расчетный максимальный диаметр D_{max} меньше $D_{\text{наиб}}$ и определяется по формуле (1.1). При обработке деталей только из пруткового материала D_{max} принимается равным наибольшему диаметру прутка $d_{\text{наиб}}$. D_{min} определяется как $0,5d_{\text{наиб}}$ прутка для любого из этих случаев.

Величины наибольших и наименьших значений глубины резания и подачи определяются по справочным данным [9].

Наибольшая и наименьшая скорости резания определяются по справочным данным [9] в соответствии с методикой, изложенной выше.

Минимальные значения требуемых скоростей резания получаются иногда не при точении, а при других видах обработки. Поэтому минимальные скорости резания при обработке наиболее твердых материалов инструментами с наименьшей стойкостью для таких технологических процессов, как наружное нарезание резьбы, сверление и развертывание, подсчитываются по формулам и таблицам, приведенным для токарных станков (нарезание резьбы) или для сверлильных (сверление и развертывание). Диаметр обрабатываемого отверстия равен $0,5d_{\text{наиб}}$ прутка [9].

Максимальная и минимальная частоты вращения шпинделя станка

находятся по формулам (1.3) и (1.4). Для определения минимальной частоты вращения шпинделя подсчитываются и сравниваются числа оборотов, рассчитанные для перечисленных ранее других технологических операций. Условно $d_{св} = d_{разв} = 0,5d_{max}$ при обработке инструментом, изготовленным из быстрорежущей стали. Если одно из подсчитанных значений частот вращения оказывается меньше, чем n_{min} при точении, то оно и принимается как n_{min} станка.

Так как работа на revolverных станках многоинструментальная, а замена инструмента связана со значительной затратой времени, значения скорости резания и частоты вращения шпинделя станка следует несколько уменьшить, умножив подсчитанные значения n_{max} и n_{min} на коэффициент 0,9.

При расчете мощности, потребляемой станком, необходимо учитывать возможность одновременной обработки детали несколькими инструментами. Эффективная мощность, получаемая при одновременной обработке резцом и сверлом, подсчитывается отдельно для каждой составляющей.

Суммарная эффективная мощность:

$$N_{сум} = N_{резания} + N_{сверления}, \quad (1.11)$$

Мощность электродвигателя рассчитывается по формулам (1.6) и (1.8).

Тяговая сила Q , необходимая для осуществления продольной подачи revolverного суппорта, определяется при одновременной работе резца и сверла с учетом осевой силы $P_{o\ max}$, возникающей при сверлении, по зависимости:

$$Q = \kappa_1 (P_{x\ max} + P_{o\ max}) + f (P_{z\ max} + G_{пер}), \quad (2.10)$$

где все значения величин те же, что и в формуле (1.10), $P_{z\ max}$ и $P_{x\ max}$ определяются предварительно для обработки резцом [9].

2.3 Обоснование технических характеристик карусельных станков

При проектировании карусельного станка исходными данными являются:

- максимальный диаметр обработки $D_{\max}$, мм;
- материал обрабатываемых изделий;
- материал режущей части инструментов;
- характер производства, в котором намечается использование станка.

План обоснования технических характеристик карусельного станка следующий:

Определяется диаметр планшайбы $D_{\text{пл}}$:

$$D_{\text{пл}} = \frac{D_{\max}}{1.12}. \quad (2.11)$$

Рассчитывается наименьший диаметр обрабатываемого изделия:

$$D_{\min} = (0,25 \dots 0,3) D_{\max}. \quad (2.12)$$

Определяется максимальная $t_{\max}$ и минимальная $t_{\min}$ глубины резания по справочным данным [9].

Определяются максимальная $S_{\max}$ и минимальная $S_{\min}$ подачи [9].

Определяется максимальная скорость резания $V_{\max}$ при обработке наиболее производительным инструментом самого мягкого материала (по заданию) при снятии стружки минимального сечения.

Рассчитывается минимальная скорость резания $V_{\min}$ при обработке наименее производительным инструментом самого твердого материала и при снятии стружки наибольшего сечения, используя $t_{\max}$ и $S_{\min}$.

Определяются предельные значения частот вращения планшайбы (формулы 1.3 и 1.4).

Определяются наибольшее усилие резания $P_{z \max}$ и сила P_x по данным [9].

Определяется максимальная эффективная мощность $N_{\text{эф} \max}$, необхо-

димая на резание при отделении наиболее производительным инструментом стружки максимального сечения на заготовке из самого мягкого материала (формула 1.6).

На карусельных станках, как правило, обрабатываются заготовки крупных габаритов, имеющие большой вес. Поэтому рассчитывается и мощность $N_{тр}$, расходуемая на трение в направляющих планшайбы, учитываемая через момент трения $M_{тр}$:

$$M_{тр} = \left(\sum G + 0,4 P'_{z \max} \right) f \frac{D_{н ср}}{2}, \quad (2.13)$$

где $\sum G = G_{заг} + 0,15 G_{стан}$ – вес всех вращающихся частей (обрабатываемой заготовки, планшайбы, колес привода, шпинделя и т.д.);

$G_{заг}$ – наибольший вес обрабатываемой заготовки (даН);

$G_{стан}$ – вес станка (эти значения ориентировочно принимаются из каталога или из паспорта для станка такого же типоразмера) (даН);

$0,4 P'_{z \max}$ – составляющая силы резания, прижимающая планшайбу к направляющим станка (даН). Сила $P_{z \max}$ определяется по данным [9];

f – коэффициент трения на направляющих, принимаемый для чугунных направляющих, равным 0,035; для направляющих с накладками из текстолита – 0,025;

$D_{н ср}$ – средний диаметр поверхности трения направляющих, мм;

$$D_{н ср} = 0,55 D_{пл}. \quad (2.14)$$

Определяется максимально потребная мощность $N_{эл}$ электродвигателя главного привода:

$$N_{эл} = \frac{N_{эф \max}}{k \eta} + \frac{M_{тр} n_{расч}}{975 \eta}, \quad (2.15)$$

где $k = 1 - 1,3$ – коэффициент перегрузки электродвигателя.

$n_{расч} = n_{\min} \sqrt[4]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}$ – расчетное число оборотов планшайбы,

$\eta = 0,8$ – коэффициент полезного действия цепи от электродвигателя

до шпинделя.

Так как средняя загруженность универсальных станков по мощности значительно меньше максимальной, подсчитанная величина умножается, как и для токарного станка, на коэффициент $0,6 - 0,7$.

Тяговая сила Q , необходимая для осуществления подачи одного суппорта, определяется по формуле 1.10.

2.4 Обоснование технических характеристик расточных станков

Обоснование технических характеристик расточных станков проводится так же, как и токарных, с использованием соотношений:

$$D_{\max} = 4d_{\text{раст}}; D_{\min} = (0,3...0,35) D_{\max}, \quad (2.16)$$

где $d_{\text{раст}}$ – диаметр расточного шпинделя;

$D_{\max}$, $D_{\min}$ – максимальный и минимальный диаметры растачиваемых отверстий.

При растачивании скорость резания по сравнению со скоростью резания при обтачивании наружных цилиндрических поверхностей понижается, что учитывается умножением подсчитанной для точения скорости (как максимальной, так и всех других) на коэффициент $0,9$.

2.5 Обоснование технических характеристик станков сверлильной группы

В задании на проектирование сверлильных станков обычно указываются следующие исходные данные:

- максимальный диаметр сверления $D_{\max}$, мм;
- материал обрабатываемых изделий;
- материал режущей части инструментов;
- характер производства, в котором намечается использование станков.

План обоснования технической характеристики коробки скоростей сверлильного станка следующий:

По заданному максимальному диаметру $D_{\max}$ определяется минимальный диаметр $D_{\min}$ сверления:

$$D_{\min} = (0,25 \dots 0,3) D_{\max} \quad (2.17)$$

Определяется максимальная $V_{\max}$ и минимальная $V_{\min}$ скорости резания при заданных условиях обработки для всех видов обработки (сверления, развертывания, зенкерования и т.д.) [9].

Если, согласно заданию, обрабатываются различные материалы (сталь, чугун и т.д.), то при определении $V_{\max}$ расчет производится для обработки самой мягкой из обрабатываемых сталей, а не самого мягкого материала вообще.

Выбирается значение минимальной скорости резания $V_{\min}$ для развертывания отверстия наибольшего диаметра в заготовке из самого твердого обрабатываемого материала [9].

Сопоставляя абсолютные значения скоростей резания для различных обрабатываемых материалов различными инструментами, выбираем из них максимальную $V_{\max}$ и минимальную $V_{\min}$ скорости резания для проектируемого станка.

Определяют максимальную $n_{\max}$ и минимальную $n_{\min}$ частоты вращения шпинделя:

$$n_{\max} = \frac{1000V_{\max}}{\pi D_{\min}}, \quad (2.18)$$

$$n_{\min} = \frac{1000V_{\min}}{\pi D_{\max}}. \quad (2.19)$$

Определяется по [9] максимальное осевое усилие $P_{o \max}$, действующее при сверлении самого труднообрабатываемого материала.

По величине $P_{o \max}$ рассчитывается на прочность механизм подачи сверлильного станка.

Определяется максимальная мощность $N_{\text{эф}}$ на резание [9].

Мощность электродвигателя $N_{\text{эл}}$ рассчитывается по формулам (1.7) и (1.8).

При расчете механизмов подачи сверлильных станков имеются следующие особенности:

а) определяются минимальная $S_{\max}$ и максимальная $S_{\min}$ подачи на один оборот сверла для самого мягкого обрабатываемого материала при работе сверлами наибольшего и наименьшего диаметров [9];

б) определяется максимальная $S_{\max}$ и минимальная $S_{\min}$ подачи на один оборот сверла для самого твердого обрабатываемого материала при работе сверлами наибольшего и наименьшего диаметров [9];

в) выбирается подача при развертывании отверстий наибольшего и наименьшего диаметров [9].

На сверлильном станке возможны и такие операции, как рассверливание, зенкерование, нарезание резьбы и др. Однако по сравнению с ними при развертывании обработка производится с более высокими подачами и малыми скоростями резания. При назначении предельных подач необходимо учитывать возможность обработки деталей режущими инструментами из различных материалов (быстрорежущей стали, твердого сплава и др.);

г) из сравнения величин подач, выбранных для различных обрабатываемых материалов при сверлении и развертывании различными режущими инструментами (из числа заданных), принимаются максимальная $S_{\max}$ и минимальная $S_{\min}$ подачи, которые и будут предельными значениями для проектируемого станка;

д) определяется тяговая сила Q , необходимая для осуществления подачи шпинделя:

$$Q = (1 + 0,5f) P_o \max + f \frac{N_{\text{эф}}}{\pi n d_{\text{шн}}}, \quad (2.20)$$

где $f = 0,15$ – коэффициент трения между пинолью и корпусом и на шлицах шпинделя;

$d_{\text{шн}}$ – диаметр шпинделя, мм: приблизительно равен наибольшему диаметру сверления.

2.6 Обоснование технических характеристик станков фрезерной группы

При проектировании фрезерного станка в задании обычно приводятся следующие данные:

- максимальная ширина $V_{\max}$ (мм) обрабатываемой заготовки;
- материал обрабатываемых изделий;
- материал режущей части инструментов;
- характер производства, в котором будет использован проектируемый станок.

План обоснования технической характеристики коробки скоростей фрезерного станка следующий:

Определяется минимальная ширина $V_{\min}$ фрезерования:

$$V_{\min} = (0,2 \dots 0,25) V_{\max}. \quad (2.21)$$

Максимальный $D_{\max}$ и минимальный $D_{\min}$ диаметр фрез, применяемых при обработке, находятся по формулам:

$$D_{\max} = (1 - 1,25) V_{\max}; \quad (2.22)$$

$$D_{\min} = (1 - 1,25) V_{\min}; \quad (2.23)$$

$$B_c = (2,5 - 3) V_{\max}. \quad (2.24)$$

Размеры столов фрезерных станков должны соответствовать имеющемуся стандартному ряду $B_c L_c$: 200×800; 250×1000; 320×11250; 400×1600 и т.д.

Приняв ближайшее стандартное значение ширины B_c , найдем и соответствующее ей значение стола L_c .

Максимальная длина заготовки:

$$L_{\text{заг max}} = 0,5 L_c. \quad (2.25)$$

Выбирается глубина фрезерования. Максимальная глубина $t_{\max}$ при черновом фрезеровании, равная величине припуска, принимается по таблице приложения 2. Вид заготовки (литье, поковку и т.д.) студент принимает самостоятельно, оговорив это в расчетно-пояснительной записке.

Минимальная глубина фрезерования $t_{\min}$ при чистовой обработке

может быть принята равной 0,75 – 1,0 мм.

В дальнейших расчетах за основу берется обработка только одними наиболее распространенными для данного станка видами фрез: для горизонтально-фрезерных станков – цилиндрическими, для вертикально-фрезерных – торцовыми.

Определяется [9] максимальная $V_{\max}$ и минимальная $V_{\min}$ скорости резания при фрезеровании для всех возможных видов обработки.

Рассчитываются максимальная $n_{\max}$ и минимальная $n_{\min}$ частоты вращения шпинделя:

$$n_{\max} = \frac{1000V_{\max}}{\pi D_{\min}}; \quad (2.26)$$

$$n_{\min} = \frac{1000V_{\min}}{\pi D_{\max}}. \quad (2.27)$$

Определяется [9] максимальная эффективная мощность резания $N_{\text{эф}}$ при фрезеровании наиболее мягкого материала фрезой наибольшего диаметра с наибольшим сечением срезаемой стружки и при наиболее производительном материале инструмента.

Определяется мощность $N_{\text{уст}}$ электродвигателя главного движения, исходя из эффективной мощности резания $N_{\text{эф}}$ (формула 1.6).

$$N_{\text{уст}} = k_n \cdot N_{\text{эф}}, \quad (2.28)$$

где k_n – коэффициент использования;

$$k_n = 0,6 - 0,7.$$

При определении технических характеристик коробок подач имеются следующие особенности:

а) определяется максимальная $S_{\max}$ и минимальная $S_{\min}$ величины подач для всех видов обработки [9].

Число зубьев фрезы, шероховатость обработанной поверхности принимаются ориентировочно после соответствующего обоснования;

б) рассчитывается тяговая сила Q , необходимая для осуществления подачи стола при фрезеровании:

$$Q = k \cdot P_H + f(P_v + P_o + G), \quad (2.29)$$

где P_H – сила, действующая в направлении подачи, даН;

P_o – сила, действующая вдоль оси фрезы, даН;

P_v – сила, действующая перпендикулярно силе P_H , даН;

$k = 1,4$ – коэффициент, учитывающий влияние опрокидывающего момента;

$f' = 0,2$ – приведенный коэффициент трения на направляющих;

G – вес движущихся частей стола и заготовки, даН, приближенно определяется по формуле:

$$G = 0,05 G_{ст} + G_{заг}, \quad (2.30)$$

где $G_{ст}$ – вес станка, ориентировочно определяется по каталогу или паспорту для станка такого же типоразмера;

$G_{заг}$ – максимальный вес заготовки, даН;

$$G_{заг} = 7,85 V_{max}^2 \cdot L_{заг \max}. \quad (2.31)$$

Действующие силы рассчитываются:

– при обработке цилиндрическими фрезами:

$$P_H \approx 1,1 P_{zmax}; P_o \approx P_{zmax}; P_v = 0,3 P_{zmax};$$

– при обработке торцевыми фрезами:

$$P_H = 0,6 P_{zmax}; P_o \approx 0,55 P_{zmax}; P_v = 0,9 P_{zmax},$$

– мощность $N_{под}$, необходимая для подачи, определяется по формуле:

$$N_{под} = \frac{Q \cdot S_{мин max}}{102\,60\,000}, \quad (2.32)$$

– рассчитывается мощность электродвигателя $N_{эл}$ под механизм подачи:

$$N_{эл под} = (0,6 - 0,7) \frac{N_{под}}{k \cdot \eta}, \quad (2.33)$$

где $k = 1,2 - 1,3$ – коэффициент повторно-кратковременной перегрузки электродвигателя;

$\eta = 0,75 - 0,85$ – КПД цепи подачи.

Для проверки следует иметь в виду, что мощность электродвигателя механизма подачи равна 15 – 20% мощности электродвигателя привода главного движения.

Результаты выбора и расчета технических характеристик станка оформляются в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Обоснование технических характеристик станка

Наименование операции	Обрабатываемый материал	Режимы Обработки t S D, мм мм/об мм	Скорость резания V, м/мин	Частота вращения шпинделя n, мин-1	Крутящий момент или мощность резания, Н м, кВт
1	2	3 4 5	6	7	8

В автоматизированном режиме обоснование технических характеристик станков может быть выполнено по программе APSO, разработанной на кафедре ТМиТО.



APSO.exe

Загрузочное окно программы представлено на рисунке 2.1. Дальнейший расчет выполняется в диалоговом режиме в программе.

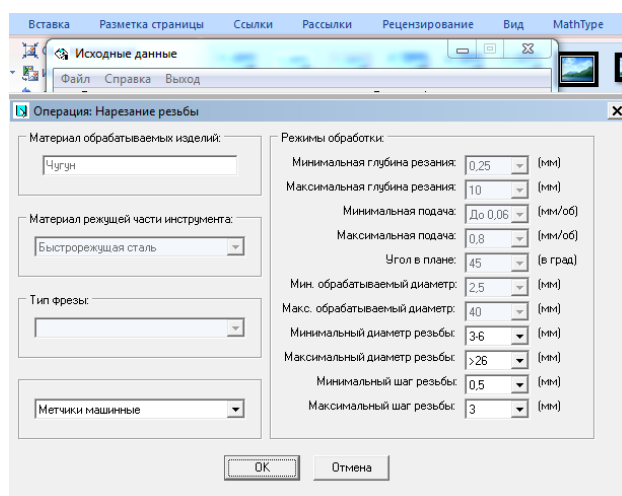


Рисунок 2.1. Пример диалоговых окон программы АПСО

Результатом расчета является таблица 2.1, в которой представлены все параметры обоснования технических характеристик привода станка, которая может быть отпечатана или сохранена для дальнейшего использования в пояснительной записке конструкторской документации или курсового проекта.

Таблица 2.1– Обоснование технических характеристик станка

Наименование операции	Обрабатываемый материал	Режимы обработки				Скорость резания	
		tmin, мм	tmax, мм	Smin, мм/об	Smax, мм/об	Vmin, м/мин	Vmax, м/мин
Черновое точение	Сталь Цветные сплавы	2	5	0,6	1,2	23	30
		2	5	0,8	1,2	90	105
Чистовое точение	Сталь Цветные сплавы	0,5	1,5	0,2	0,5	32	57
		0,5	1,5	0,2	0,5	130	150
Растачивание	Сталь Цветные сплавы	2	5	0,2	0,6	26	50
		2	5	0,2	0,6	100	145
Сверление Сверление	Сталь Цветные сплавы	10	40	До 0,6	0,2	38	40
		10	40	0,15	0,4	75	75
Зенкерование	Сталь Цветные сплавы	До 20 До 20	20 -	0,4 0,4	0,1 0,1	17 49	23 63
			40				
			20 -				
			40				
Развертыва-	Сталь	10	40	0,4	0,8	17	18

Наименование операции	Обрабатываемый материал	Режимы обработки				Скорость резания	
		t _{min} , мм	t _{max} , мм	S _{min} , мм/об	S _{max} , мм/об	V _{min} , м/мин	V _{max} , м/мин
ние	Цветные сплавы	10	40	0,4	0,8	45	54
Нарезание резьбы	Сталь	12-16	> 26	1,5	3	14	16
	Цветные сплавы	12-16	> 26	1,5	3	13	16

Основные технические характеристики, предлагаемые программой:

- минимальная скорость резания $V_{min} = 13,00$ м/мин;
- максимальная скорость резания $V_{max} = 150,0$ м/мин;
- минимальная частота вращения шпинделя $n_{min} = 38,32$ об/мин;
- максимальная частота вращения шпинделя $n_{max} = 1768,39$ об/мин;
- максимальная эффективная мощность резания $N_{эф} = 6,54$ кВт;
- максимальная мощность электродвигателя $N_{эл max} = 6,54$ кВт.
- мощность устанавливаемого электродвигателя $N_{уст. эл} = 7,00$ кВт.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1 Какие параметры должны учитываться при обосновании технических характеристик привода оборудования?

2 Как учитывается при обоснование технических характеристик оборудования серийность производства и эксплуатации оборудования?

3 Можно ли не выполнять обоснование технических характеристик оборудования?

4 На каком этапе проектирования выполняется обоснование технических характеристик оборудования?

5 **Индивидуальное задание.** Выполнить обоснование технических характеристик привода коробки скоростей или подач в режиме использования САПР для привода, разрабатываемого в курсовом проекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ : [1].

3 Практическое занятие **ВЫБОР ЗНАМЕНАТЕЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ**

Цель работы

Изучить методику выбора знаменателя геометрической прогрессии при обосновании технических характеристик оборудования.

Теоретическая часть

В основу выбора стандартных значений знаменателя геометрической прогрессии φ положены следующие основные принципы:

1 Принцип получения рядов из основного ряда со знаменателем $\varphi_{\min}$, т.е. если выбран ряд с $\varphi_{\min}$, то все остальные ряды получаются из этого основного ряда, если брать его члены через один.

2 Принцип удесятерения, т.е. если в стандартном ряде частот вращения имеется член n_1 , то необходимо, чтобы через x ступеней встретился бы $n_{x+1}=10*n_1$. Это условие позволяет строить таблицы стандартных частот вращения в пределах от 1 до 10 мин⁻¹, и получать все остальные частоты ряда, умножая исходные на 10, 100 и т.д.

Из поставленного условия следует

$$\frac{n_{x+1}}{n_1} = 10. \quad (1.1)$$

Но с другой стороны из ранее рассмотренного следует

$$\begin{aligned} n_{x+1} &= n_1; \quad \varphi^x \Rightarrow \varphi^x = 10, \\ \varphi &= \sqrt[x]{10} \end{aligned} \quad (1.2)$$

3 Принцип удвоения.

Если в стандартном ряде имеется член n_1 , то необходимо, чтобы через y ступеней встретился член $n_{y+1}=2*n_1$. Это необходимо и целесообразно, т.к. в приводах используются двухскоростные и многоскоростные электродвигатели, частота вращения которых определяется

$$n \leq 3000/P, \quad (1.3)$$

где P - число пар полюсов; 3000 / 1500; 1500 / 750;

$$n_{y+1} = n_1 * \varphi^y, \quad \frac{n_{y+1}}{n_y} = 2 = \varphi^y, \quad \varphi = \sqrt[y]{2}, \quad (1.4)$$

Желательно, чтобы два предыдущих условия выполнялись одновременно, т.е.

$$\varphi = \sqrt[3]{2} = \sqrt[3]{10} \Rightarrow \text{логарифмируем}$$

$$\frac{1}{Y} * \lg 2 = \frac{1}{X} * \lg 10 \Rightarrow \lg 10 = 1; X * \lg 2 = Y; Y \approx 0.3 * X \quad (1.5)$$

Для стандартного знаменателя исходного ряда принято значение $x=40$; $y=12$, а значения знаменателя стандартизованы ОСТ 2НП-172.

Знаменатели остальных рядов получают из $\varphi_{\min}$ возведением его в степень:

- 1 Для станков общего назначения $\varphi=1.26$; 1.41;
- 2 Для станков автоматов и полуавтоматов, в которых настройка производится сменными зубчатыми колесами, принимается $\varphi=1.12$; 1.26;
- 3 В небольших станках с малыми диаметрами обработки применяются большие знаменатели ($\varphi=1.58$; 1.78), а в крупных меньше 1.26; 1.12; 1.06;

Допускается применять

Таблица 1.1 – Относительная потеря производительности станка

φ	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2
$A = \frac{\varphi - 1}{\varphi} * 100\%$	5	10	20	30	40	45	50

Частота вращения шпинделя не должна отклоняться от стандартной более чем на $\pm 10 * (\varphi^{-1})\%$.

$\varphi=1.41$; $\varphi=2$ - не удовлетворяет принципу удешевления.

$\varphi=1.58$; $\varphi=1.78$ - не удовлетворяет принципу удвоения.

Для станков с возвратно-поступательным движением вместо частоты вращения определяется число двойных ходов в минуту; φ принимает те же значения.

Для создания ступенчатого закона, изменения частоты вращения исполнительного органа используются многоваловые коробки скоростей и подач, представляющие собой сочетание элементарных исполнительных механизмов.

Несколько передач, связывающих два смежных вала, называются множительной группой передач.

Общее число частот вращения последнего вала равно произведению числа передач в каждой группе.

Например, $z=3 \times 2 \times 2=12$.

Приведенная формула в виде $z=P_1 \times P_2 \times P_3$ называется полной структурной формулой привода.

Ряд частот вращения строится по геометрическому ряду частот вращения. Основные зависимости геометрического ряда со знаменателем φ :

1. Члены ряда:

$$n_1 = n_1,$$

$$n_2 = n_1 * \varphi,$$

$$n_3 = n_2 * \varphi = n_1 * \varphi^2,$$

$$n_4 = n_3 * \varphi = n_1 * \varphi^3,$$

$$n_i = n_1 * \varphi^{i-1},$$

$$n_z = n_1 * \varphi^{z-1}.$$

2. Диапазон регулирования

$$D = \frac{n_z}{n_1} = \varphi^{z-1};$$

3. Знаменатель геометрического ряда

$$\varphi = \sqrt[z-1]{D}$$

4. Число скоростей определяется следующим образом (логарифмируется последнее выражение)

$$\lg \varphi = \frac{1}{Z-1} * \lg D$$

$$(Z-1) * \lg \varphi = \lg D; \quad Z * \lg \varphi = \lg \varphi + \lg D = \frac{\lg D}{\lg \varphi} + 1.$$

Индивидуальные задания

Индивидуальное задание – изучить методику выбора знаменателя геометрической прогрессии и решить эту задачу по индивидуальному заданию на курсовой проект.

Список литературы

1. Гуртяков, А. М. Металлорежущие станки. Расчет и проектирование : учеб. пособие для прикладного бакалавриата / А. М. Гуртяков. — 2-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 135 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-9916-6583-4.

4 Практическое занятие **ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД КИНЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОРОБКИ СКОРОСТЕЙ И ПОДАЧ**

Цель работы

Цель работы – изучение методики оптимизации кинематической схемы коробки скоростей или коробки подач станка.

Теоретическая часть

Привод станка предназначен для сообщения инструменту и заготовке относительного движения с заданной скоростью, которая является скоростью резания. Привод состоит из источника движения и коробки скоростей или подач. Коробки скоростей предназначены для регулирования и получения различных режимов обработки в заданном диапазоне. Регулирование может быть ступенчатым и бесступенчатым. В данном практическом занятии рассматривается коробка скоростей со ступенчатым регулированием.

Достоинства коробки скоростей со ступенчатым регулированием:

1. Компактность передач.
2. Высокий КПД.
3. Обеспечение жесткой кинематической связи.

Недостатки: невозможность точно установить заданную величину передаточного отношения.

Графоаналитический метод кинематического расчета коробки скоростей

Этот метод облегчает кинематический расчет сложных коробок скоростей и заключается в графическом изображении чисел оборотов (частот вращения) и передаточных отношений в виде графиков частот вращения и структурных сеток.

В основе кинематической схемы лежат множительные структуры:

- группа передач, связывающая вращения двух соседних валов.

Множительная структура характеризуется следующими параметрами:

P - число передач в группе,

i - передаточные отношения.

Порядок чередования групп вдоль кинематической цепи характеризует конструктивный вариант коробки.

Его условно можно выразить в виде структурной формулы:

$$Z = P_a * P_b * \dots * P_m,$$

где $P_a \dots P_m$ - числа передач в первой, во второй, ..., m группе.

Число конструктивных вариантов одной и той же структуры равно числу перестановок m групп, т.е.

$$k = m! / q!, \quad (1.20)$$

где q - число групп с одинаковым числом передач.

Для рассмотренного случая $m = 2$; $q = 1$.

Число конструктивных вариантов равно $k = 2$; $z = 6$.

Передаточные отношения зубчатых колес зависят от характеристики группы, обусловленной кинематическим порядком (вариантом) включения передач при переходе от одной частоты вращения шпинделя к другой.

В общем случае при переключении передач в какой-либо группе частота выходного вала изменяется в φ^x раз.

Показатель степени x называется характеристикой множительной группы передач. Для принятого нами кинематического порядка характеристика первой группы передач $x_1 = 1$, а второй группы $x_2 = 3$.

Структурную формулу, уточняющую не только конструктивный, но и кинематический порядок принято записывать так:

$$z = P_{x1} * P_{x2} * P_{x3}.$$

Группу передач, имеющую характеристику $x=1$ называют основной группой, остальные группы ($x>1$) называют переборными (x -не может быть произвольной).

Характеристика последующих групп равна числу ступеней скорости совокупности групповых передач, кинематических предшествующих данной группе.

Если $X_1=1$, то $X_2=P_a$; $X_3=P_a * P_b$; $X_m=P_a * P_b \dots P_{m-1}$.

Например: для $z=12=3_1 * 2_3 * 2_6$.

Возможны и другие варианты:

$Z=12=3_1 * 2_6 * 2_3=2_3 * 3_1 * 2_6=2_6 * 3_1 * 2_3=2_3 * 2_6 * 3_1=2_6 * 2_3 * 3_1$.

Общее их количество равно числу перестановок из m элементов

$k_{\text{кинем}}=m!$

Для нашего случая ($z=6$): $k_{\text{кинем}}=1*2=2$.

Общее число возможных вариантов (конструктивных и кинематических) для обычных множительных структур:

$$k=k_{\text{кинем}} * k_{\text{конст}} = \frac{m!}{q!} * m! = \frac{(m!)^2}{q!}. \quad (1.23)$$

Структурная сетка строится в логарифмических координатах. Для удобства, т.к. умножение заменяется сложением:

$$n_1=n_1;$$

$$n_2=n_1 * \varphi * \lg n_2 = \lg n_1 + \lg \varphi * 1$$

$$n_3=n_1 * \varphi^2 * \lg n_3 = \lg n_1 + \lg \varphi * 2$$

$$n_4=n_1 * \varphi^3 * \lg n_4 = \lg n_1 + \lg \varphi * 3$$

$$i = \frac{n_2}{n_1}; \lg i = \lg n_2 - \lg n_1 = \lg \varphi;$$

Структурная сетка позволяет выбрать наилучший вариант графика чисел оборотов, который соответствует минимальным габаритам коробки скоростей и более благоприятным кинематическим и ее динамическим характеристикам.

Построение структурной сетки

При построении структурной сетки руководствуются следующими правилами:

1. Для построения структурных вариантов необходимо все элементарные передачи разбить на группы I, II, III и т.д. Лучи I группы расходятся на величину φ , лучи II - на величину φX_1 , где X_1 - число лучей первой передачи. Для наглядности это правило выражается таблицей:

Таблица 1.2 - **Определение характеристик множительных групп**

Группы	I	II	III	IV
Число лучей в группе	X_1	X_2	X_3	X_4
Расхождение лучей	φ	φX_1	$\varphi X_1 X_2$	$\varphi X_1 X_2 X_3$

2. На равных расстояниях проводят вертикальные линии в количестве на 1 больше, чем число групповых передач. Поле между двумя линиями отводится для групповой передачи.

3. Проводят перпендикулярные линии в количестве, равном количеству частот вращения.

4. Посреди левой вертикали намечают точку O, из которой симметрично проводят лучи в количестве, равном числу частот вращения в группе. Расстояние между лучами равно характеристике группы, выраженной в интервале φ .

5. Из каждой полученной точки на второй и последующих вертикалях аналогичным путем проводят лучи для 2-ой и т.д. групповых передач.

Рассмотрим в качестве примера построение структурных вариантов для коробки скоростей с характеристикой $z = 3 \cdot 2 \cdot 2$.

Число структурных вариантов равно $k_{\text{кинем}} = 3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$. Эти шесть вариантов соответствуют различным случаям, когда группы I, II, III последовательно применяются для элементарных двухволновых передач:

$$k = \frac{ml}{ql} = \frac{123}{2} = 3.$$

Вычерченные структурные варианты относятся только к данной последовательности элементарных двухволновых передач, т.е. для $z = 3 \cdot 2 \cdot 2$. Для другой последовательности т.е. $z = 2 \cdot 3 \cdot 2$ будет своих шесть

вариантов.

Наилучшим считается следующий вариант:

1. Веерообразный, т.к. в этом случае происходит постепенное уменьшение частоты вращения от ведущего вала к ведомому.
2. Наибольшее число передач должно быть расположено в области высоких частот вращения. Для этого необходимо выдержать условие $P_a > P_b > P_c$. Кроме того, скоростные шестерни должны иметь меньшие габариты и передавать меньшие крутящие моменты.
3. Передаточное отношение в области высоких частот вращения должны быть незначительным.

Следовательно: $z=3*2*2$ лучше, чем $z=2*3*2$.

При большом числе скоростей не рекомендуется вариант с большим числом множительных передач (большое число валов) и варианты с большим числом шестерен на одном валу.

Например: варианты $z = 16 = 2*2*2*2=8*2$ - нежелательны, лучше когда $z = 16 = 4*2*2$.

Построение графика частот вращения

1. На равных расстояниях проводят столько вертикальных прямых, сколько валов в проектируемой коробке, начиная от электродвигателя и до шпинделя.
2. На равных расстояниях проводят горизонтальные линии и присваивают им (снизу в верх) значения частоты вращения, начиная с n_{410} , которые являются логарифмической шкалой скоростей. Длина шкалы должна охватывать все возможные значения частот вращения передач, в т.ч. и двигателя.
3. На передаточные отношения накладываются ограничения:

$$i_{\min \geq 1/4}, i_{\max} \leq 2 \text{ во избежании чрезмерных габаритов.}$$

В малых станках и для гитар сменных зубчатых колес допускается $i_{\min}=4$. Следовательно, наибольший диапазон регулирования групповой передачи равен:

$$R_{\text{пред}} = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{2}{1/4} = 8$$

В станках коробок скоростей последняя группа имеет наибольший диапазон регулирования, т.е.

$$\left(\frac{i_{\max}}{i_{\min}} \right)_{\text{пред}} = \varphi^{x_{\max}} = 8.$$

где: $x_{\max}$ - наибольший показатель для последней группы.

Максимально допустимые величины $x_{\max}$ при следующих значениях φ выражаются таблицей:

Таблица 1.3-Максимальные характеристики групп

φ	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2
$x_{\max}$	36	18	9	6	4	3	3

4. Частота вращения на каждой шкале изображается в логарифмическом масштабе, поэтому геометрический ряд изображается в виде точек расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга.

5. Точки, расположенные выше соответствуют более высоким частотам вращения. Передаточные отношения изображаются в виде линий, соединяющих точки соответствующих частот вращения соседних валов. Наклон линии характеризует величину передаточных отношения.

Если наклон вверх - то ускорение $i > 1$,

вниз - то замедление $i < 1$,

горизонтально - $i = 1$.

Параллельные линии означают одинаковые передаточные отношения.

Рассмотрим вариант веерообразной структуры $z=12=3_1*2_3*2_6$

Передаточное отношение определяется как φ в степени, равной количеству пересекаемых отрезков.

Одиночные передачи целесообразно располагать ближе к шпинделю, однако, для удобства реверсирования их располагают в начале цепи.

Индивидуальные задания

1 Построить структурную сетку и график частот вращения привода в ручном режиме для структуры привода, полученного по индивидуальному заданию на курсовой проект.

Список литературы

2. Гуртяков, А. М. Металлорежущие станки. Расчет и проектирование : учеб. пособие для прикладного бакалавриата / А. М. Гуртяков. — 2-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 135 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-9916-6583-4.

5 Практическое занятие МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ КОЛЕС ГРУППОВЫХ ПЕРЕДАЧ

Расчет можно производить при условии, что модули всех передач группы одинаковы или различны.

Исходными данными для расчета чисел зубьев является график частот вращения, представленный для примера на рисунке 2.1.

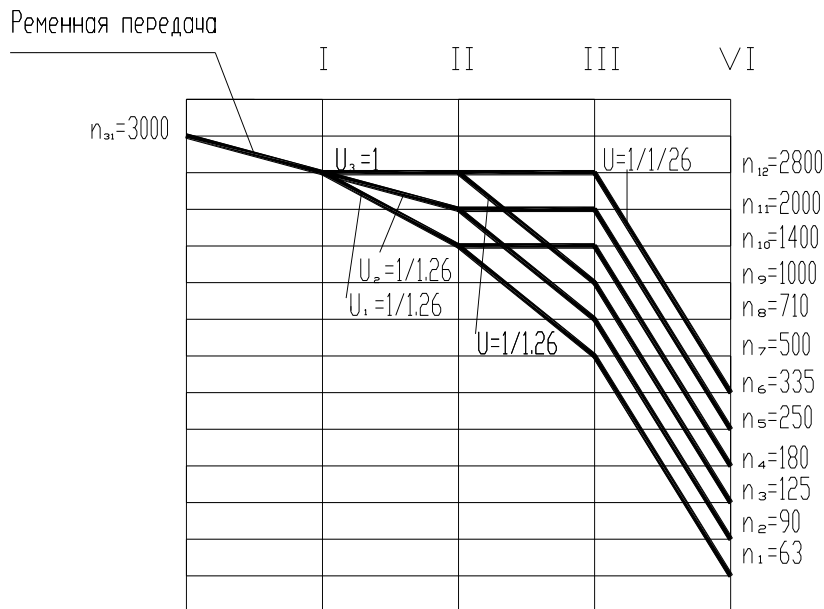


Рисунок 5.1. – Пример графика частот вращения

Если модули всех передач группы одинаковы, то при неизменном межосевом расстоянии A и одинаковом модуле зубчатых колес выполняется следующее условие для всех передач группы:

$$Z_j + Z'_j = S_z, \quad (5.1)$$

где Z_j , Z'_j – число зубьев соответственно ведущего и ведомого колес пары;

S_z – сумма чисел зубьев обоих колес. Передаточное отношение этой пары:

$$i_j = \frac{Z_j}{Z'_j}, \quad (5.2)$$

где $Z_j = \frac{i_j}{i'_j + 1} \cdot S_z$; $\beta'_j = \frac{1}{i_j + 1} \cdot S_z$,

Пользуясь этой формулой, определяют числа зубьев всех колес группы по заданной сумме зубьев S_z .

Определение S_z производится обычно методом наименьшего кратного.

Если принять, что: $i_j = Z_j / Z'_j = a_j / b_j$,

где a_j и b_j – взаимно простые числа, то соотношения (5.2) можно написать в следующем виде:

$$Z_j = \frac{a_j \cdot S_z}{a_j + b_j}; Z'_j = \frac{b_j \cdot S_z}{a_j + b_j}. \quad (5.3)$$

Следовательно, чтобы Z_j , Z'_j и были целыми числами, необходимо, чтобы число S_z было кратным $(a_j + b_j)$.

Если при значении, найденном таким образом, число зубьев малого колеса передачи получится недопустимо малым, то число зубьев этого колеса увеличивается в целое число E раз до приемлемой величины:

$$E \geq \frac{Z_{\min \text{доп}}}{Z_{\min}}, \quad (5.4)$$

где $Z_{\min \text{доп}}$ – минимальное допустимое число зубьев колес.

В соответствии с рекомендациями [1] минимальное допустимое число зубьев принимается равным:

18 – 20 – для коробки скоростей;

15 – в механизмах подачи;

14 – в механизмах управления;

10 – в реечных механизмах.

Соответственно с принятым значением E принимают сумму зубьев, равной:

$$S_z = S_{z\min} E. \quad (5.5)$$

Рекомендуется при одинаковом модуле передач и неизменном межосевом расстоянии производить подбор чисел зубьев по таблице

Свирщевского.

Фрагмент таблицы для выбора зубьев представлен в приложении к курсовому проекту.

Если модули передач одной группы различны, то в этом случае число зубьев ведущего колеса выражается через межосевое расстояние A следующим образом:

$$Z_j = \frac{2A}{m_j} \frac{a_j}{(a_j + b_j)}, \quad (5.6)$$

Число Z_i будет целым только в том случае, если:

$$2A = E_{mj}(a_j + b_j),$$

где E – символ целого числа.

Следовательно, наименьшее удвоение расстояния $2A$ равно наименьшему кратному произведений $m_j \cdot (a_j + b_j)$. Если оно чрезмерно большое, то принимают наименьшее общее кратное по модулям, но тогда число зубьев не получается целым и его приходится округлять.

5.1 Определение точности кинематических расчетов

Точность кинематических расчетов в любом случае должна гарантировать отклонение расчетных частот вращения в пределах допуска.

Для этого необходимо, чтобы относительная величина отклонения общего передаточного отношения кинематической цепи не выходила за пределы:

$$D_j = \Delta_{ja} + \Delta_{jb} \dots + \Delta_{jp} = \pm 10(\varphi - 1)\%. \quad (5.7)$$

Например, если расчетное значение частоты вращения шпинделя равно 630 об/мин, а реально полученная частота равна 610 об/мин, то относительная погрешность будет равна:

$$\Delta = \frac{630 - 610}{630} \approx 0,16.$$

При $\varphi = 1,26$ допускаемое отклонение равно:

$$\Delta = \pm(1,26 - 1) = 2,6\%.$$

Таким образом, реальная погрешность укладывается в пределы допуска.

5.2 Пример расчета чисел зубьев аналитически

Дано: $z = 12$, $\varphi = 1,26$, $m = \text{const}$, $A = \text{const}$. Определить числа зубьев колес передачи группы, характеризуемой полем первой группы (см. график частот вращения, рисунок 2. Расчетный метод:

Вычисляем $i_j = a_j / b_j$	$a_j + b_j$	
$i_1 = n_1 / n_3 = 1 / \varphi^2 = 1 / 1,26^2 = 1 / 1,58 \approx 7 / 11$	$7 + 11 = 18$	Наименьшее
$i_2 = 1 / \varphi = 1 / 1,26 \approx 4 / 5$	$4 + 5 = 9$	кратное
$i_3 = 1 / \varphi^0 = 1 / 1,26^0 = 1 / 1$	$1 + 1 = 2$	$K = 18$

При $S_{z\min} = 18$ по формуле (5.5) получаем:

$$Z_{\min} = Z_1 = 18 \cdot 7 / (7 + 11) = 7.$$

При условии исключения подрезания зубьев при нарезании необходимо, чтобы число зубьев у каждого из колес проектируемой коробки было не меньше 20. В таком случае $E \geq 2\frac{6}{7}$, т.е. следует принять $E = 3$.

Следовательно,

$$S_z = E \cdot S_{z\min} = 3 \cdot 18 = 54.$$

По формуле (5.5) по этой сумме зубьев находим:

$$Z_1 = \frac{7}{7+11} \cdot 54 = 21; \quad Z'_1 = \frac{11}{7+11} \cdot 54 = 33;$$

$$Z_2 = \frac{4}{4+5} \cdot 54 = 24; \quad Z'_2 = \frac{5}{4+5} \cdot 54 = 30;$$

$$Z_3 = \frac{1}{1+1} \cdot 54 = 27; \quad Z'_3 = \frac{1}{1+1} \cdot 54 = 27.$$

Таким образом, получили числа зубьев группы Р.

Следующая группа рассчитывается аналогичным образом.

5.3 Пример расчета чисел зубьев табличным методом

При определении чисел зубьев групповых передач табличным методом поступают следующим образом:

1. Определяют передаточные отношения всех передач группы.

Для рассматриваемого примера:

$$i_1 = 1/1,58; i_2 = 1/1,26; i_3 = 3.$$

В связи с тем, что таблицы имеют значения передаточного отношения больше 1, то для расчета принимают значения, обратные передаточным. После определения чисел зубьев шестерни меняются местами. Поэтому будем иметь $i'_1 = 1,58; i'_2 = 1,26; i'_3 = 1$.

2. Находят в левой колонке таблицы принятые передаточные отношения.

3. Двигаясь слева направо, определяют первую колонку, в которой имеются числа зубьев всех трех передаточных отношений. Для рассматриваемого случая такой колонкой будет колонка, имеющая сумму зубьев $S_z = 52$. Числа, стоящие в этой колонке напротив выбранных передаточных отношений, есть числа зубьев шестерен:

$$Z_1 = 20; Z_2 = 23; Z_3 = 26.$$

4. Числа зубьев сопряженных колес определяют как разность между суммой зубьев S_z и полученными числами зубьев:

$$Z'_1 = 42; Z'_2 = 22; Z'_3 = 26.$$

3.

6 Практическое занятие САПР КОРОБОК СКОРОСТЕЙ

Цель работы: изучение методики оптимизации кинематической схемы коробки скоростей или коробки подач станка с использованием САПР коробок скоростей.

Теоретическая часть

Первым этапом проектирования коробки скоростей или подач является разработка кинематической схемы, которая обеспечивает технические характеристики привода, обоснованные в предыдущей практической работе. Полная методика построения и оптимизации кинематической схемы привода базируется на графо-аналитическом методе, который включает в себя построения структурных сеток и графиков частот вращения или подач и представлена в методических указаниях по курсовому проектированию. Однако, построение этих графиков в ручном режиме трудоемко и, как правило, не позволяет провести эту работу с оптимальным результатом.

Поэтому в данной практической работе выполняется построение и анализ графиков с использованием пакета "САПР коробок скоростей", разработанном на кафедре «Технология машиностроения и технологическое оборудование». Программа работает в диалоговом режиме с и обеспечивает оптимизацию кинематических схем для всех групп станков.

Инструкция пользователя

Чтобы приступить к выполнению расчета и проектирования коробок скоростей и подач, необходимо выполнить следующие действия.

1 Запустить файл с названием «Программа расчета коробок скоростей и подач.exe».

2 Для того, чтобы ввести данные, нажмите левой клавишей мыши кнопку «Данные», находящуюся на передней панели, после чего выскочит панель «Тип станка». В ней предлагается выбрать тип станка, тип коробки и для выбранного станка ввести начальные данные в выпадающих меню.

3 После нажатия кнопки «Далее», находящейся на панели ввода данных, программа выдаст результаты расчета:

4 Для продолжения нажмите кнопку «Заккрыть», после чего отобразится панель ввода исходных данных для построения структурной сетки и графика частот вращения. Нажмите кнопку «Далее», вызовется панель ввода следующих данных:

- минимальной и максимальной частот вращения выходного вала привода;
- частоты вращения электродвигателя;
- знаменателя ϕ геометрической прогрессии ряда частот вращения.

5 По умолчанию сразу подставятся уже рассчитанные значения минимальной и максимальной частот вращения, однако при желании их можно изменить, вписав значения вручную; введите также ϕ и частоту вращения электродвигателя.

6 Нажав кнопку «Далее» вы увидите ряд частот вращения выходного вала проектируемого привода; в случае необходимости корректировки можно вернуться назад, нажав соответствующую кнопку «Назад»; в дальнейшем описание этого действия будет опущено т.к. оно возможно на любой ступени расчета.

7 Еще раз нажав кнопку «Далее» получим панель, на которой будет отображена формула привода, рассчитанная компьютером; если вы захотите подобрать ее вручную, то для этого достаточно будет поставить мышью галочку в окошке рядом с надписью «Вручную ввести числа передач по группам», после чего окна для ввода чисел передач каждой группы станут доступными.

8 Введите числа передач и нажмите кнопку «Далее» - вы увидите окно запроса информации о наличии особых множительных структур (ОМС) в коробке. По умолчанию подразумевается отсутствие ОМС. В случае если проектируемый привод предполагает их наличие, то вам следует выбрать вид ОМС:

- сменные зубчатые колеса;

- двухскоростной электродвигатель;
- коробка скоростей со сложной структурой.

В случае со сменными зубчатыми колесами программа проверит: является ли первое число формулы привода четным? Если да – то нажмите кнопку «Далее».

При наличии двухскоростного электродвигателя следует выбрать пункт «Двухскоростной электродвигатель», после чего станут доступными окна ручного ввода характеристик групп передач для этого случая. Первую характеристику ЭВМ подставляет автоматически – из заданной ей программно таблицы, остальные характеристики вводятся вручную. Следует также ввести вторую (низшую) частоту двухскоростного электродвигателя в окошке «Вторая частота двигателя» и нажать кнопку «Далее».

Если проектируемая коробка будет со сложной структурой, то поместите галочку в соответствующем пункте «Коробка скоростей со сложной структурой», после чего станет доступным окошко для ввода числа групп в дополнительной цепи. Заполните его и нажмите кнопку «Далее».

После нажатия кнопки «Далее» построятся структурная сетка и график частот вращения, соответствующие выбранной вами конструкции привода (Рисунок 6.1).

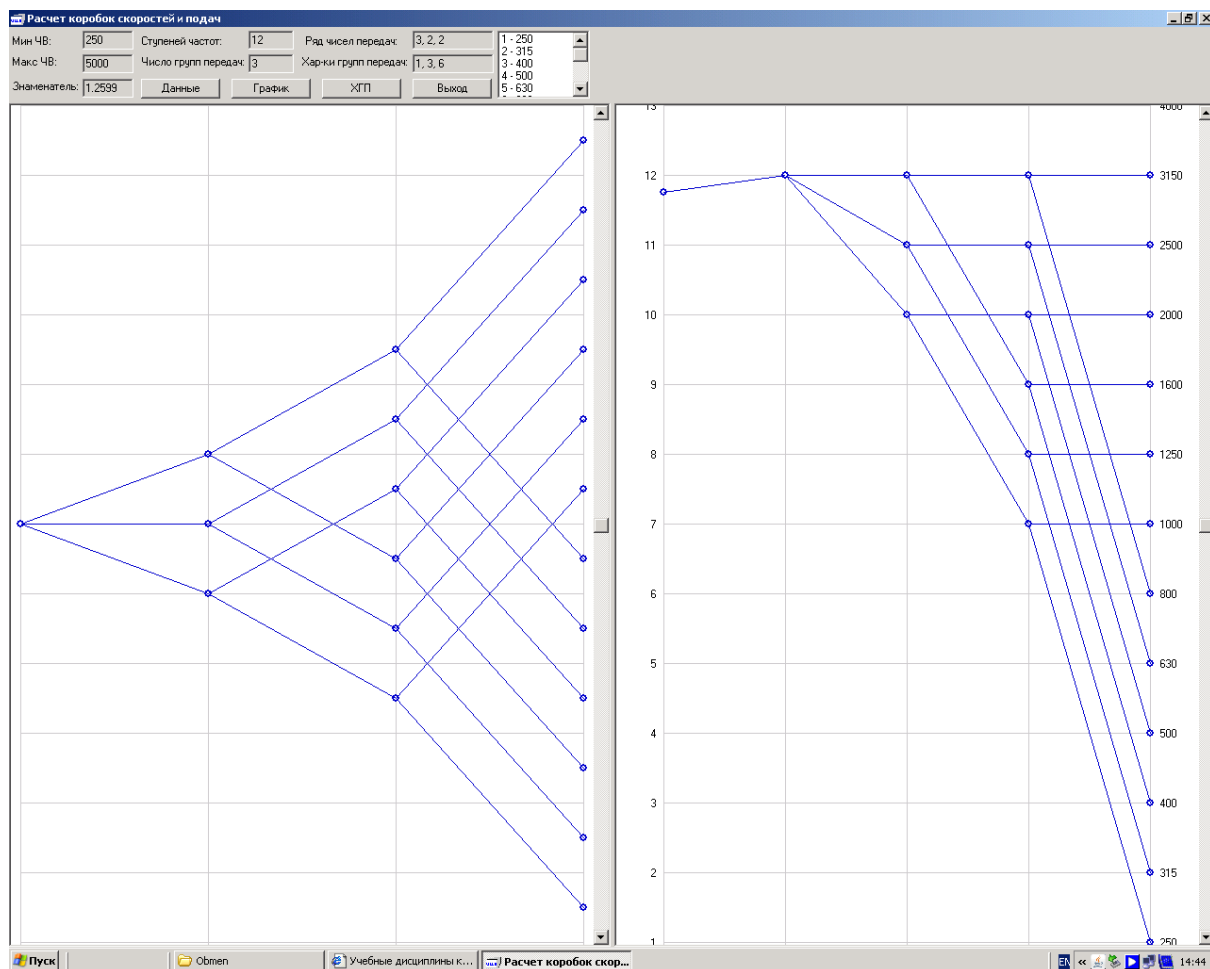


Рисунок 6.1. Структурная сетка и график частот вращения привода

9 Можно просмотреть другие варианты, предложенные САПР. Эта операция осуществляется с помощью кнопки «График», находящейся на главной панели окна программы.

10 В программе предусмотрено и ручное редактирование графика частот вращения: для этого достаточно взяться курсором мыши за точку на этом графике и переместить ее вниз или вверх – по желанию. Для синхронного перемещения всех точек, находящихся на одной вертикали с перемещаемой, нужно совершать перемещение, нажав и удерживая клавишу «Shift». При этом автоматически будут отработаны ограничения по передаточным отношениям.

11 Если структурная сетка или график частот вращения не умещаются по размеру экрана, то просмотреть невидимые участки можно или с помощью

линейки прокрутки, находящейся рядом с графиками, или, поместив курсор на любую точку графика и нажав правую кнопку мыши, перемещать мышь в прямом или обратном направлении.

12 Возможно также изменение характеристики последней группы передач. Делается это следующим образом:

- нажмите на кнопку «ХГП», находящуюся на главной панели окна программы;

- в появившемся окне введите ручную характеристику последней группы передач;

- нажмите кнопку «ОК», после чего структурная сетка и график частот вращения изменятся в соответствии с изменением формулы привода.

13 Для выхода из программы нажмите кнопку «Выход», находящуюся на главной панели окна программы.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1 Какие параметры должны учитываться при обосновании технических характеристик привода оборудования?

2 Как учитывается при обоснование технических характеристик оборудования серийность производства и эксплуатации оборудования?

3 Можно ли не выполнять обоснование технических характеристик оборудования?

4 На каком этапе проектирования выполняется обоснование технических характеристик оборудования?

5 **Индивидуальное задание.** Построить структурную сетку и график частот вращения привода коробки скоростей или подач в режиме использования САПР для привода, разрабатываемого в курсовом проекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [1]

7 Практическое занятие **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАНКА**

Цель работы: ознакомление с методикой построения кинематической схемы станка.

Теоретическая часть

Теоретические сведения по структуре кинематической схемы станка изложены в ГОСТ 2.703-2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения кинематических схем. Пример кинематической схемы представлен на рисунке 7.1.

Для ускорения процесса проектирования кинематических схем и уменьшения числа рутинных операций в системе автоматизированного проектирования AutoCAD существуют блоки. Блоком называется совокупность связанных примитивов, обрабатываемых программой как единое целое. Для построения кинематических схем рационально использовать динамические блоки.

Пример выполнения принципиальной кинематической схемы

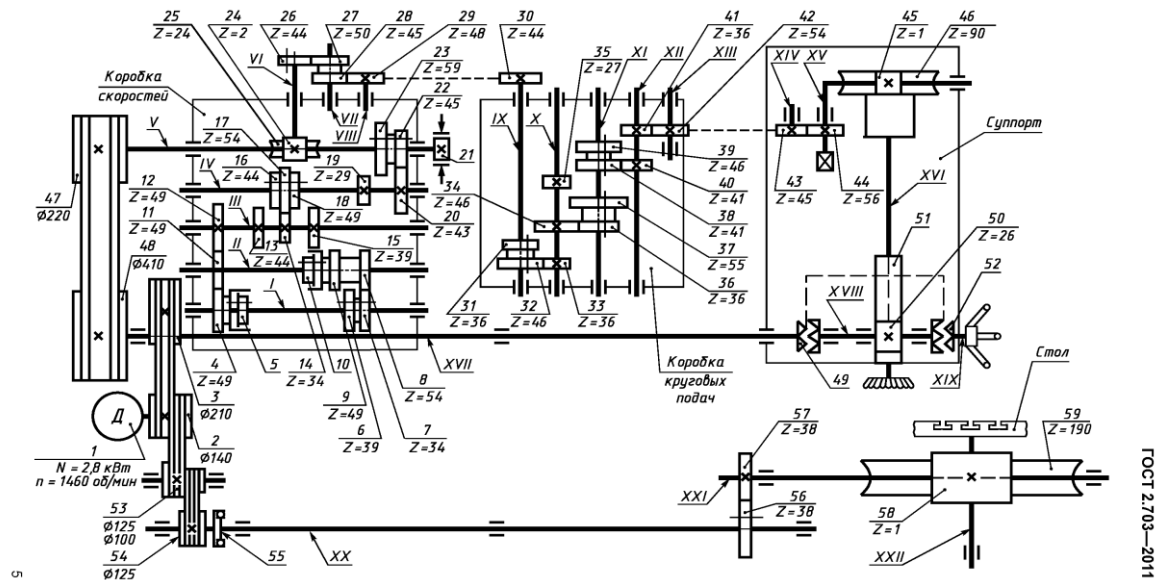


Рисунок 7.1. Пример кинематической схемы из ГОСТ 2.703-2011

Динамический блок – это тот же самый блок, но обладающий настраиваемым набором свойств. В плане гибкости возможностей динамические блоки сравнимы с элементами, созданными программистами, но в отличие от программ их создание доступно каждому пользователю.

Для ознакомления с алгоритмом создания блока разберем пример с блоком «Шестерня».

Для создания блока, требуется выбрать во вкладке «Главная» на панели «Рисование» команду «Отрезок» (рисунок 7.2). Строим отрезок любой длины.

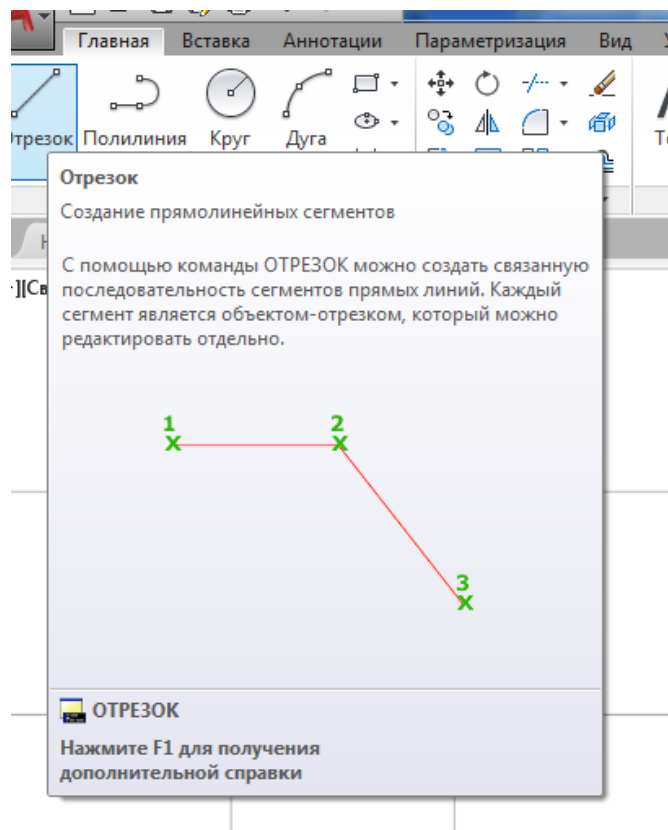


Рисунок 7.2. Команда «Отрезок»

Далее выполняется следующая последовательность действий.

1. Необходимо определить блок, для этого, выделяем построенный отрезок, вводим на клавиатуре «Б» и выбираем во всплывающем окне команду «Блок» (Рисунок 7.3);

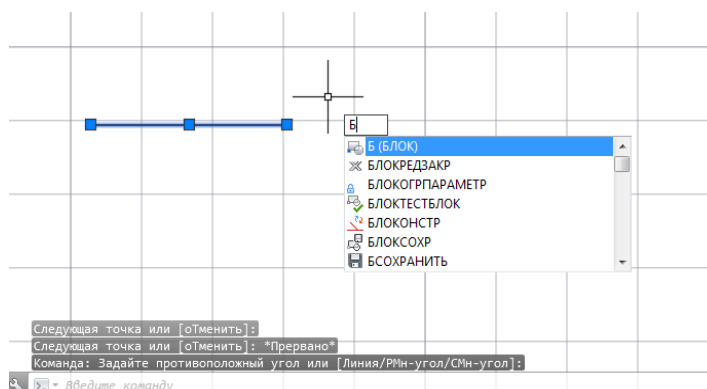


Рисунок 7.3. Команда «Блок»

2. Откроется диалоговое окно «Определение блока» (Рисунок 7.4). Вводим название блока в поле «Имя». Нужно указать базовую точку, в поле «Базовая точка» нажимаем на кнопку «Указать» и выбираем начальную точку отрезка. Ставим галочку «Открыть в редакторе блоков» и в поле «Объекты» должна стоять галочка «Преобразовать в блок», нажимаем «Ок». Откроется редактор блоков.

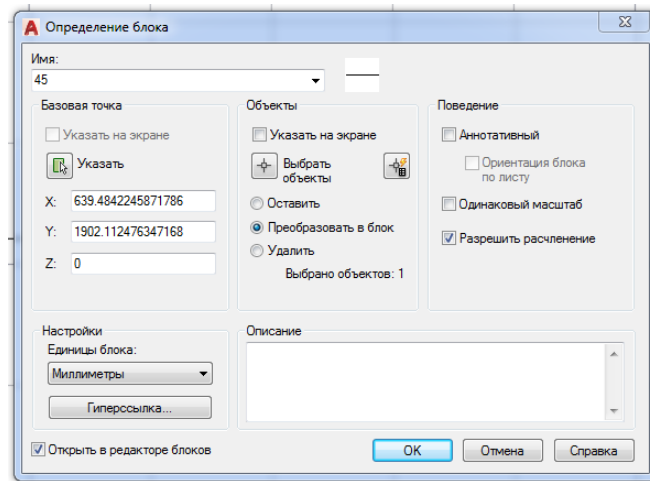


Рисунок 7.4. Диалоговое окно «Определение блока»

3. Необходимо зафиксировать начальную точку блока. Для этого на панели геометрические, выбираем команду «Фиксация» (Рисунок 7.5) и нажимаем на базовую точку отрезка, должен на отрезке появиться значок «Фиксированная точка» (Рисунок 7.6).

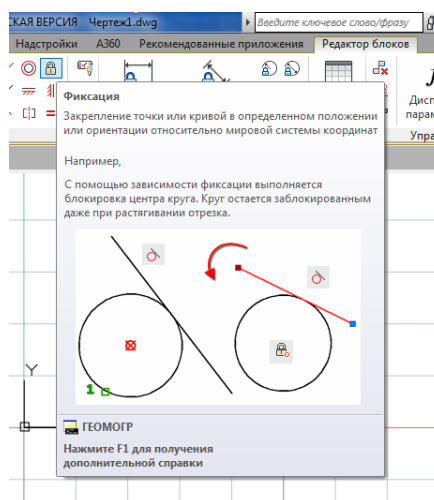


Рисунок 7.5. Команда «Фиксация»

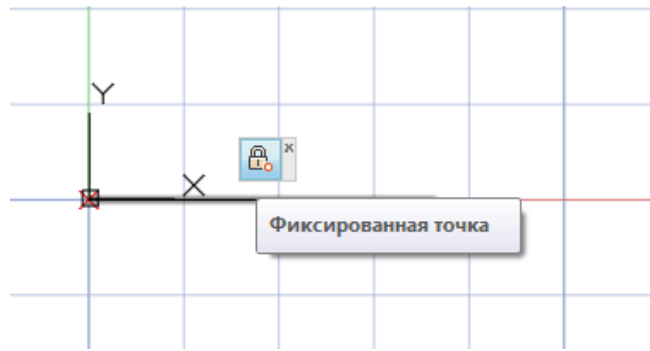


Рисунок 7.6. «Фиксированная точка»

4. Необходимо указать размер отрезка. Выбираем команду «Линейный» на панели «Размерные» (Рисунок 7.7), нажимаем на начальную и конечную точку отрезка (выбирать точки нужно в такой последовательности, так как ручка по умолчанию будет отображаться на последней точке), вводим нужный размер и нажимаем «Enter» (Рисунок 7.8).

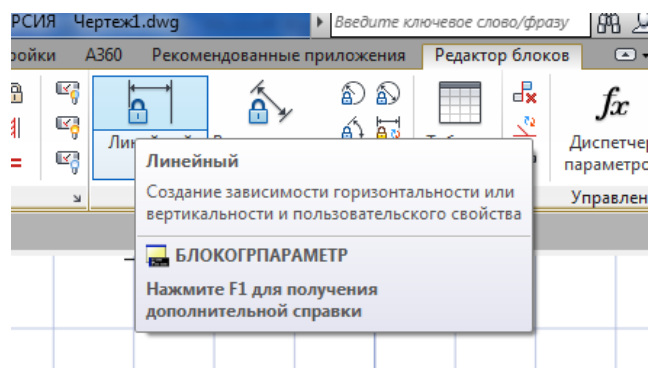


Рисунок 7.7. Команда «Линейный»

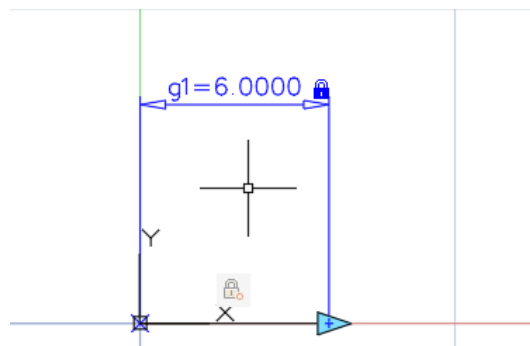


Рисунок 7.8. «Размер»

5. Строим остальную геометрию, которая нам необходима, в нашем случае нам необходим прямоугольник и еще один отрезок, с помощью команд «Прямоугольник» и «Отрезок» на панели «Рисование» во вкладке «Главная» (Рисунок 7.9).

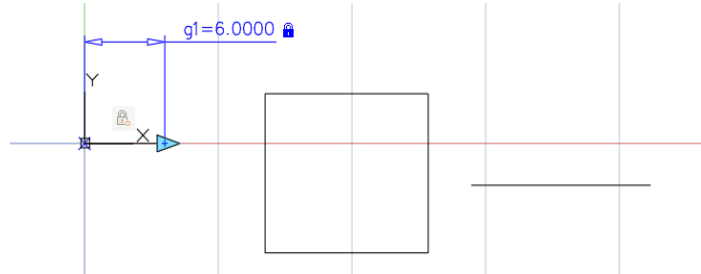


Рисунок 7.9. Команда «Прямоугольник» и «Отрезок»

6. Необходимо привязать построенную геометрию с базовым отрезком. Во вкладке «Редактор блоков» на панели «Геометрические» выбираем необходимые команды. Для простановки зависимостей нам необходимы «Совпадение», «Коллинеарность», «Параллельность», «Перпендикулярность». (Рисунок 7.10, Рисунок 7.11).

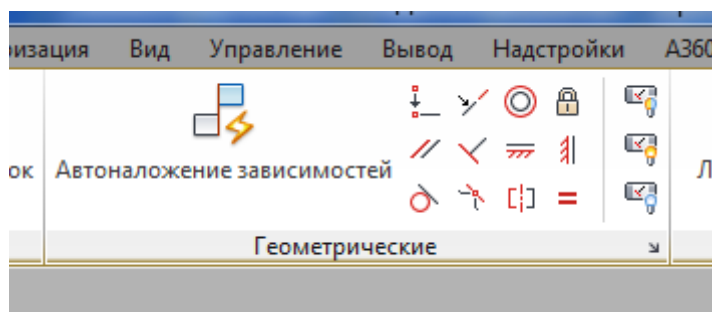


Рисунок 7.10. Команды зависимостей

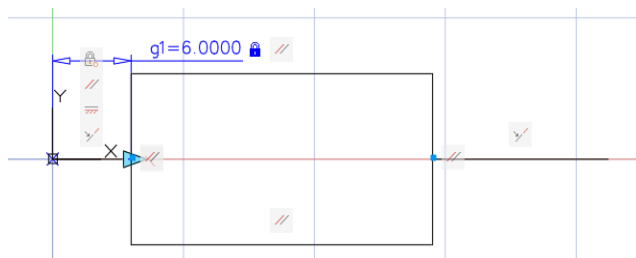


Рисунок 7.11. Наложение зависимостей

7. Повторяем пункт 5 и ставим остальные размеры (Рисунок 7.12).

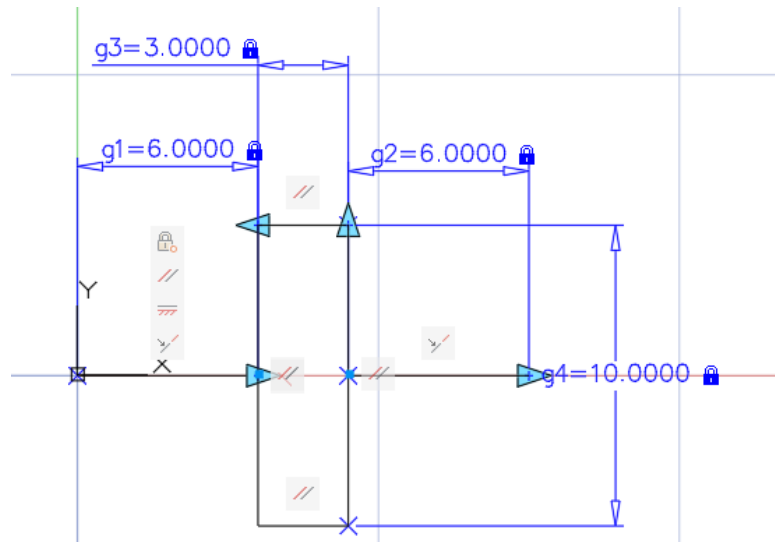


Рисунок 7.12. Простановка размеров

8. Необходимо указать вес линий. Выделяем все линии и выбираем во вкладке «Главная» на панели «Свойства» команду «Вес линий» (Рисунок 7.13).

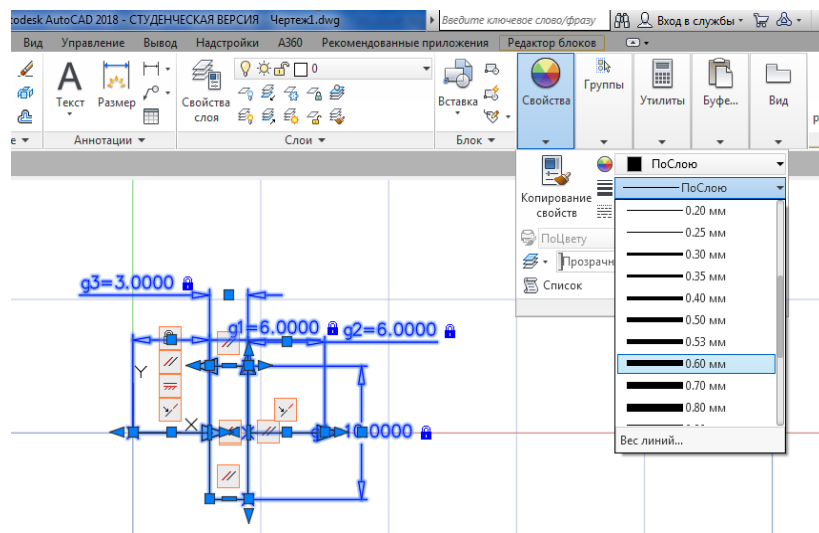


Рисунок 7.13. Вес линий

9. Необходимо сделать приращение для размеров. Для этого выделяем размер и нажимаем правую кнопку мыши и открываем свойства (Рисунок 7.14). В открывшемся окне находим вкладку «Набор значений»,

ставим тип расстояния «Приращение», в остальные поля вводим необходимые данные (Рисунок 7.15). Нажав на клавиатуре «Esc», отменяем выделение текущего размера. Выделяем следующий размер и проделываем аналогичные операции со всеми размерами.

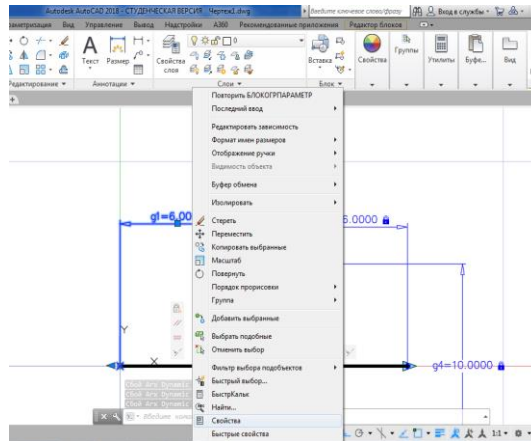


Рисунок 7.14. Свойства

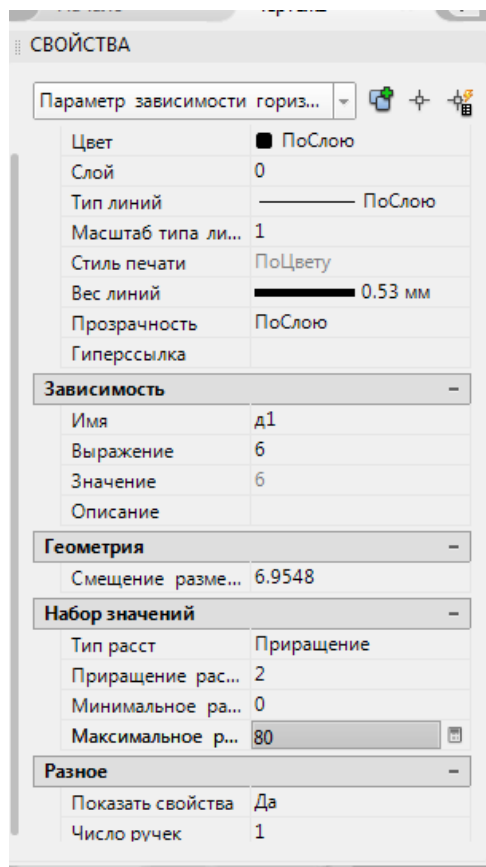


Рисунок 7.15. Приращение

10. Закрываем редактор блоков с сохранением всех изменений. Проверяем работу всех ручек и всего блока (Рисунок 7.16). Если есть ошибки, то можно их исправить в редакторе блоков. Для запуска редактора блоков, нужно выделить блок, нажать на правую кнопку мыши и выбрать «Редактор блоков» (Рисунок 7.17).

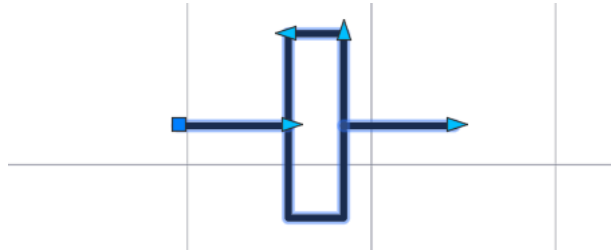


Рисунок 7.16. Блок «Шестерня»

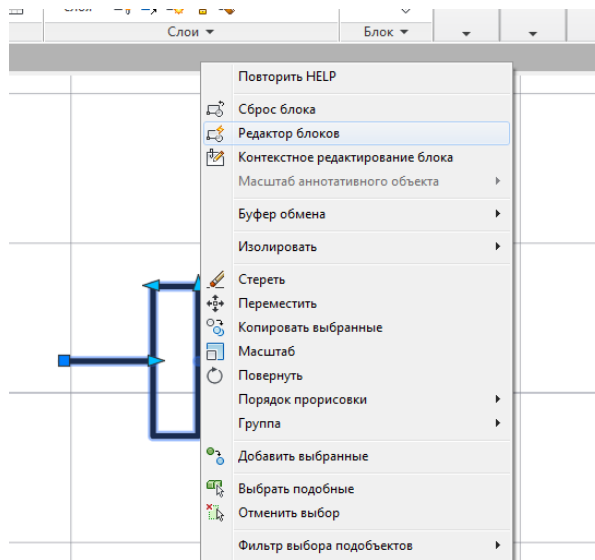


Рисунок 7.17. Редактор блоков

Алгоритм составления кинематической схемы станка

1. Запускаем файл с библиотекой кинематических схем.
2. Вставляем необходимый блок, через команду «Вставка» на вкладке «Вставка» (Рисунок 7.18), в раскрывшемся окне выбираем блок и переносим на чертеж.

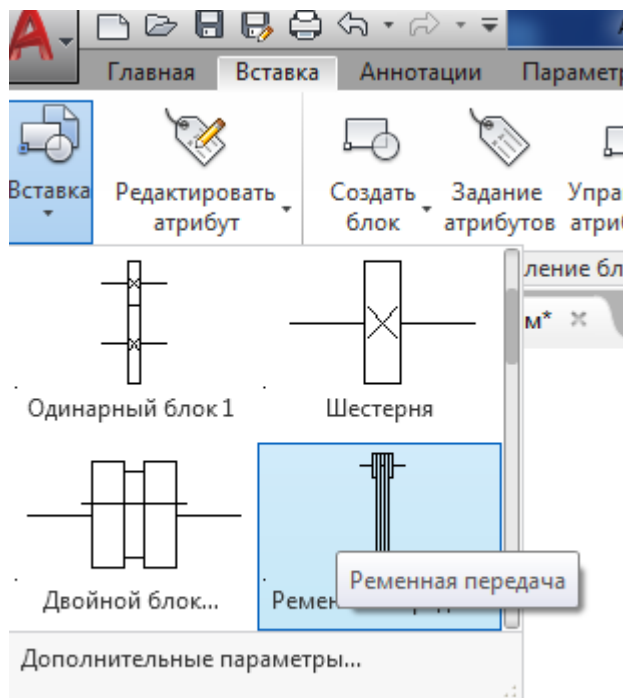


Рисунок 7.18. Команда «Вставка»

3. Выделяем блок, появляются ручки (Рисунок 7.19), за которые можно изменять геометрию блока.

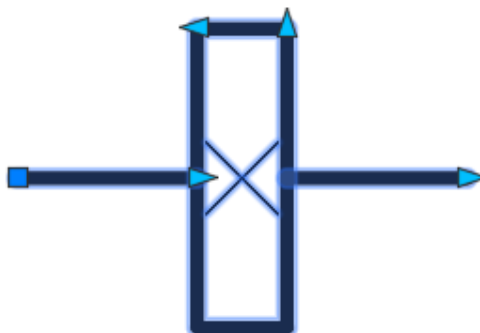


Рисунок 7.19. Блок «Шестерня»

4. Повторяем 1 пункт и вставляем необходимые блоки.
5. Изменяем с помощью ручек блоки как нам необходимо (Рисунок 7.20).

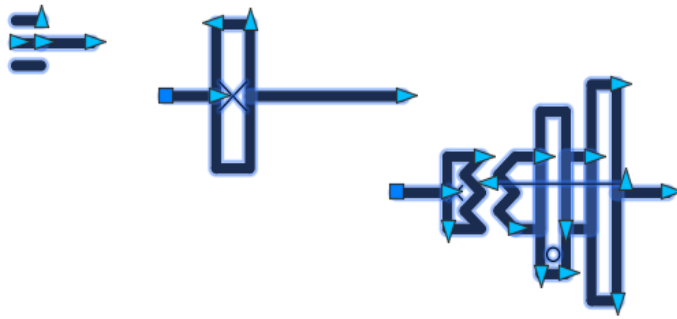


Рисунок 7.20. Редактирование блоков

6. Для соединения блоков используем команду «Перенести», которая находится во вкладке «Главная» на панели «Редактирование» (Рисунок 7.21). После нажатия на команду «Перенести» выбираем любую точку блока и перемещаем (Рисунок 7.22).

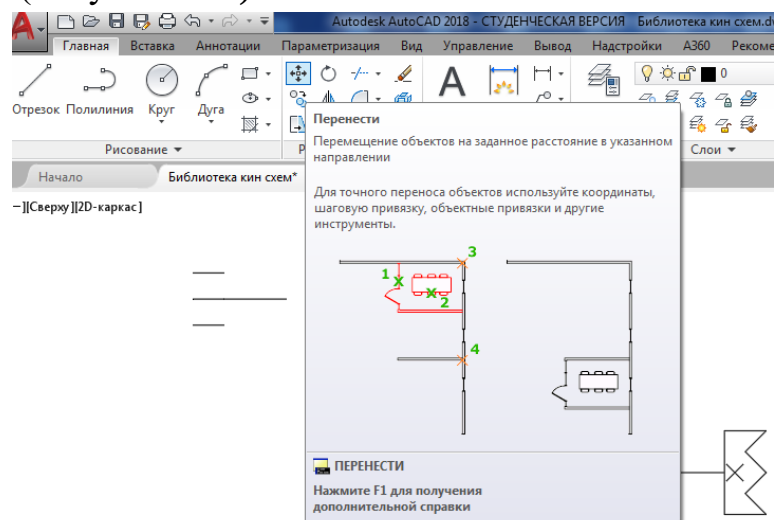


Рисунок 7.21. Команда «Перенести»

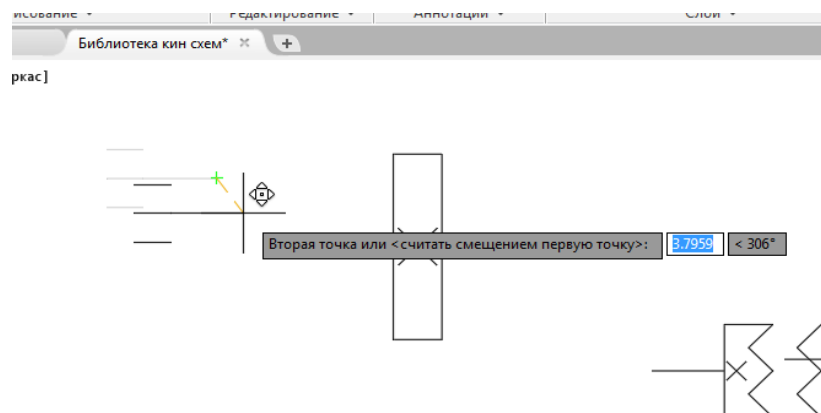


Рисунок 7.22. Перемещение блока

7. Если нужен блок, который вы уже изменили, то используем команду «Копировать», которая находится во вкладке «Главная» на панели «Редактирование» (Рисунок 7.23).

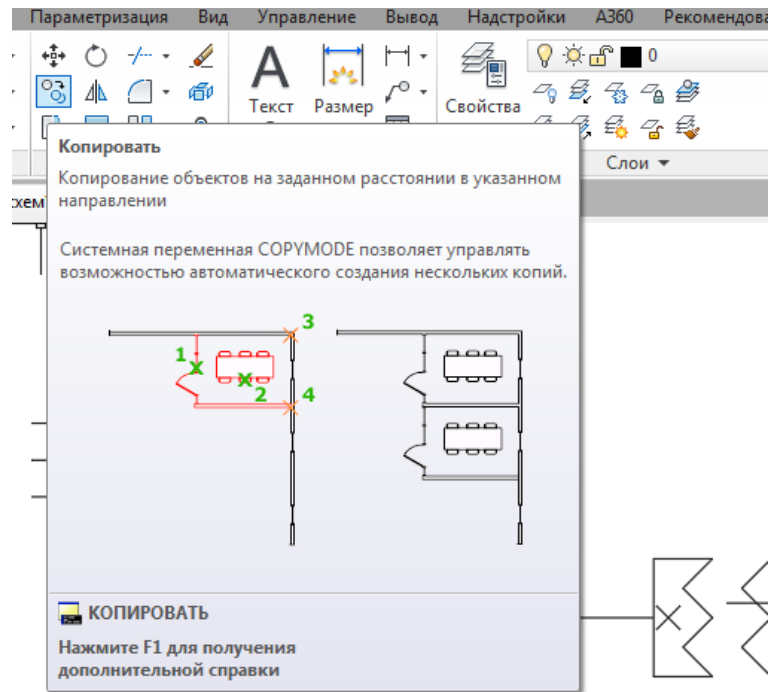


Рисунок 7.23. Команда «Копировать»

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 Какие стадии включает в себя проектирование кинематических схем?
- 2 Условные обозначения на кинематических схемах?
- 3 **Индивидуальное задание.** Изучить стандарт ГОСТ 2.703-2011 и выполнить разработку кинематической схемы для задания по курсовому проекту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: [1].

8 Практическое занятие **ОСОБЕННОСТИ СИЛОВЫХ РАСЧЕТОВ КОРОБОК СКОРОСТЕЙ И ПОДАЧ**

Цель работы: ознакомление с методикой силового расчета коробок скоростей и подач.

Теоретическая часть. Целью ручного расчета является определение модуля передач.

Определение модуля производится для наиболее нагруженного зубчатого колеса по методике, изложенной в дисциплине " Детали машин и основы конструирования ", например, по зависимости [7]:

$$m \geq K_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_2 \cdot Y_F}{Z \cdot \psi_\delta \cdot \sigma_F}}, \quad (3.1)$$

где K_m – вспомогательный коэффициент; $K_m=10$;

T_1 – расчетный крутящий момент (даН·м);

K_2 – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца; $K_F=1,1$;

Z_1 – число зубьев шестерни;

ψ_δ – коэффициент ширины колеса по диаметру; $\psi_\delta=0,2$;

Y_F – коэффициент, учитывающий форму зуба; $Y_F=1$;

σ_F – допускаемое напряжение, для стали 20Х допускаемое напряжение равно $\sigma_F=250$ МПа.

1 Коэффициенты ширины венцов зубчатых колес

- для включаемых с осевым перемещением $\psi_a=0,15$; для

-для постоянного зацепления - $\psi_a=0,18$

9 Практическое занятие **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБЧАТОГО СОЕДИНЕНИЯ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR**

Цель работы: ознакомление с методикой проектирования зубчатого соединения в мастере проектирования Autodesk Inventor.

Теоретическая часть

Проектирование соединений цилиндрических прямозубых зубчатых колес с помощью генератора мастера проектирования цилиндрических прямозубых зубчатых колес позволяет существенно сократить время на проектирование и оптимизировать конструкцию зубчатого соединения. Необходимым условием проектирования является владение процедурой создания активного проекта и принципов навигации в рабочем пространстве с использованием различных инструментов просмотра.

Мастер проектирования работает только в среде сборки, поэтому нужно либо открыть сборку, либо создать файл сборки.

Генератор мастера проектирования открываются в последнем допустимом состоянии, в котором компонент был вставлен в сборку Autodesk Inventor.

Удерживая нажатой клавишу Ctrl, выберите команду *Зубчатые зацепления* для загрузки генератора зубчатых зацеплений с установками по умолчанию.

Запущенный генератор компонентов зубчатых зацеплений открывается на вкладке "Генератор компонентов цилиндрического зубчатого зацепления". Здесь можно ввести особые параметры, задать расположение прямозубых цилиндрических зубчатых колес и выбрать методы расчета.

Вкладка "Генератор компонентов цилиндрического зубчатого зацепления" поделена на несколько групп полей, в которых можно задать следующие параметры:

Общее

В этой области содержатся параметры, общие для обоих зубчатых зацеплений, например модуль или угол наклона зуба.

В раскрывающемся меню "Выбор модели" содержится пять возможных вариантов моделей и расчетов. Доступность полей редактирования на вкладке "Выбор модели" зависит от значения, указанного в поле выбора модели. Для каждого метода нужно указывать свои параметры.

Зубчатое зацепление 1, зубчатое зацепление 2.

В этой области содержатся параметры, которые могут различаться для зубчатых зацеплений, например число зубьев или ширина грани. Кроме того, здесь расположены кнопки для определения расположения этих двух колес.

С помощью раскрывающегося меню можно выбрать тип вставляемого колеса: компонент, элемент или нет модели (Рисунок 9.1).

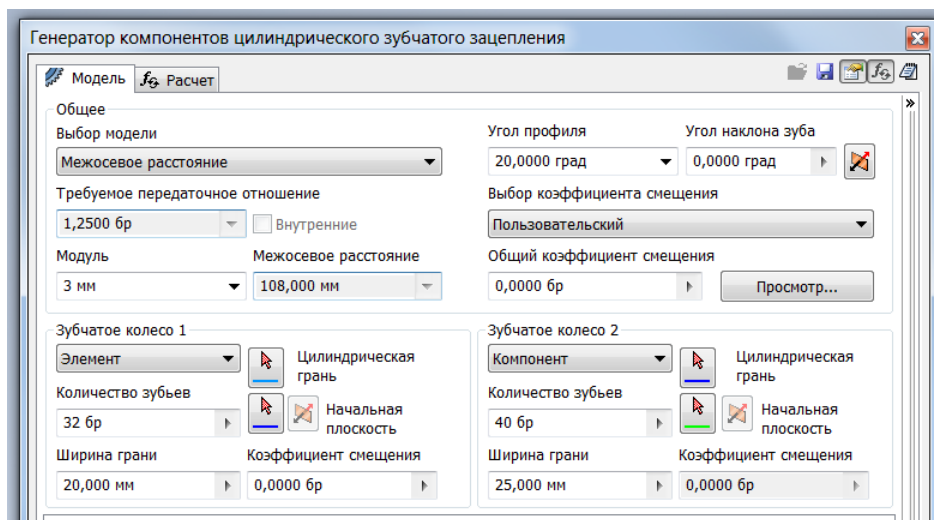


Рисунок 9.1. Окно генератора компонентов

Дополнительные параметры

Если выбрать команду  *Дополнительно* в правом нижнем углу вкладки "Генератора..", открывается область с другими параметрами проектирования зубчатых зацеплений (Рисунок 9.2.) Например, при выборе в группе полей *Исходный параметр* значения *Количество зубьев* - количество зубьев является задаваемым значением.

Рисунок 9.2. Дополнительное окно

Результаты

Для просмотра панели "Результаты" (Рисунок 9.3) со списком вычисленных значений дважды щелкните двойную линию справа или один раз щелкните угловую скобку. Обозначенные серым значения соответствуют результатам, которые не совпадают со значениями, введенными на вкладке "Генератор...". Для получения результатов для введенных значений нажмите кнопку *Рассчитать*.

Результаты	
i	2,4783 бр
ε	1,6841 бр
Зубчатое колесо 1	
d_a	50,000 мм
d	46,000 мм
d_f	41,000 мм
x_z	0,3637 бр
x_p	-0,3255 бр
x_d	-0,4955 бр
s_a	0,7110 бр
b_f	0,4348 бр
Зубчатое колесо 2	
d_a	118,000 мм
d	114,000 мм

Рисунок 9.3. Просмотр результатов расчетов

Выбор параметров зубчатых зацеплений

1. В области "Общее" на вкладке "Генератор.." выберите в раскрывающемся меню *Выбор модели* параметр *Межосевое расстояние* (Рисунок 9.4). От выбора этого параметра зависит используемая модель и метод расчета. Если

в раскрывающемся меню "Выбор модели" выбран параметр "*Межосевое расстояние*", данный параметр недоступен - межосевое расстояние будет вычисляться по другим исходным параметрам.

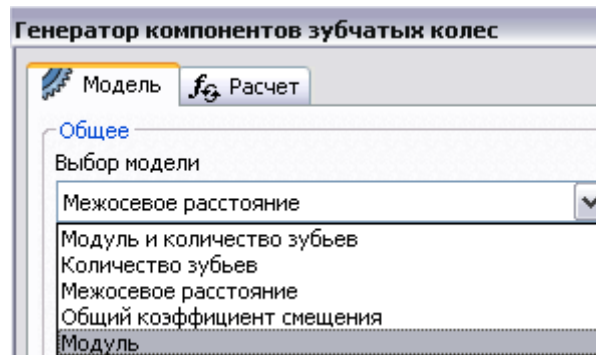


Рисунок 9.4. Дополнительное окно выбора модели

2. Для определения дополнительных параметров зубчатых зацеплений нажмите кнопку  *Дополнительно*, расположенную в правом нижнем углу вкладки "Генератор...".

3. В группе полей *Тип размера* выберите значение *Модуль*.

При проектировании зубчатых зацеплений в метрической сборке параметр *Модуль* выбирается генератором по умолчанию. В случае проектирования зубчатых соединений с использованием английских единиц измерения в генераторе выбирается параметр *Диаметральный шаг*.

4. В области *Исходный параметр* выберите параметр *Количество зубьев*. Тогда в качестве параметра ввода будет использоваться количество зубьев.

5. В качестве примера рассмотрим вариант вставки одного элемента и одного компонента. В группе полей *Зубчатое зацепление 1* выберите в раскрывающемся меню значение *Элемент*. Первое зубчатое колесо будет вставлено в сборку как элемент вала (Рисунок 9.5).



Рисунок 9.5. Дополнительное окно выбора модели

6. В группе полей *Зубчатое зацепление 2* выберите в раскрывающемся меню значение *Компонент*. Второе зубчатое колесо будет вставлено как новая отдельная деталь (Рисунок 9.6).



Рисунок 9.6. Дополнительное окно выбора модели

Примечание: Также для вставки вычисления без компонента или элемента можно выбрать параметр *Нет модели*.

При выставке элементов для вращения зубчатых зацеплений использование параметра *Движение* невозможно. Его можно использовать только в случае вставки двух компонентов.

Размещение зубчатого зацепления

1. Для определения размещения зубчатого зацепления 1 нажмите в группе полей *Зубчатое зацепление 1* кнопку *Цилиндрическая грань*.

2. В графическом окне выберите цилиндрическую грань, как показано на следующем рисунке (Рисунок 9.7).

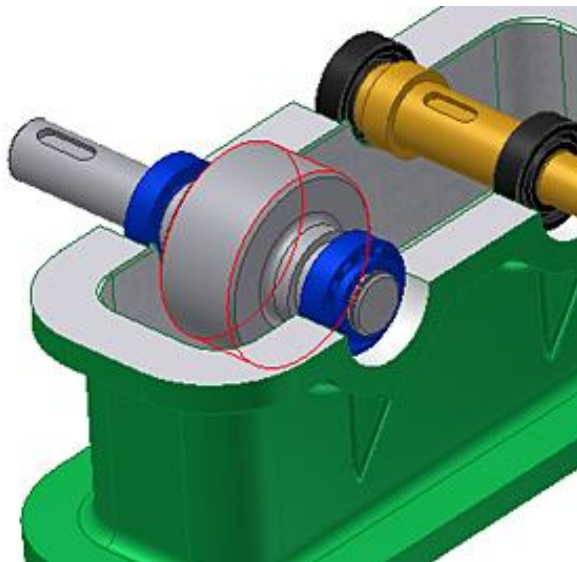


Рисунок 9.7. Размещение зубчатого зацепления 1 (выбор цилиндрической грани)

Примечание: Диаметр сечения вала должен быть большим или равным внешнему диаметру зубчатого колеса.

3. Для определения в сборке начальной плоскости выберите команду *Начальная плоскость*.

4. В графическом окне выберите начальную плоскость, как показано на следующем рисунке (Рисунок 9.8).

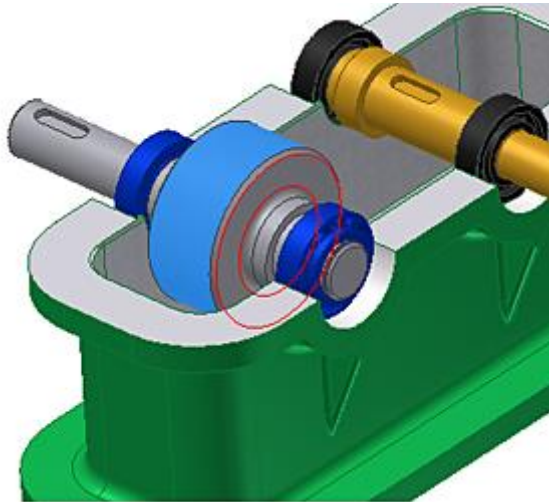


Рисунок 9.8. Дополнительное окно выбора модели1 (выбор начальной плоскости)

В окне предварительного просмотра зубчатое зацепление 1 показано в настроенном положении (Рисунок 9.9).

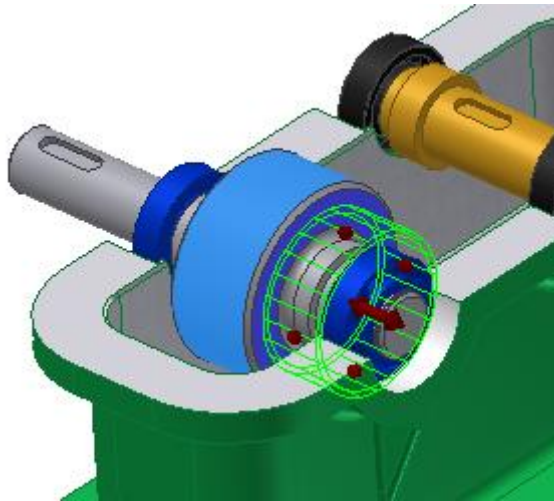


Рисунок 9.9. Предварительный просмотр зубчатого зацепления 1

Размещение второго зубчатого зацепления

Теперь можно определить положение второго зубчатого зацепления.

1. В группе полей *Зубчатое зацепление 2* нажмите кнопку *Цилиндрическая грань*.
2. Выберите цилиндрическую грань в графическом окне, чтобы разместить второе зубчатое колесо, как показано на приведенном ниже изображении (Рисунок 9.10).

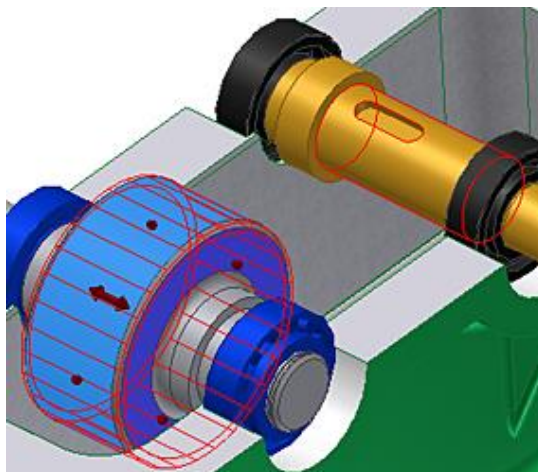


Рисунок 9.10. Размещение первого зубчатого колеса

3. Для определения в сборке начальной плоскости выберите команду *Начальная плоскость*.

4. В графическом окне выберите начальную плоскость, как показано на рисунке (Рисунок 9.11).

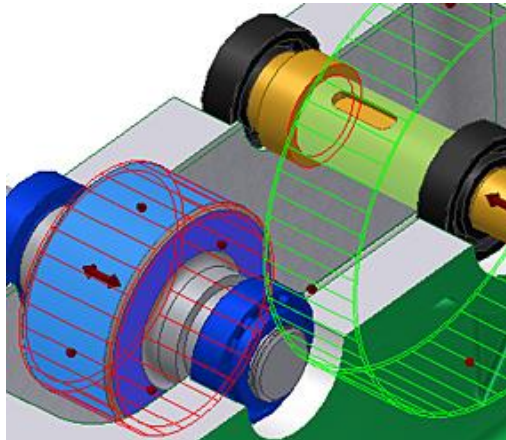


Рисунок 9.11. Размещение второго зубчатого колеса (выбор начальной плоскости)

В окне предварительного просмотра зубчатое зацепление 2 показано в положении просмотра для заданных параметров (Рисунок 9.12).

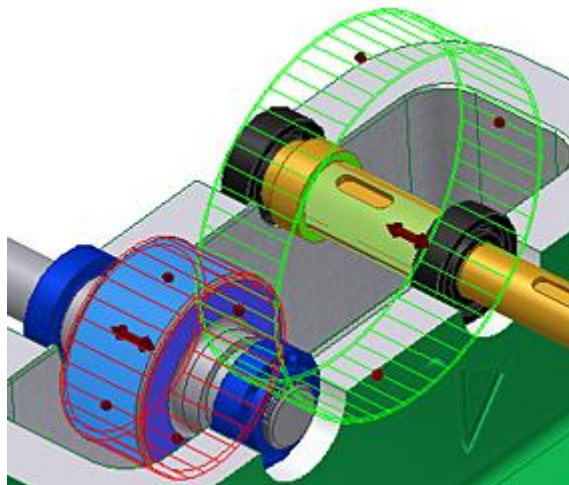


Рисунок 9.12. Окно предварительного просмотра зубчатого зацепления 2

Ввод параметров

Теперь можно ввести параметры в группах полей "Общее", "Зубчатое зацепление 1" и "Зубчатое зацепление 2".

1. В поле *Угол зацепления* укажите значение 20 градусов.

2. В поле *Угол наклона зуба* укажите значение 12 градусов.
3. Введите правильное количество зубьев. Модель зубчатого колеса будет строиться на основе этих известных параметров. В редактируемом поле *Количество зубьев* в области "Зубчатое зацепление 1" введите число 29.
4. В редактируемом поле *Количество зубьев* в области "Зубчатое зацепление 2" введите число 57.
5. Для зубчатых зацеплений 1 и 2 установите в поле *Ширина грани* значение 30 мм.
6. В области "Зубчатое зацепление 1" установите в поле *Коэффициент смещения* значение 0.

Выполнение расчета и определение имен файлов

1. Для выполнения расчета нажмите кнопку *Рассчитать*. Область предварительного просмотра обновится, а в области *Краткие сведения о сообщениях* появится уведомление об успешном выполнении расчета.
2. Для открытия области *Краткие сведения о сообщениях*, расположенной в нижней части вкладок *Расчет* и *Проект*, дважды щелкните в нижней части вкладок *двойную линию* или один раз - *угловую скобку*.

В графическом окне отобразится прямозубая цилиндрическая зубчатая передача, построенная с учетом всех введенных значений (таких как количество зубьев).

3. Нажмите кнопку "ОК". Откроется диалоговое окно "Именование файлов".

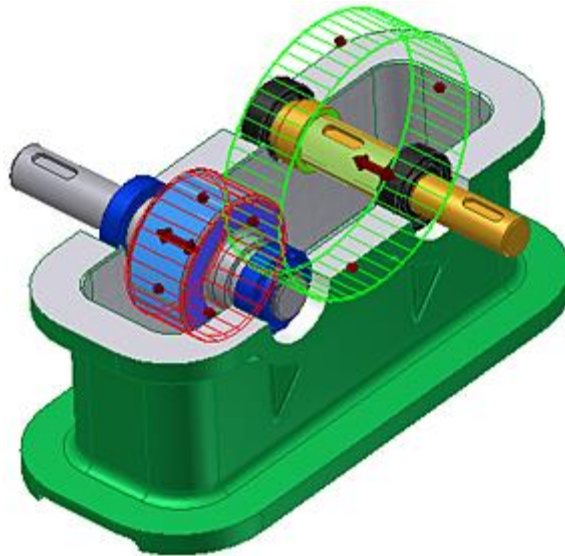


Рисунок 9.13. Дополнительное окно выбора модели

В диалоговом окне "Именование файлов" для компонентов и элементов Мастера проектирования можно указать значения "Отображаемое имя" и "Имя файла". Если установлен флажок *"Всегда запрашивать имя файла"*, при каждой вставке компонента или элемента Мастера проектирования будет отображаться диалоговое окно. Редактирование имени файла доступно только при первой вставке.

4. Для вставки в сборку соединения с зацеплениями нажмите кнопку *ОК* (Рисунок 9.14).

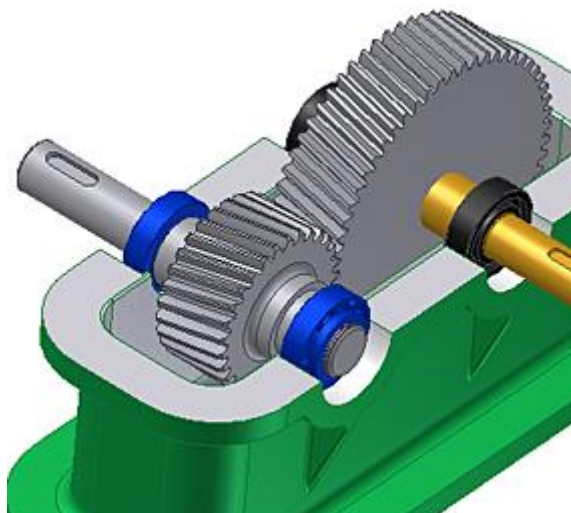


Рисунок 9.14. Дополнительное «окно выбора модели

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 Можно ли в мастере проектирования зубчатого зацепления выполнить расчет на прочность зубчатого зацепления?
- 2 Можно ли в мастере проектирования зубчатого зацепления выполнить анализ напряженно-деформированного состояния зубчатого зацепления?
- 3 В какой среде Autodesk Inventor выполняется проектирование зубчатого зацепления?
- 4 Как выполнить в генераторе модель связанного зубчатого зацепления?
- 5 Как выполнить в генераторе модель зубчатого зацепления в виде подвижного блока?
- 6 **Индивидуальное задание.** Выполнить разработку модели зубчатого зацепления для кинематической схемы, разработанной в курсовом проекте (по согласованию с преподавателем).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: [1], [2].

10 Практическое занятие **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАЛА В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR**

Цель работы: ознакомление с работой «Генератора вала» в мастере проектирования Autodesk Inventor.

Теоретическая часть

Для создания вала будет необходимо выполнить следующее:

- Запустить "Генератор компонентов вала".
- Добавить или удалить сечения из спроектированного вала.
- Задать параметры элементов вала.
- Добавить элементы вала.
- Задать опоры, силы и моменты.
- Произвести расчет и вывести отчет.

Первые действия:

В Autodesk Inventor представлены шаблоны файлов деталей, сборок и чертежей с параметрами по умолчанию.

1.  На панели инструментов быстрого доступа нажмите кнопку Создать.
2. На вкладке Метрические дважды щелкните файл Обычный (mm).iam.
3.  На панели инструментов быстрого доступа нажмите кнопку Сохранить и сохраните копию файла с именем Вал.iam, в любом месте на диске.
4. Для запуска генератора выберите на ленте вкладку "Проектирование" ► панель "Привод" ► "Вал" .

На вкладке «Проект» по умолчанию откроется генератор компонентов вала.

5. Щелкните в графическом окне для размещения вала (Рисунок 10.1).

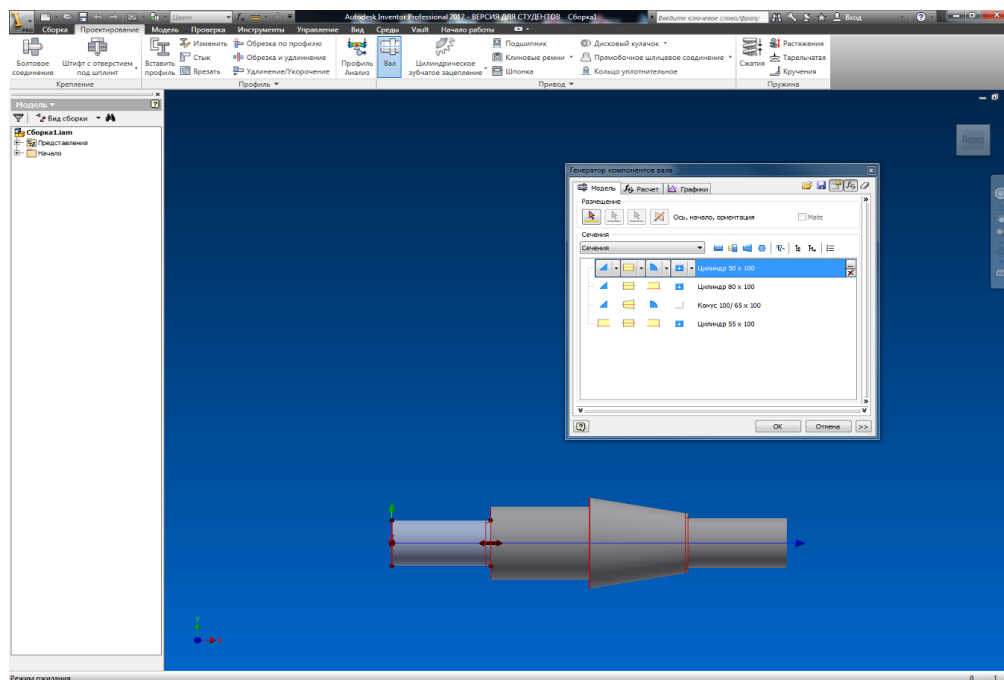


Рисунок 10.1. Размещение вала

Теперь можно приступить к настройке вала

В случае использования для проектирования вала генератора валов возможен предварительный просмотр вала как в диалоговом, так и в графическом окнах. Предварительный просмотр осуществляется динамически, с автоматическим учетом выбранных профилей, а также их относительных размеров и расположения на валу.

6. Для предварительного просмотра вала нажмите на вкладке Проект кнопку «Параметры».  (Рисунок 10.2).



Рисунок 10.2. Расположение кнопки «Параметры»

Примечание. Кнопка «Параметры» находится в области «Сечения» на панели инструментов вкладки «Проект» (Рисунок 10.3). На вкладке «Расчет» кнопка «Параметры» расположена на панели инструментов в об-

ласти «Нагрузки и опоры».

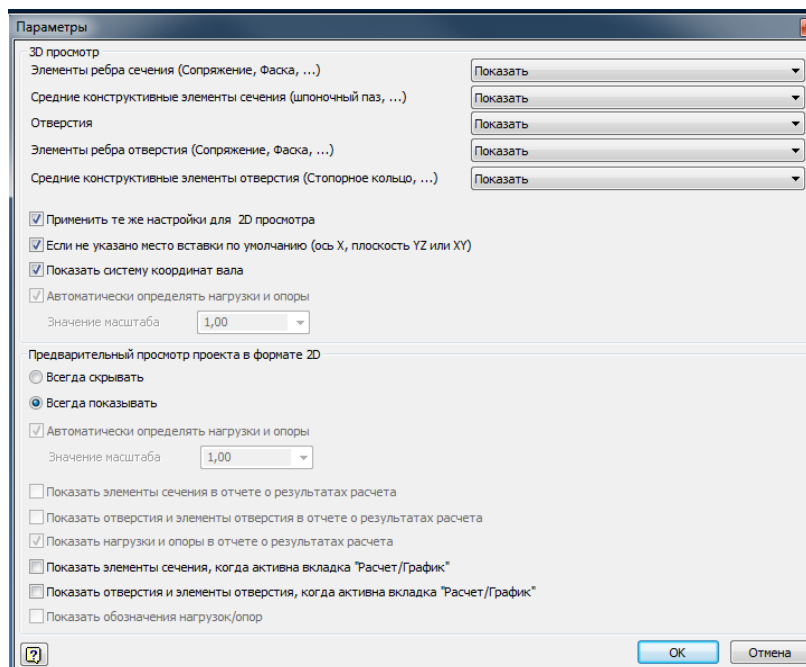


Рисунок 10.3. Окно параметров

7. В области 2D просмотр выберите «Всегда» показывать и нажмите кнопку ОК.

В результате на вкладке «Проект» будет создано изображение для динамического просмотра вала.

При первом запуске генератора валов в нем по умолчанию содержится несколько сечений. Проектирование вала осуществляется путем изменения, удаления и добавления его сечений.

Сечения вала можно выбирать в области 2D просмотра диалогового окна, в графическом окне или дереве.

В области «Сечения» выберите в раскрывающемся списке пункт «Сечения».

Выберите на дереве сечение цилиндр 50 x 100.



Примечание Одновременно можно выбрать только одно сечение.

Обратите внимание, что это сечение выделяется и в 2D просмотре и

в графическом окне (Рисунок 10.4).

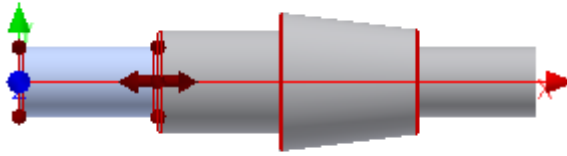


Рисунок 10.4. Выбор сечения вала

Нажмите на панели инструментов кнопку  «Вставить цилиндр». Справа от выбранного элемента будет добавлено простое сечение вала (Рисунок 10.5).

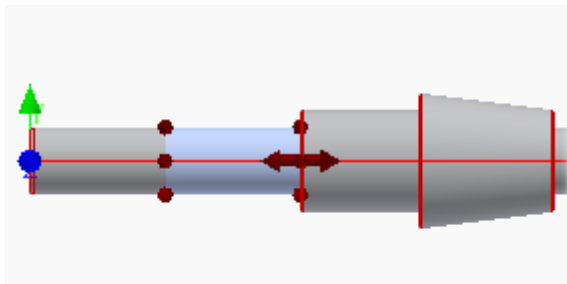


Рисунок 10.5. Вид на вал после вставки цилиндрической шейки

Первое сечение цилиндра будет обозначено в дереве красным. В генераторе валов будет обнаружено сопряжение двух смежных сечений одинаковой ширины, которое не поддерживается. После изменения ширины одного из сечений вала сечение снова приобретет цвет по умолчанию.

Дважды щелкните предварительное изображение сечения вала в окне Autodesk Inventor.

В диалоговом окне "Цилиндр" (Рисунок 10.6) оставьте без изменений значение 50 мм в поле Диаметр, но измените значение в поле Длина сечения на 50 мм.

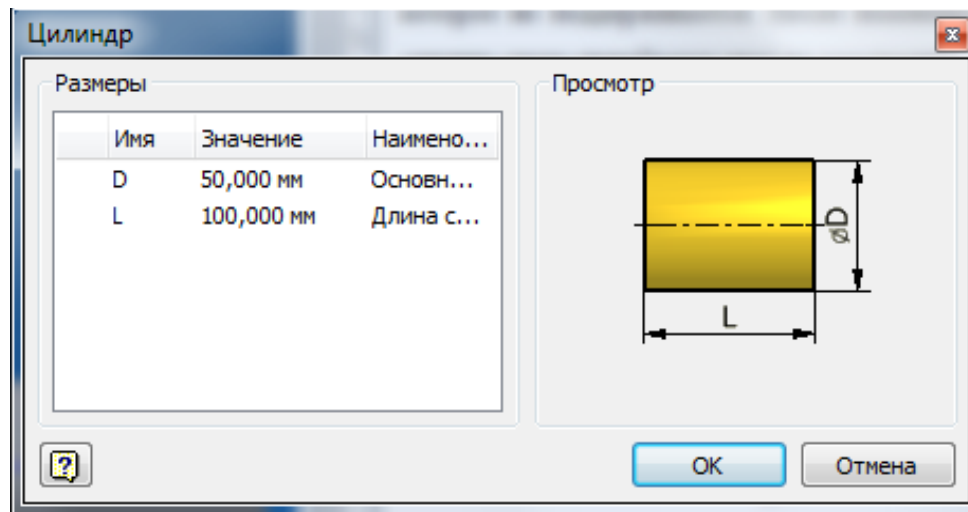


Рисунок 10.6. Диалоговое окно «Цилиндр»

Нажмите кнопку "OK" (Рисунок 10.7).

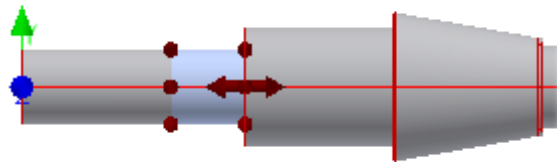


Рисунок 10.7 – Результат редактирования

Теперь добавьте стопорное кольцо к выбранному сечению вала.

В структуре  дерева щелкните стрелку  рядом с кнопкой  для открытия списка доступных элементов для сечения вала, а затем нажмите кнопку Добавить стопорное кольцо.

К выбранному сечению будет добавлено стопорное кольцо по умолчанию.

Для редактирования стопорного кольца выберите его в дереве и нажмите кнопку .

Откроется диалоговое окно "Канавка стопорного кольца" (Рисунок 10.8).

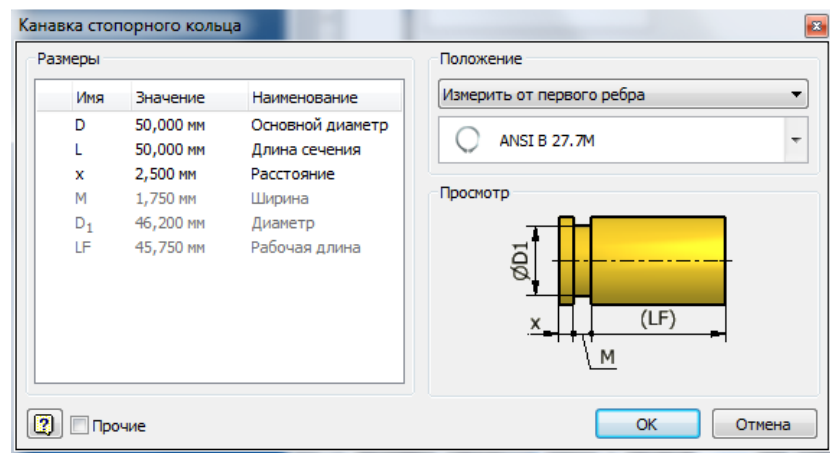


Рисунок 10.8. Диалоговое окно "Канавка стопорного кольца"

В первом раскрывающемся списке группы полей **Положение** выберите параметр **Измерить от первого ребра**.

Используйте второй раскрывающийся список для выбора стопорного кольца из Библиотеки компонентов. Выберите ГОСТ 13942-86.

В диалоговом окне **Размеры** измените значение в поле **Расстояние (ИМЯ X)** на 23 мм.

Нажмите кнопку "ОК" (Рисунок 10.9).

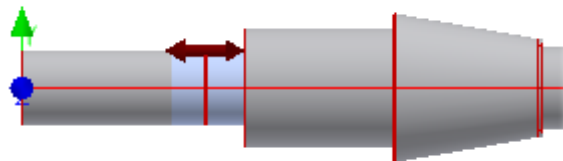


Рисунок 10.9. Результат редактирования канавки под стопорное кольцо

Теперь к выбранному сечению вала следует добавить сквозное отверстие. В дереве становится активным третье сечение вала. Щелкните стрелку  рядом с кнопкой  для открытия списка доступных элементов для сечения вала, а затем выберите **Добавить сквозное отверстие** (Рисунок

10.10).

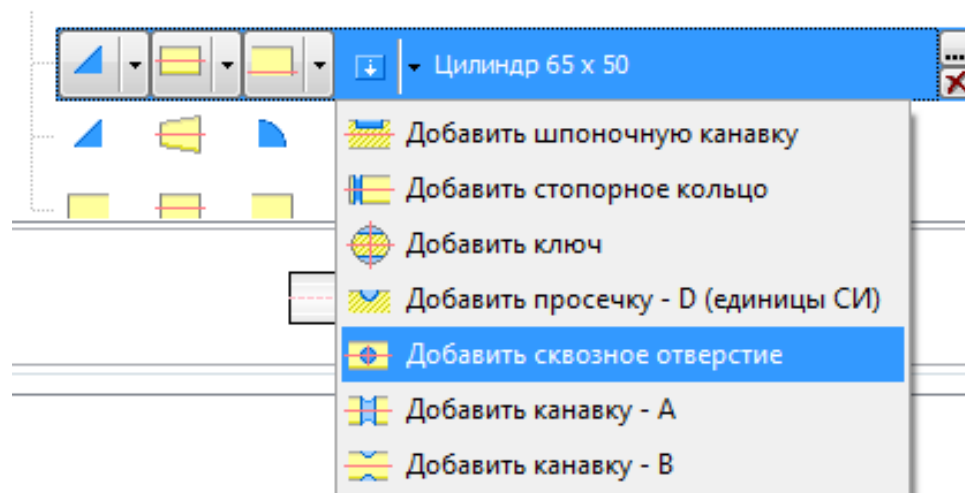


Рисунок 10.10. Добавление сквозного отверстия

Отверстие по умолчанию добавляется в выбранное сечение. Для редактирования отверстия выберите его в структуре дерева и нажмите кнопку .

В диалоговом окне "Сквозное отверстие" задайте в поле Диаметр отверстия значение 12 мм (Рисунок 10.11). Убедитесь в том, что изменено значение параметра Диаметр отверстия, а не параметра Основной диаметр. Нажмите кнопку "ОК".

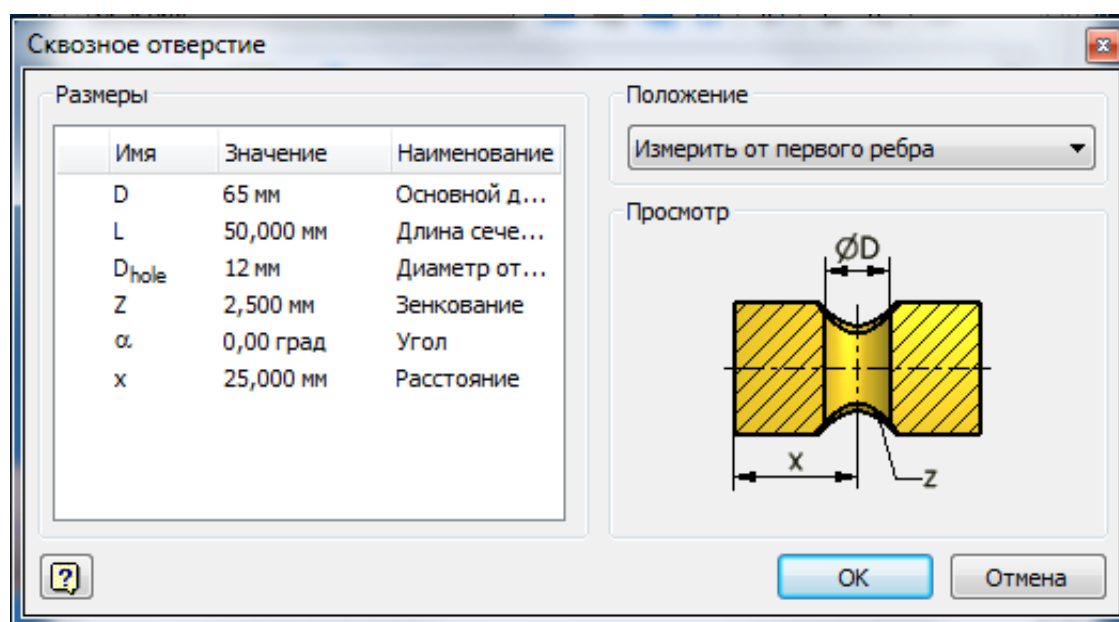


Рисунок 10.11. Диалоговое окно "Сквозное отверстие"

В окне предварительного просмотра дважды щелкните сечение конуса. Откроется диалоговое окно "Конус".

Измените значение в поле Первый диаметр на 80 мм.

Нажмите кнопку "ОК" (Рисунок 10.12).

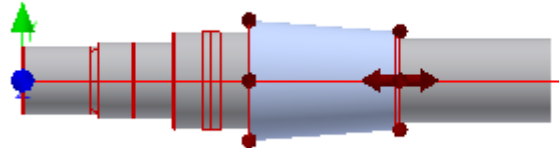


Рисунок 10.12. Редактирование конуса

В области 2D просмотра выберите цилиндр, как показано на рисунке (Рисунок 10.13), дважды щелкните по выбранному сечению откроется окно «Цилиндр», измените значение поля Длина сечения на 40 мм и нажмите кнопку ОК.

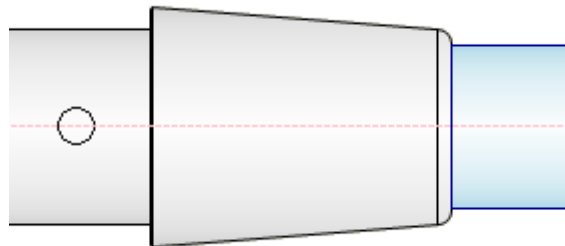


Рисунок 10.13. Редактирование цилиндра

Теперь добавьте канавку контргайки правого ребра сечения к выбранному сечению вала (Рисунок 10.14). В дереве становится активным соответствующее сечение вала.

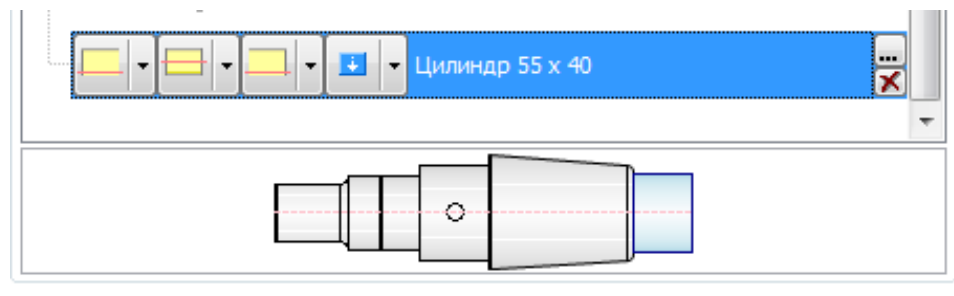


Рисунок 10.14. Добавление канавки контргайки правого ребра сечения

Щелкните стрелку  рядом с кнопкой  для открытия списка доступных элементов правого ребра, а затем выберите в списке пункт Канавка контргайки (Рисунок 10.15).

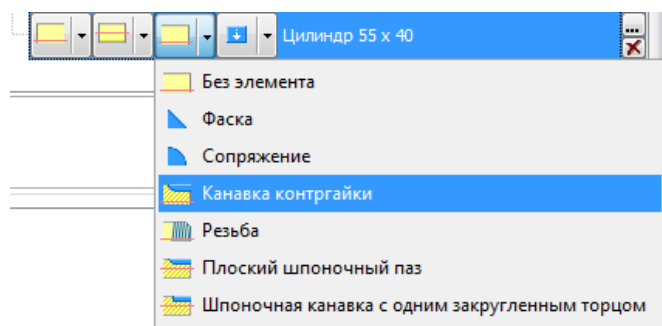


Рисунок 10.15. Выбор функции канавки контргайки

В выбранное сечение добавляется канавка контргайки по умолчанию и открывается диалоговое окно "Канавка контргайки" (Рисунок 10.16).

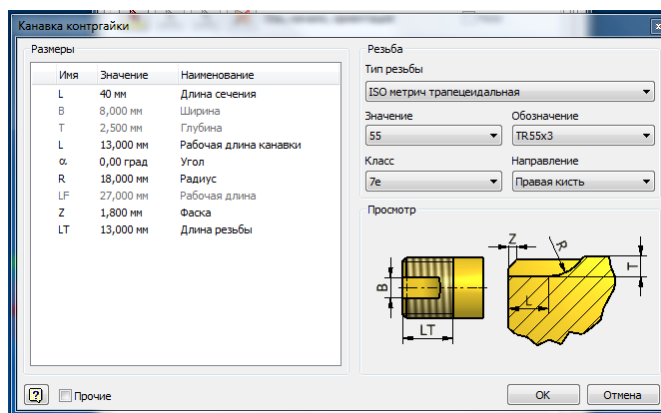


Рисунок 10.16. Диалоговое окно "Канавка контргайки"

Измените значение поля Длина резьбы на 13 мм и нажмите кнопку ОК (Рисунок 10.17).

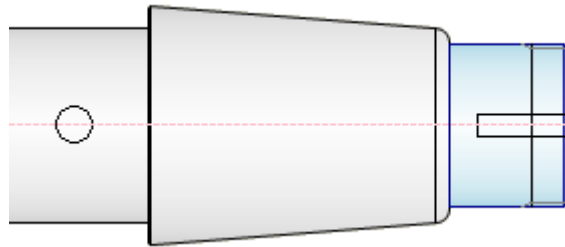


Рисунок 10.17. Окончание создания канавки контргайки

Расчет вала

Выберите вкладку «Расчет», которая содержит следующее:

- предварительное изображение вала в двухмерном режиме на основе конфигурации, заданной на вкладке "Модель".
- графические индикаторы нагрузок и опор.
- панель инструментов для ввода нагрузок и опор;
- области для определения материала вала и дополнительных свойств расчета.

При переходе на вкладку «Расчет» обратите внимание на изменение режимов "2D просмотр" и "3D просмотр". Отображаются не только графические представления нагрузок и опор, но и маркеры положения зеленого и синего цвета.

Для каждого сечения в программе отображаются три маркера положения: по одному на каждом конце сечения и один в его центре. Маркер положения синего цвета свидетельствует о том, что нагрузки и опоры расположены в месте расположения этого маркера.

Примечание: Опоры представлены треугольниками. Нагрузки отоб-

ражаются стрелками.

В раскрывающемся меню области «Нагрузки и опоры» выберите пункт «Опоры».

Нажмите и удерживайте клавишу Alt. В окне Autodesk Inventor перетащите опору на второе сечение вала слева, как показано на рисунке (Рисунок 10.18).

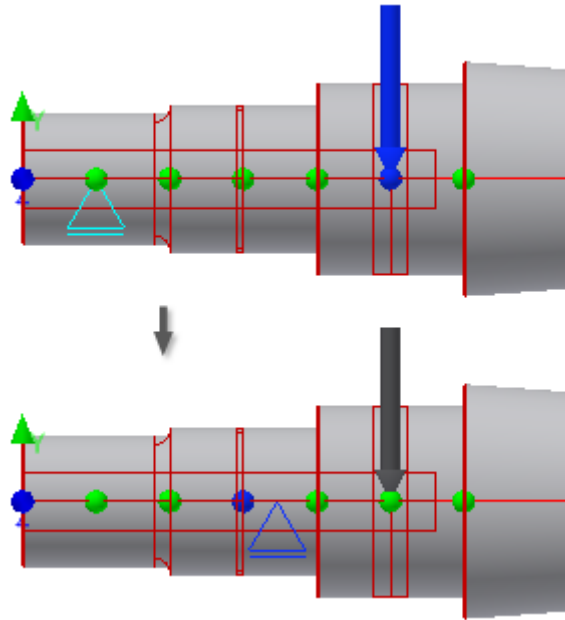


Рисунок 10.18. Перенос опоры

Ближайший синий маркер указывает на то, что в его направлении расположена опора.

Примечание: Если маркер расположен между двумя сечениями, одна его половина может быть синей, а другая - зеленой.

Дважды щелкните опору для открытия диалогового окна "Опора в свободном состоянии" и измените значение поля «Расстояние от середины сечения» на 1,5 мм, что является расстоянием от активного маркера положения до опоры. Нажмите кнопку "ОК".

Удерживая нажатой клавишу Alt, перетащите в окне предварительного просмотра индикатор второй опоры к сечению вала, расположенному на правом конце вала, как показано на рисунке (Рисунок 10.19).

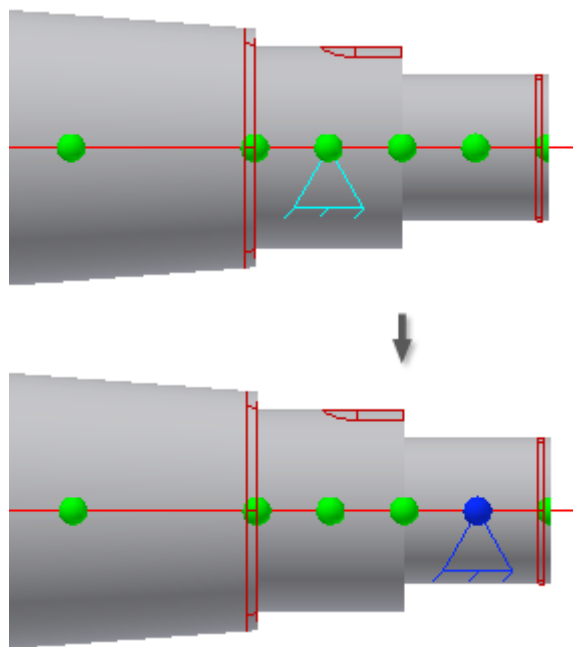


Рисунок 10.19. Перенос второй опоры

В раскрывающемся меню области «Нагрузки и опоры» выберите пункт «Нагрузки». Радиальная сила вставляется по умолчанию, но ее требуется изменить на крутящий момент.

В структуре дерева выберите «Радиальная сила» и щелкните стрелку, расположенную рядом со значком .

В появившемся списке выберите «Крутящий момент». Откроется диалоговое окно "Крутящий момент". Введите в поле Крутящий момент значение 200 Н м и нажмите кнопку ОК.

Для добавления второго крутящего момента нажмите на панели инструментов кнопку  Крутящий момент. В диалоговом окне "Крутящий момент" убедитесь в том, что в поле «Крутящий момент» указано значение –200 Н м, и нажмите кнопку "ОК".

Примечание: Сумма всех крутящих моментов должна быть равна 0.

Положение крутящих моментов можно изменить. В диалоговом окне предварительного просмотра перетащите стрелки крутящих моментов к сечениям вала, как показано на рисунке (Рисунок 10.20).

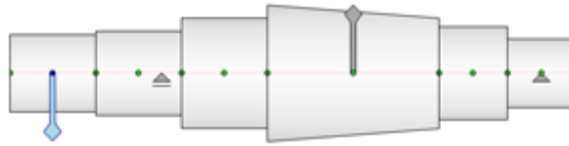


Рисунок 10.20. Редактирование крутящих моментов

Вызовите команду «Расчет». Для просмотра результатов расчета нагрузок, опор и других значений разверните область «Результаты» в правой части вкладки «Расчет».

Для просмотра диаграмм отдельных нагрузок на вал выберите вкладку «Графики».

Совет Щелкните значок  «Результат для отображения отчета в формате HTML».

Перед завершением создания вала перейдите на вкладку «Проект».

Выберите команду «Именованние файлов» , расположенную в правом верхнем углу диалогового окна.

Если установлен флажок «Всегда запрашивать имя файла», при размещении готового вала в графическом окне появится диалоговое окно "Именованние файлов". В этом диалоговом окне для компонентов и элементов Мастера проектирования можно задать отображаемое имя и имя файла. В данном упражнении этот флажок устанавливать не нужно.

Далее необходимо вставить готовый вал в сборку. В диалоговом окне генератора компонентов вала нажмите кнопку ОК. Щелкните в графическом окне для размещения вала (Рисунок 10.21).



Рисунок 10.21.. Готовый вал

Вал можно редактировать после вставки.

Выберите вал в браузере или графическом окне, щелкните правой кнопкой мыши и выберите команду  «Редактировать с помощью мастера проектирования».

Убедитесь в том, что вкладка «Проект», и выберите сечение конуса, как показано на рисунке (Рисунок 10.22).

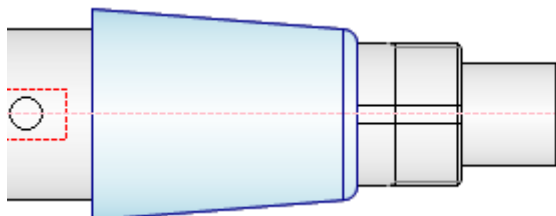


Рисунок 10.22. Пример редактирования конуса

Для отображения диалогового окна "Конус" дважды щелкните выбранное сечение конуса в области 2D просмотр.

Задайте в поле «Первый диаметр» значение 100 мм, а в поле «Длина сечения» — значение 90 мм. Для закрытия диалогового окна "Конус" нажмите кнопку ОК. В диалоговом окне генератора компонентов вала нажмите кнопку ОК. К валу будут применены внесенные изменения (Рисунок 10.23).



Рисунок 10.23. Результат редактирования конуса вала

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 В чем состоит задача редактирования вала?
- 2 Как добавить шейку вала в мастере проектирования?
- 3 Как добавить канавку в мастере проектирования?
- 4 Как выполнить коническую шейку вала в мастере проектирования?
- 1 Какие исходные данные необходимы для проектирования вала?
- 2 Как выполняется предварительный просмотр вала в процессе проектирования?
- 3 Каким образом выполняется проектирование вала в мастере проектирования?
- 4 Как отображаются нагрузки на вал в модели?
- 5 Как отображаются опоры вала в модели?
- 6 Как отображаются крутящие моменты, действующие на вал, в модели?
- 7 Как запустить расчет вала?

8 Каким образом учитывается материал вала в процессе расчета

Индивидуальное задание. Выполнить проектирование и расчет модели вала для кинематической схемы, разработанной в курсовом проекте (по согласованию с преподавателем).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: [1], [4].

11 Практическое занятие **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR**

Цель работы: ознакомление с работой «Генератора шлицевых соединений» в мастере проектирования Autodesk Inventor.

Теоретическая часть

Генератор шлицевых соединений Autodesk Inventor позволяет производить автоматизированный расчет подвижных и неподвижных соединений, а также построение модели прямобочного шлицевого соединения.

Расчетная часть генератора позволяет выполнять три типа расчетов:

- подбор диаметра вала;
- проектный расчет длины шлицевой части;
- проверочный расчет шлицевого соединения.

При этом в любом из вариантов расчета возможен выбор типа соединения, которые могут быть подвижными и неподвижными.

Генератор позволяет производить расчет и построение модели шлицевых соединений, выполненных как по международным стандартам (ISO), так и по национальным, в том числе и российским. При проектировании соединений в соответствии с группой стандартов ГОСТ используются данные и параметры из ГОСТ 1139-80 «Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски», в соответствии с которым могут быть реализованы соединения легкой, средней и тяжелой серий. Генератор осуществляет построение как канавок на валу, так и шлицевых отверстий в ступице по отдельности и вместе.

Проверочный расчет производится из условия прочности на смятие.

Методика автоматизированного расчета и построения прямобочных шлицевых соединений

Как уже было отмечено, генератор шлицевых соединений позволяет выполнять проектный и проверочный расчеты, и в общем виде алгоритм построения моделей шпоночных соединений в Autodesk Inventor выглядит следующим образом:

1. Подготовка модели к работе с генератором;
2. Запуск генератора шлицевых соединений;
3. Определение стандарта моделируемого соединения;
4. Определение геометрии для параметров размещения соединения;
5. Проведение расчета на прочность.

В случае как проектного, так и проверочного расчета длины соединения, 3 и 4 этапы имеют свои особенности.

Для примера рассмотрим процесс размещения подвижного соединения $D-8\ 36\times 42\ \frac{H7}{h7}\times 7\ \frac{F8}{f7}\ \text{ГОСТ 1139-80}$, представленного на рисунке 11.1, и его проверочного расчета, ввиду наличия особенностей расчета.

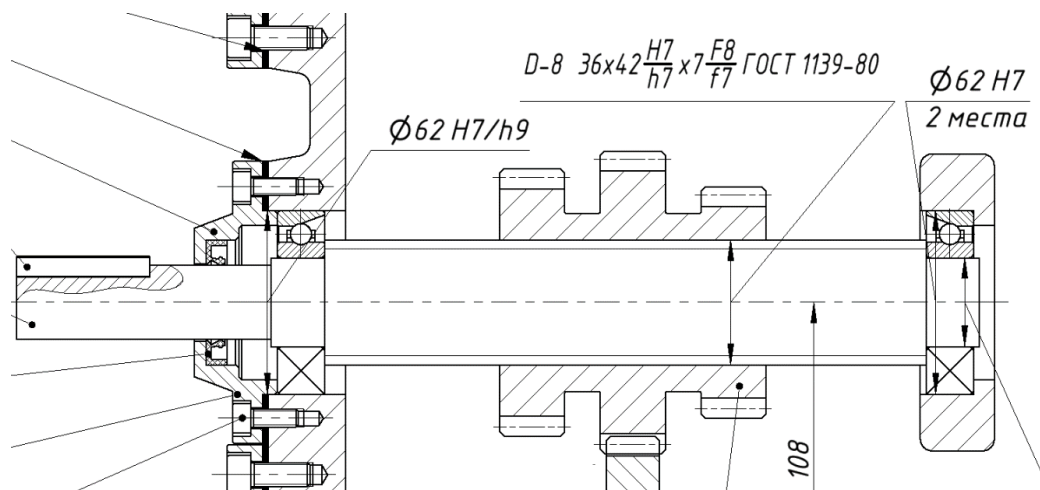


Рисунок 11.1. Проектируемое соединение

Так на начальном этапе, перед запуском генератора соединений в сборочной модели должны быть размещены две модели: вала и колеса (звездочки, шкива и т.д.). Важно отметить, что модель вала, как и модель колеса могут быть выполнены при помощи соответствующих генераторов, но перед использованием генератора сборочная модель должны быть со-

хранена хотя бы один раз.

При этом ступень вала, использование которой, планируется при построении соединения, должна иметь диаметр равный максимальному диаметру соединения, или превышать его, а модель колеса может не содержать гладкого отверстия в ступице, в связи с его моделированием в результате работы генератора.

Исходные модели для работы генератора показаны на рисунке 11.2.

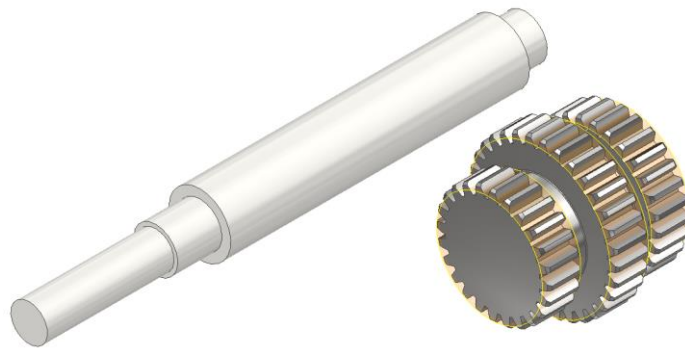


Рисунок 11.2. Пример размещенных моделей

После размещения моделей в сборке, необходимо создать сборочные зависимости, которые полностью определяли бы положение двух деталей друг относительно друга. В случае с подвижным соединением необходимо ограничить 5 степеней свободы, но с учетом необходимости демонстрации механизма в определенном положении или в крайних положениях необходимо ограничить все 6 степеней свободы. Для рассматриваемого примера это две зависимости совмещения (между осями деталей, и между торцами ступени и блока колес), а также угловая зависимость, определяющая поворот деталей относительно их базовых плоскостей (Рисунок 11.3).

Следует заметить, что возможно заменить угловую зависимость зависимостью совмещения плоскостей, но так как генератор зависимостей оперирует угловыми величинами при довороте соединения в модели, относительно базовых плоскостей детали целесообразнее использовать именно угловую зависимость для лишения 6-ой степени свободы. Это позволит устранить возможную неопределенность.

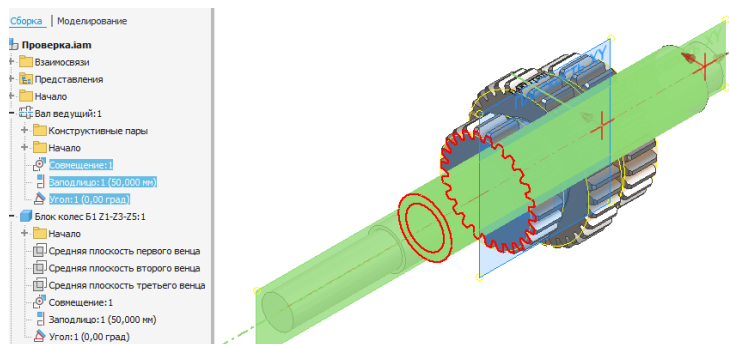


Рисунок 11.3. Сборочные зависимости

После определения положения деталей относительно друг друга, следует запуск генератора шлицевых соединений при помощи соответствующей иконки, во вкладке проектирование (Рисунок 11.4).

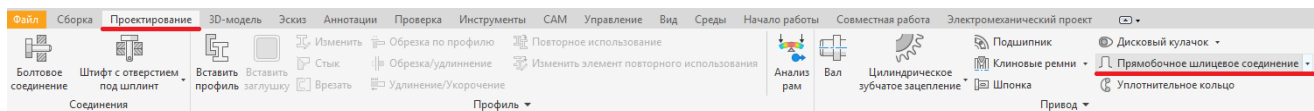


Рисунок 11.4. Запуск генератора шлицевых соединений

В результате активации команды перед пользователем появляется окно (Рисунок 11.5), состоящее из двух вкладок «Модель» и «Расчет», необходимых для размещения модели и ее проектного либо проверочного расчета.

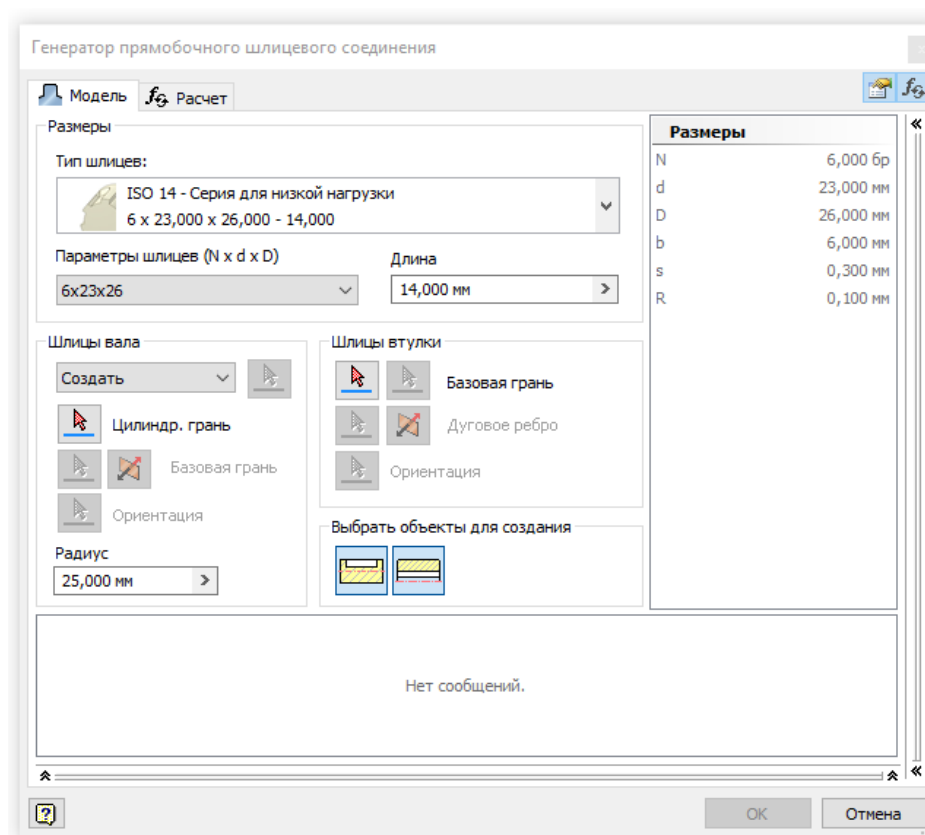


Рисунок 11.5. Генератор прямобочного шлицевого соединения

Первым этапом работы с генератором является выбор стандарта и серии при помощи соответствующего выпадающего списка, пример чего показан на рисунке 11.6. В случае использования генератора шлицевых соединений пользовательские библиотеки не задействуются, а, следовательно, отсутствует возможность отключения лишних стандартов через настройку проектов. Для уменьшения количество выводимых стандартов следует воспользоваться фильтром стандартов.

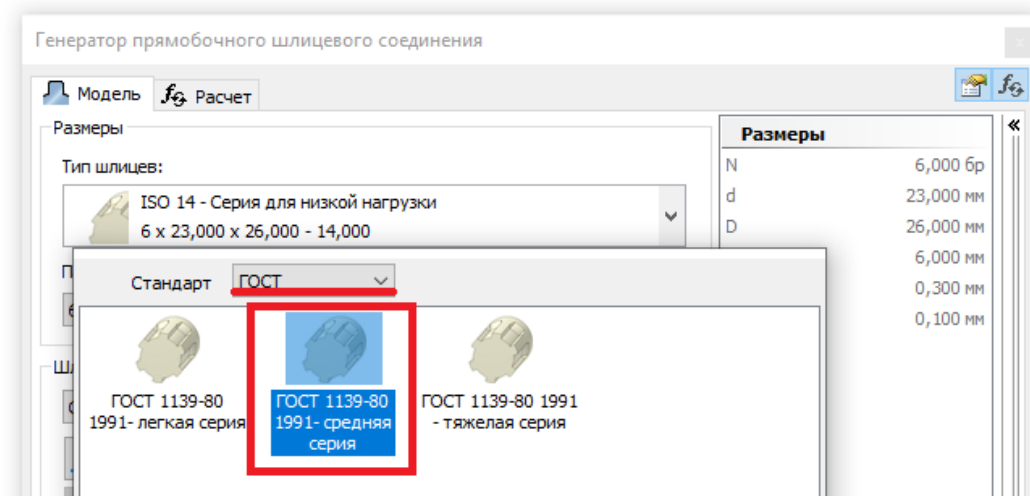


Рисунок 11.6. Выбор стандарта и серии

Следом за выбором стандарта следует размещение элементов соединения на моделях вала и колеса. Начинается работа с размещения канавок на валу, для этого необходимо указать цилиндрическую грань, торец, от которого будет производится отсчет длины и плоскость, относительно которой будет производиться поворот соединения. Элементы указываются последовательно, при этом если диаметр ступени равен максимальному диаметру соединения, то подбор его параметров осуществится автоматически, если он не соответствует одному из максимальных диаметров соединения, то будет показана предупреждение о наличии ошибки. В рассматриваемом случае диаметр ступени соответствует соединению равному $D = 42$. После указания цилиндрической грани и торца на модели вала появляются линии, показывающие контур будущих канавок, пример чего демонстрируется на рисунке 11.7. Плоскость совмещения определяется автоматически и по умолчанию совпадает с плоскостью XY.

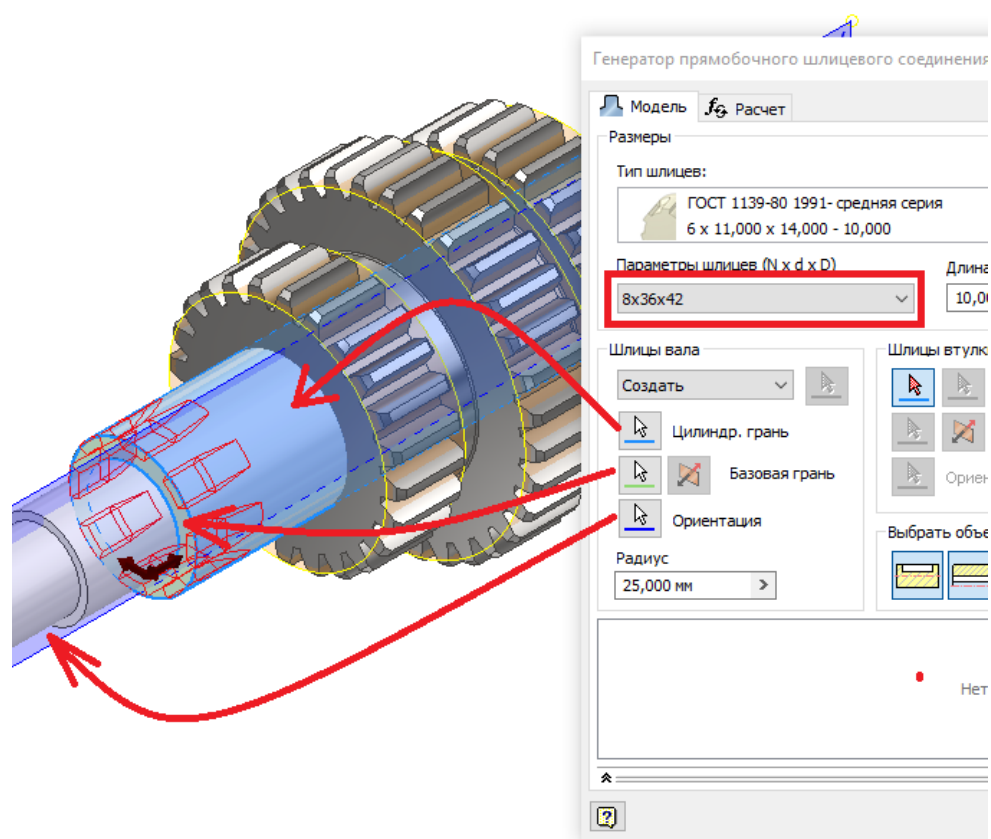


Рисунок 11.7. Фантомное изображение канавок

На данном этапе нет необходимости в указании длины соединения, так как в случае проектного расчета ее значение является искомой величиной, а в случае проверочного расчета, особенно при проектировании подвижных соединений необходимо учитывать особенности работы генератора продемонстрированные на расчетной схеме во вкладке расчет (Рисунок 11.8).

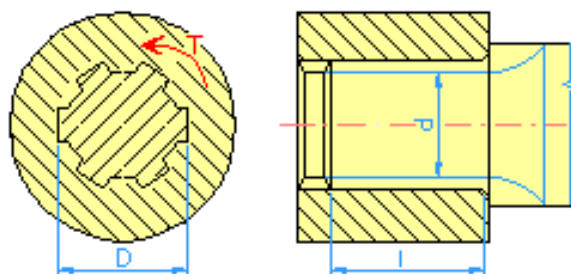


Рисунок 11.8. Используемая расчетная схема

Как видно из рисунка 11.8, при расчетах учитывается не длина соединения, а рабочая длина канавок на валу. Это может привести к ошибкам в расчетах, так как в подвижных соединениях длина канавок вала существенно превышает длину соединения, которая ограничивается длиной ступицы. В результате при проведении расчетов возникает необходимость получения данных проверки на прочность без построения модели.

Для этого после перехода во вкладку расчет необходимо выбрать тип расчета (в рассматриваемом случае «Проверочный»), и вид исходных данных в данном случае это возможность указания числа оборотов и крутящего момента, следует указать длину соединения самостоятельно. Для рассматриваемого соединения длина составляет 90 мм. Вид диалогового окна генератора с введенными исходными данными представлен на рисунке 11.9.

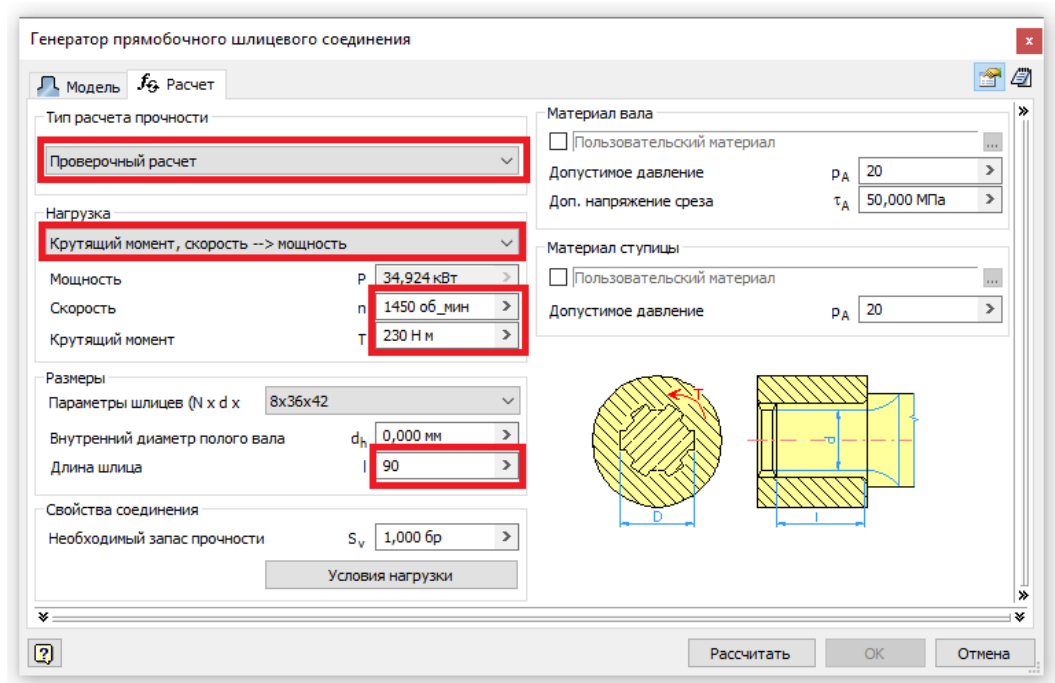


Рисунок 11.9. Ввод исходных данных

После ввода геометрических данных о соединении и передаваемой нагрузке, производится уточнение условий нагрузки в соответствующем меню. Для этого в области соединения необходимо активировать функцию

«Условия нагрузки» и в открывшемся окне определить тип соединения и коэффициенты участвующие в расчете. Пример настроек подвижного соединения показан на рисунке 11.10.

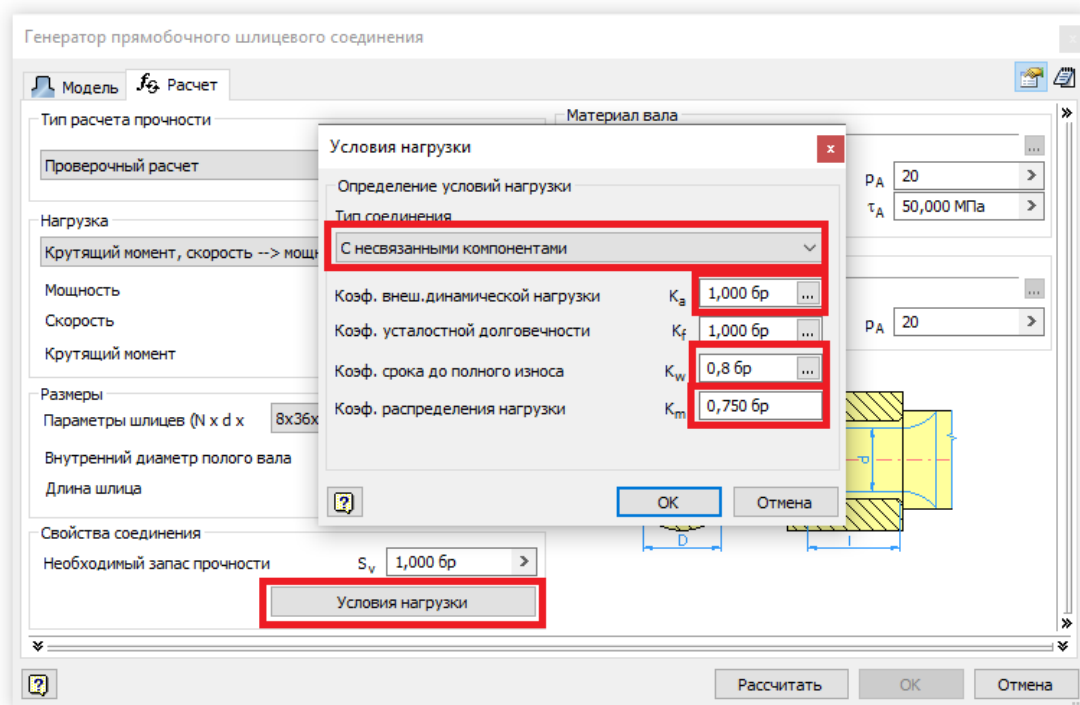


Рисунок 11.10. Определение условий нагрузки

Следует заметить, что большинство коэффициентов может быть введено вручную, в соответствии с опытом проектирования соединений и их эксплуатации, или же выбрано из таблиц, для доступа к которым необходимо нажать кнопку с троеточием, после чего указать необходимое значение в соответствии с рекомендациями (Рисунок 11.11).

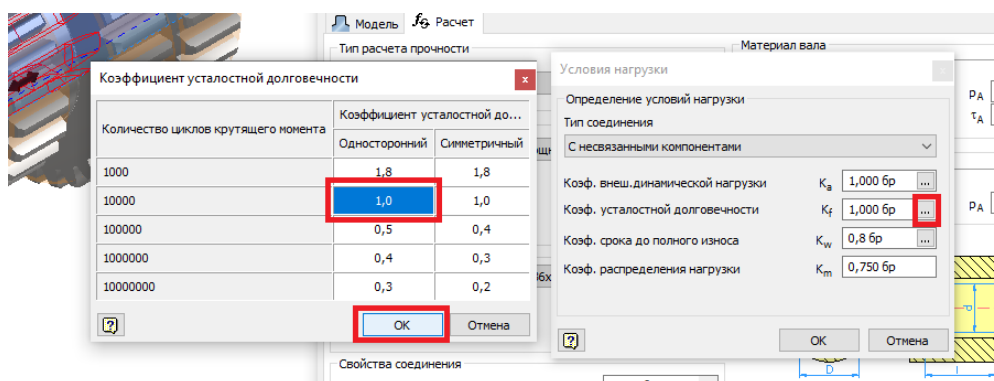


Рисунок 11.11. Табличный выбор значения коэффициента

Завершается определение условий нагрузки соединения нажатием кнопки «ОК».

Далее определяются характеристика материала, а именно допустимое давление (допустимое напряжение смятия). Аналогично коэффициентам значение допустимых напряжений могут быть введены вручную или выбраны из списка материалов.

За вводом всех необходимых данных следует нажатие кнопки «Рассчитать» и «Анализ результатов», расположенных в правой части диалогового окна (Рисунок 11.12).

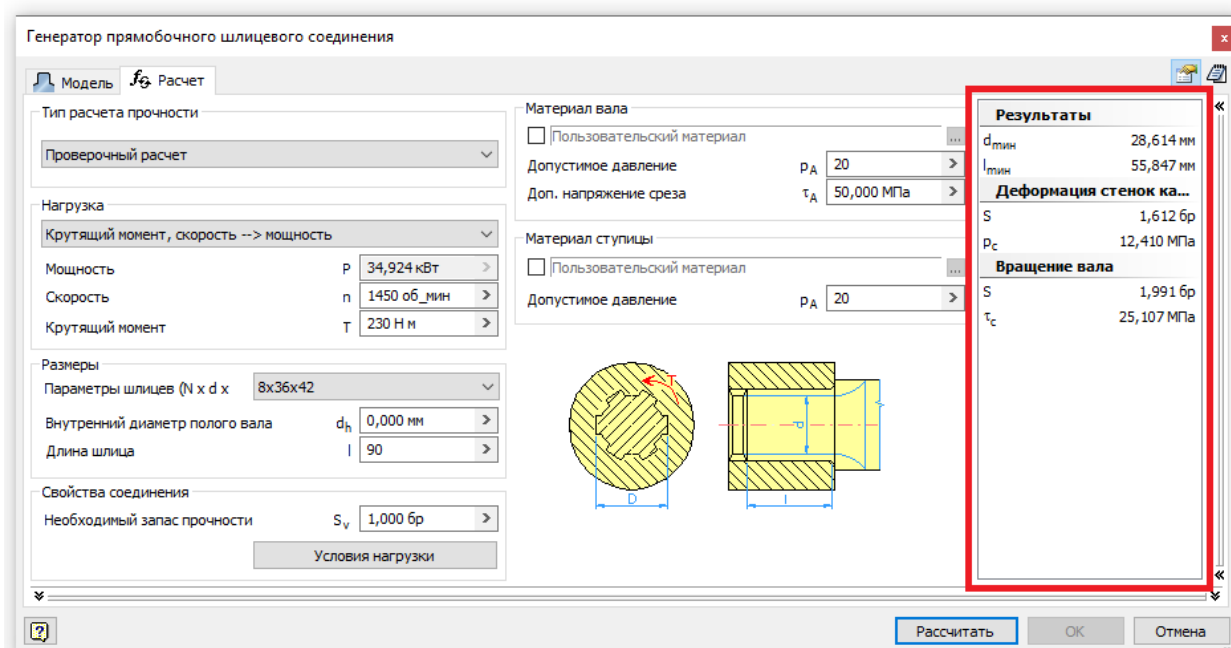


Рисунок 11.12. Результаты расчета

Данные полученные в результате расчета, следует сохранить в виде отчета, при помощи соответствующей функции, расположенной в верхнем правом углу окна. Сохранение данных о расчете необходимо в связи с изменением длины соединения после его выполнения и построении модели соединения, так как изменение длины приведет к уменьшению напряжения в модели.

После сохранения отчета производится окончательное определение параметров модели соединения и его построение, для этого в первую оче-

редь необходимо указать торцевые поверхности ступицы и ребро для отсчета отверстия в колесе. Для этого производится переход во вкладку модель и при помощи соответствующих элементов указываются необходимые поверхности, пример чего продемонстрирован на рисунке 11.13.

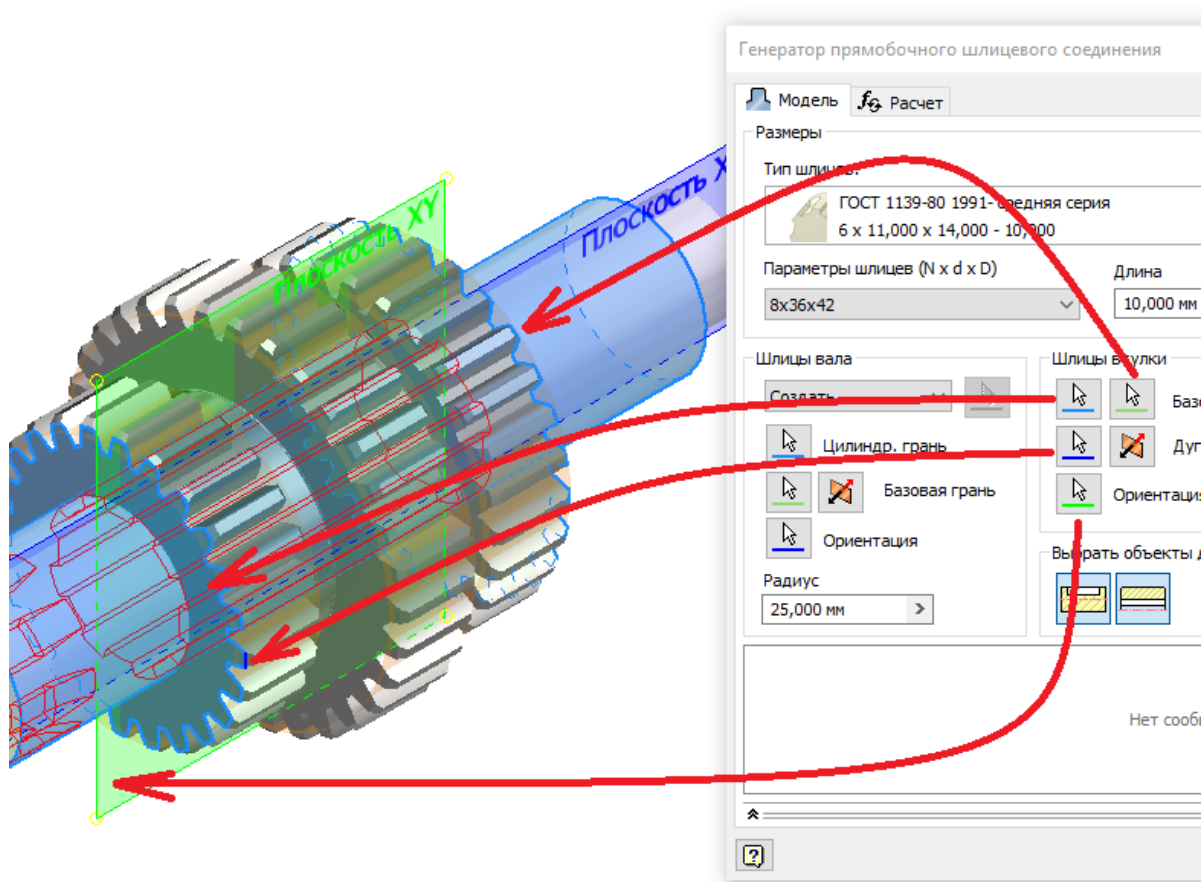


Рисунок 11.13. Определение элементов ступицы колеса

Следует заметить, что при выборе элементов ступицы ориентация отверстия отсчитывается от плоскости XZ, которая выбирается автоматически и для ее переопределения необходимо активировать соответствующий элемент и в дереве построения колеса указать необходимую плоскость (в рассматриваемом примере XY).

На последнем этапе построения соединения указывается полная длина канавок на вале, и угол его поворота.

Указание угла поворота необходимо для облегчения процесса оформления чертежа в зависимости от расположения секущей плоскости,

так при значении угла поворота, установленного по умолчанию в сечении по плоскости XY пользователь увидит минимальный размер соединения, и не сможет обозначить действительный размер максимального диаметра соединения (Рисунок 11.14), что является несколько неверным, и требует корректировки.

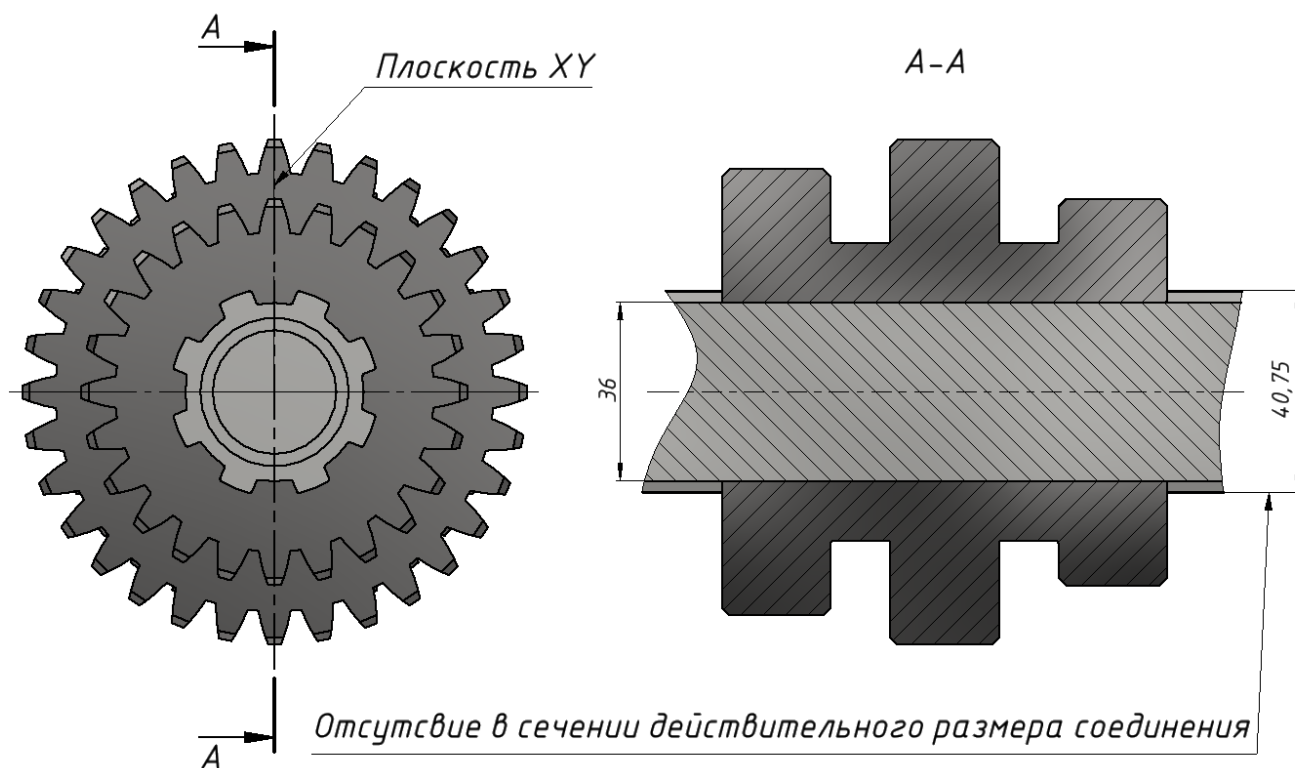


Рисунок 11.14. Поворот соединения по умолчанию

Для корректировки угла поворота соединения необходимо дважды нажать на соответствующую «ручку» в модели и ввести значение в зависимости от количества канавок, для 8 канавок угол составляет 22,5, пример чего продемонстрирован на рисунке 11.15.

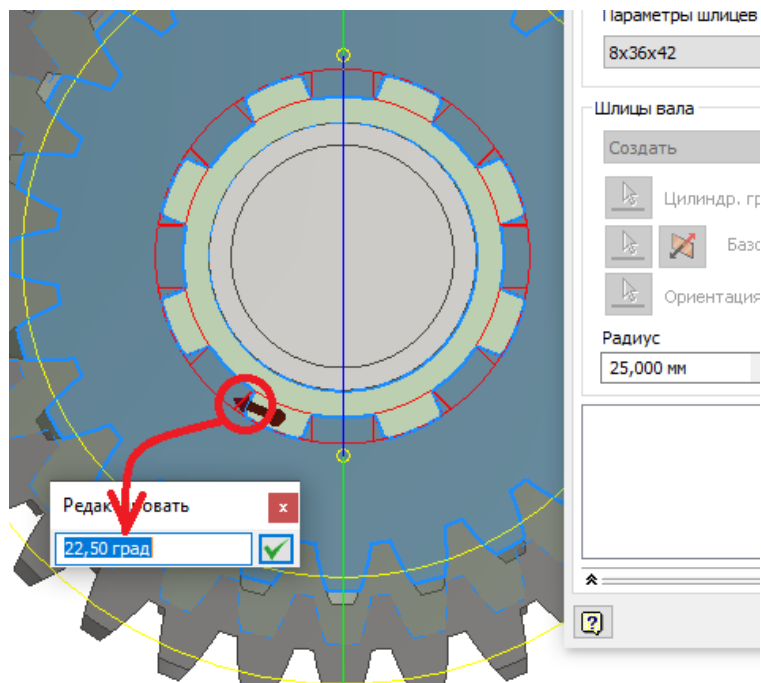


Рисунок 11.15. Указание угла поворота

В результате сечение по плоскости ХУ примет вид, показанный на рисунке 11.16, и позволит на чертеже отразить действительную величину максимального размера соединения и при помощи минимального вмешательства, достроить минимальный размер в соответствии с требованиями ГОСТ 2.409-74

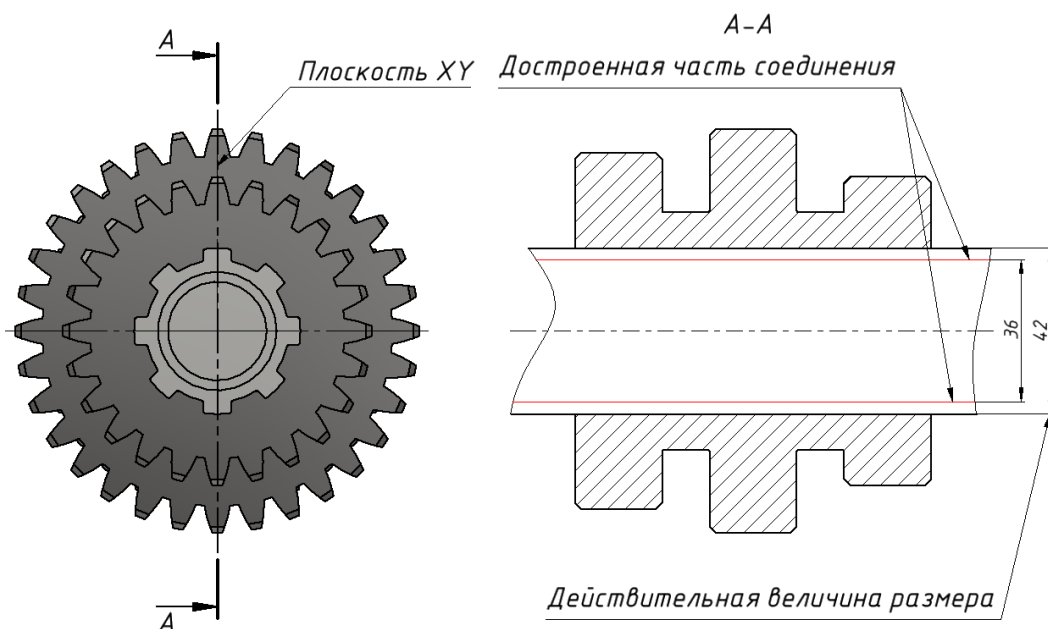


Рисунок 11.16. Сечение по плоскости ХУ

Данная особенность оказывает большое влияние при построении чертежей механизмов со сложным расположением валов, например, короб скоростей и подач станков.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 Какие исходные данные необходимы для начала проектирования шлицевого соединения?
- 2 Как учитывается тип шлицевого соединения: подвижное или неподвижное?
- 3 По какому критерию производится проверочный расчет шлицевого соединения?
- 4 Приведите пример условного обозначения шлицевого соединения?
- 5 С какой целью выполняется фантомное изображение канавок шлицов?
- 6 **Индивидуальное задание.** Выполнить проектирование и расчет шлицевого соединения для кинематической схемы, разработанной в курсовом проекте (по согласованию с преподавателем).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: [1], [2].

12 Практическое занятие **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR**

Цель работы: ознакомление с работой «Генератора шпоночных соединений» в мастере проектирования Autodesk Inventor.

Теоретическая часть

Генератор шпоночных соединений Autodesk Inventor позволяет производить автоматизированный расчет подвижных и неподвижных соединений, а также построение модели соединения с призматическими шпонками.

Расчетная часть генератора позволяет выполнять два типа расчетов:

- проектный расчет длины шпонки;
- проверочный расчет шпоночного соединения.

При этом в любом из вариантов расчета возможен выбор типа соединения, которые могут быть подвижными и неподвижными, кроме того существует возможность проведения упрощенного расчета.

При упрощенном варианте расчета размеры соприкасаемых поверхностей не рассчитываются, а принимаются равными половине высоты шпонки.

В моделирующей части генератора возможно выполнение построения шпоночного паза на валу, вставка в паз шпонки и построение канавки в ступице компонента. При этом возможно как построение всего комплекта элементов, так и отдельных, например только шпоночного паза на валу.

Работа генератора шпоночных соединений связана с моделями шпонок из библиотеки стандартных компонентов Autodesk Inventor, и по умолчанию поддерживает как международные стандарты (ISO, DIN, ANSI), так и российские стандарты группы ГОСТ.

В базовой поставке системы доступно небольшое количество стандартов для шпонок, а именно: ГОСТ 10748-79; ГОСТ 23360-78; ГОСТ 29175-91; ГОСТ Р 50536-93. Однако открытость системы позволяет пользователям самостоятельно создавать собственные библиотечные элементы и интегрировать их с модулем генератора шпоночных соединений, например, ГОСТ 8790-79 «Соединения шпоночные с призматическими направляющими шпонками с креплением на валу».

В результате добавления собственных библиотечных элементов возможности генератора могут быть существенно расширены и использоваться при проектировании коробок скоростей и подач металлорежущих станков и многих иных сферах.

В общем виде алгоритм построения моделей шпоночных соединений в Autodesk Inventor выглядит следующим образом:

1. Подготовка модели к работе с генератором.
2. Запуск генератора шпоночных соединений.
3. Определение стандарта проектируемой шпонки.
4. Определение геометрии для размещения шпонки.
5. Проведение расчета на прочность.

В случае проектного расчета длины шпонки, 3 и 4 этапы совмещаются.

Рассмотрим процесс размещения шпоночного соединения и его проектного расчета.

До начала создания шпоночного соединения при помощи генератора, как и при работе с любым другим генератором, необходимо чтобы файл сборочной модели был хотя бы один раз сохранен в процессе работы, а также были размещены соединяемые детали, как показано на рисунке 12.1.

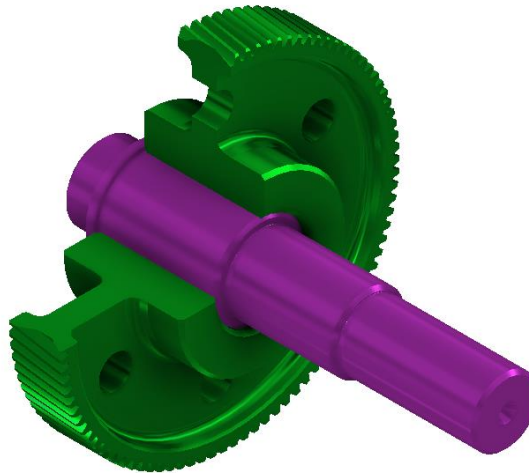


Рисунок 12.1. Состояние деталей перед созданием соединения

Размещая соединяемые детали в сборке необходимо создавать между ними сборочные зависимости таким образом, чтобы относительно друг друга положение деталей было полностью определено, а базовые плоскости систем координат совпадали, например, для показанных вала с зубчатым колесом данная рекомендация реализована при совмещении плоскостей YZ вала и XZ колеса, как представлено на рисунке 12.2.

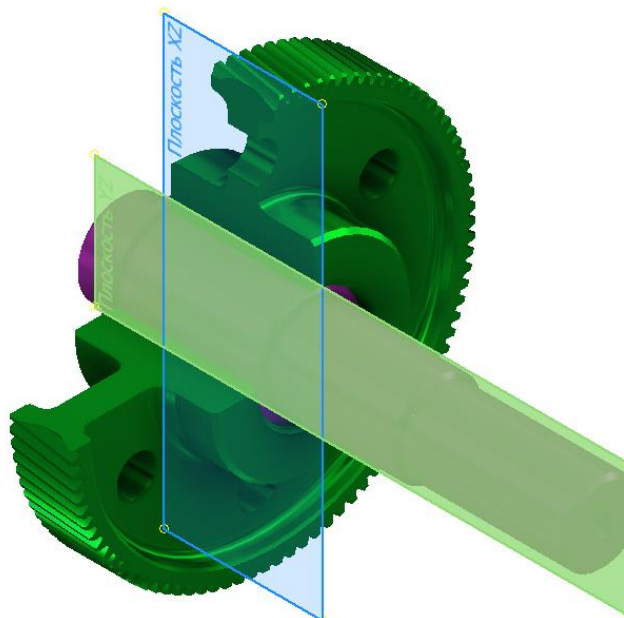


Рисунок 12.2. Совмещение базовых плоскостей

Указанная рекомендация вызвана особенностями позиционирования соединения, и упрощением последующей работой со сборкой (поворотами детали, созданием анимации и т.д.).

Далее запускается генератор шпоночного соединения при помощи команды «Шпонка» расположенной во вкладке «Проектирование» (Рисунок 12.3).

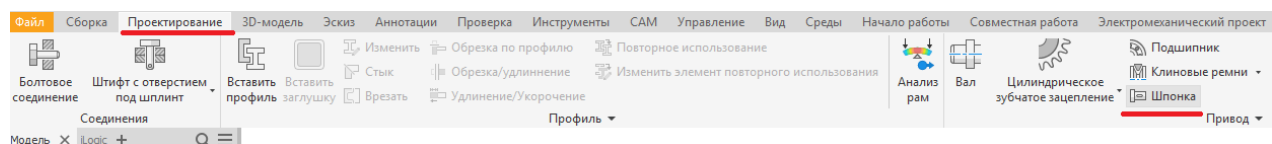


Рисунок 12.3. Запуск генератора шпоночных соединений

В результате активации команды перед пользователем появляется окно (Рисунок 12.4), состоящее из двух вкладок «Модель» и «Расчет», необходимых для размещения модели и ее прочностной проверки соответственно.

Как было отмечено, работа с генератором начинается с выбора стандарта шпонки, используемой в соединении для этого необходимо раскрыть выпадающий список в области «Шпонка», после чего выбрать необходимое исполнение (Рисунок 12.5).

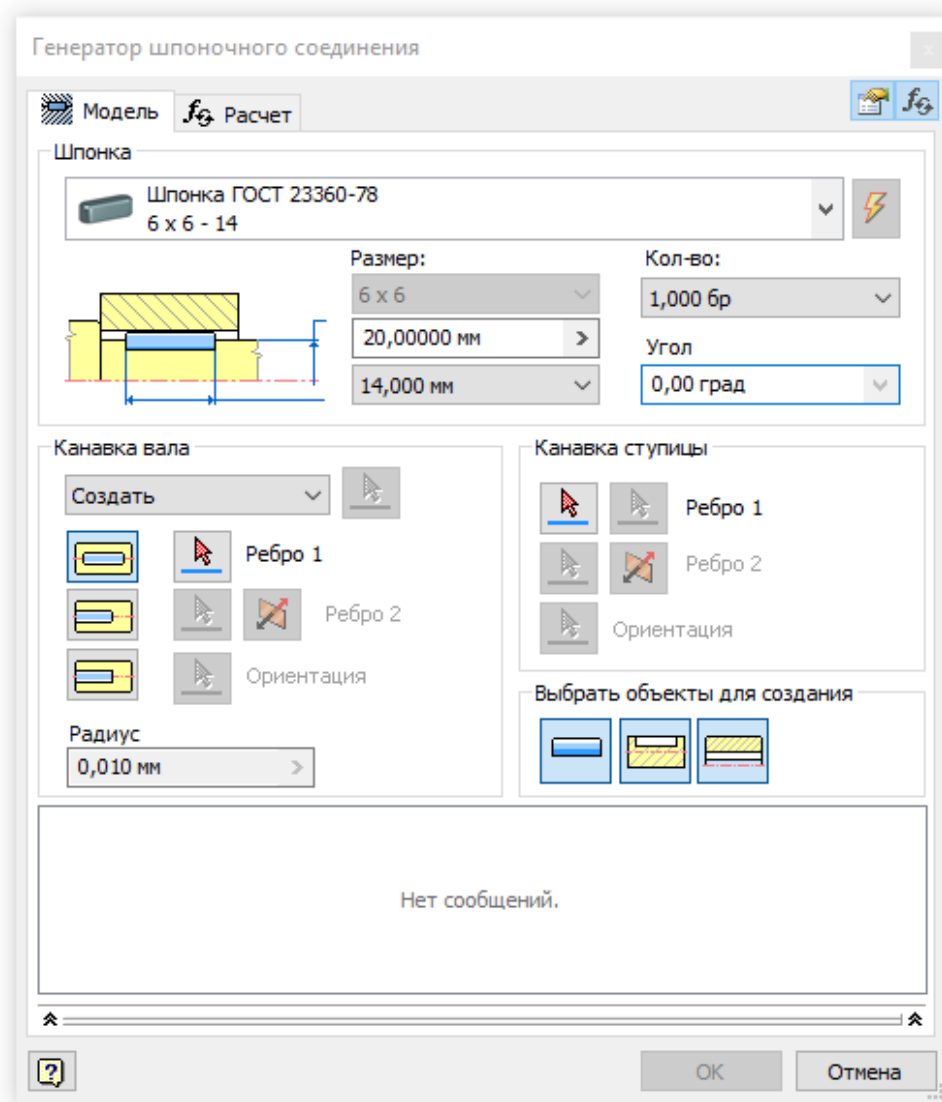


Рисунок 12.4. Генератор шпоночных соединений

Стоит отметить, что скорость выбора связана с подключенными к проекту библиотеками, и при подключении всех имеющихся библиотек занимает достаточно длительное время. При этом существует возможность фильтрации групп стандартов.

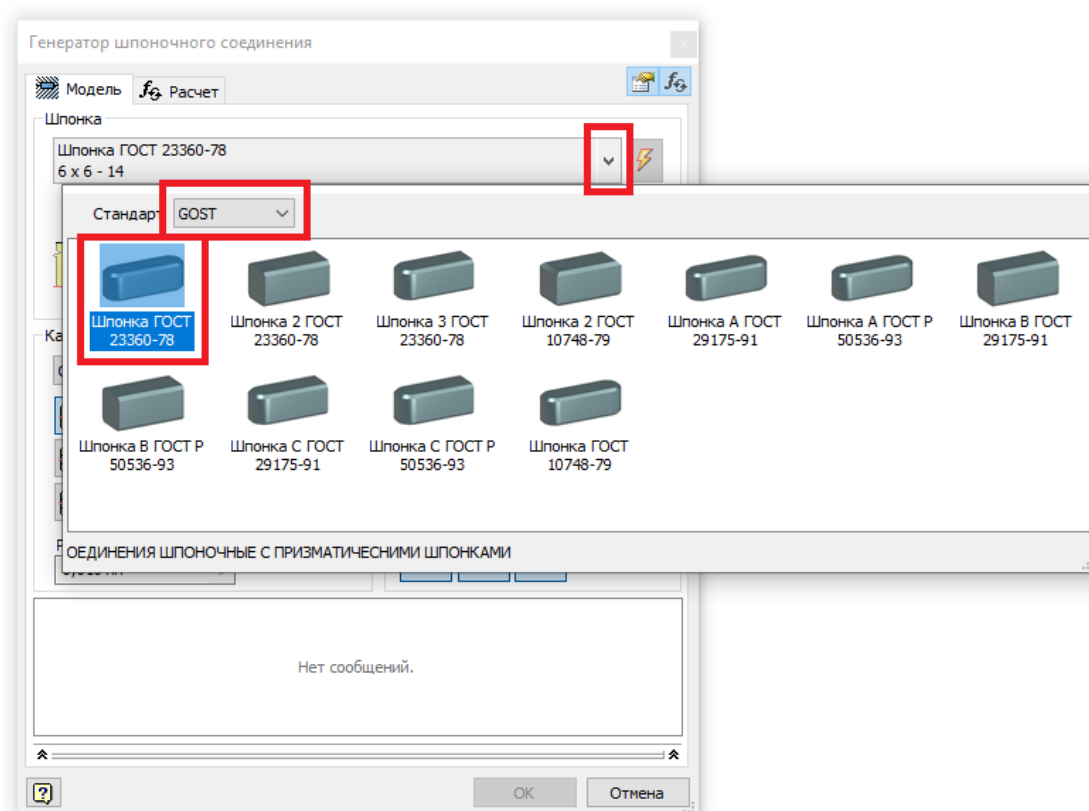


Рисунок 12.5. Выбор стандарта и исполнения

Выбор конкретного исполнения осуществляется нажатием левой кнопки мыши на требуемом элементе.

За выбором исполнения следует процедура размещения, которая при известных характеристиках шпонки проводится сразу, а при проектном расчете только частично. В рассматриваемом примере производится создание соединения с проектным расчетом. В этом случае на начальном этапе необходимо указать цилиндрическую и торцевую поверхность вала (Рисунок 12.6). Плоскость ориентации вида выбирается автоматически и в случае необходимости ее изменения требуется активировать соответствующий элемент, после чего в браузере раскрыть папку «Начало» модели вала и нажатием левой клавиши мыши выбрать требуемую.

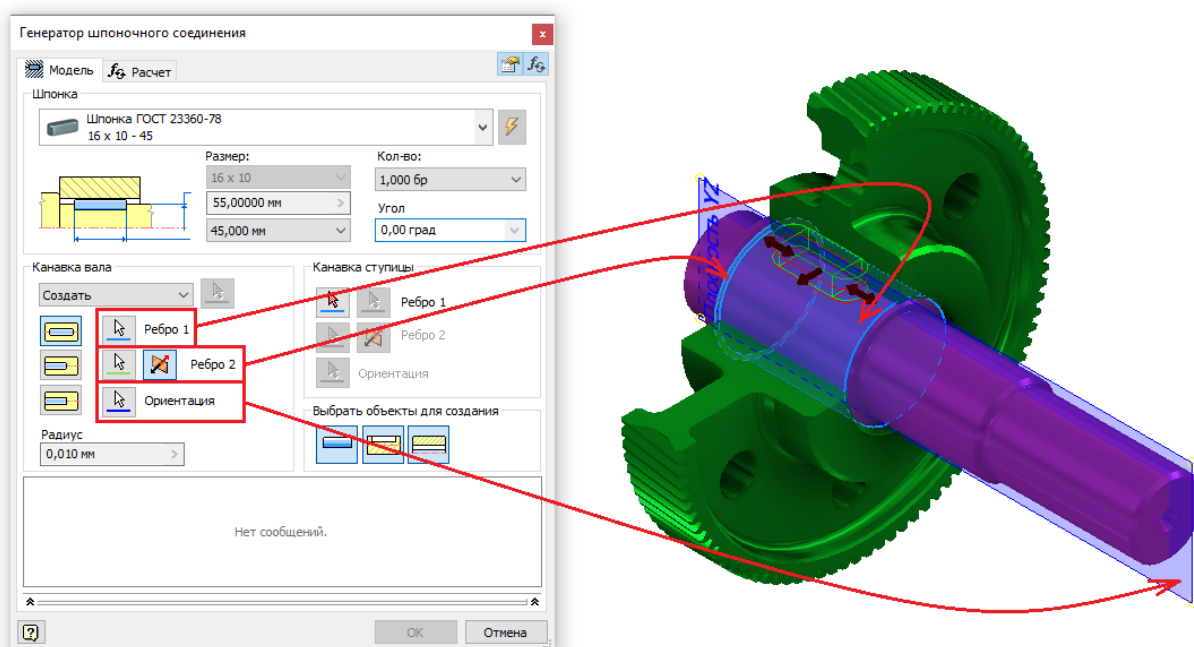


Рисунок 12.6. Указание элементов

Следует заметить, что сразу после выбора цилиндрической поверхности производится определение поперечных размеров шпонки. Для определения длины шпонки и ее окончательного размещения на ступени необходимо перейти к вкладке расчет (Рисунок 12.7). В открывшей вкладке необходимо выбрать тип расчета и способ ввода исходных данных. В рассматриваемом случае тип расчета «Проектирование длины шпонки» без упрощения, а исходными данными являются скорость вращения и крутящий момент.

Следом за выбором варианта исходных данных произвести их ввод. Для рассматриваемого примера количество оборотов составляет 118 об/мин, крутящий момент 275 Нм.

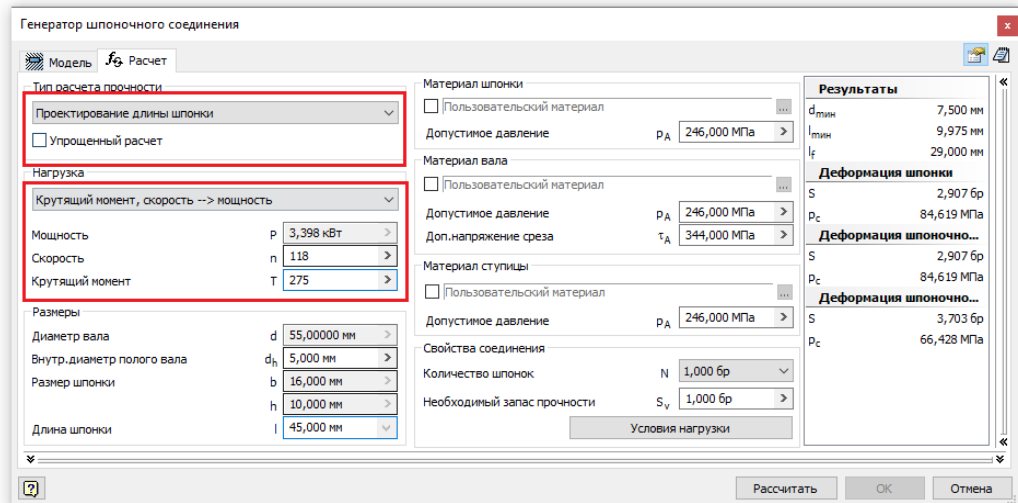


Рисунок 12.7. Вкладка расчет

При проектном расчете длины пользователь может задавать только диаметр осевого отверстия в валу, если такой имеется. В данном случае 0.

После ввода исходных данных производится определение допускаемых напряжений. Данное действие можно произвести двумя способами, выбрать из имеющейся базы материалов или ввести вручную.

Для ручного ввода следует изменить значения допускаемого давления ρ_A (напряжения смятия $[\sigma_{cm}]$) в соответствующих ячейках, а для выбора из библиотеки активировать материал и при помощи кнопки с троеточием открыть окно выбора (Рисунок 12.8).

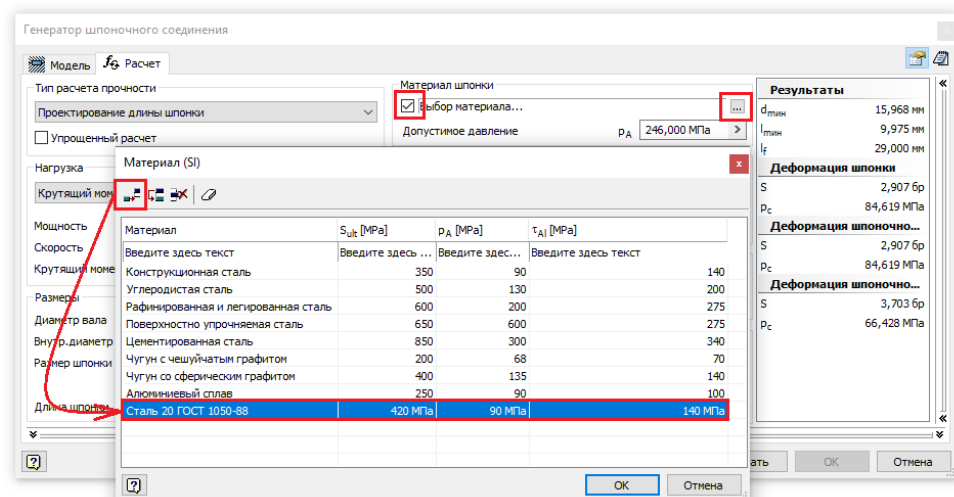


Рисунок 12.8. Выбор материала из библиотеки

Изначально база содержит достаточно малое количество материалов, но при этом в ней имеется возможность добавления собственных. Для этого необходимо активировать функцию создания нового материала и заполнить требуемые данные в появившейся строке. Возможно, как создание нового материала, так и создание нового материала на основе существующего.

За вводом данных о материалах элементов соединения следует выбор коэффициентов, определяющих условия работы соединения. Для этого пользователь может ввести запас прочности в данном случае равный 1 и при помощи кнопки «Условия нагрузки» открыть окно выбора коэффициентов (Рисунок 12.9).

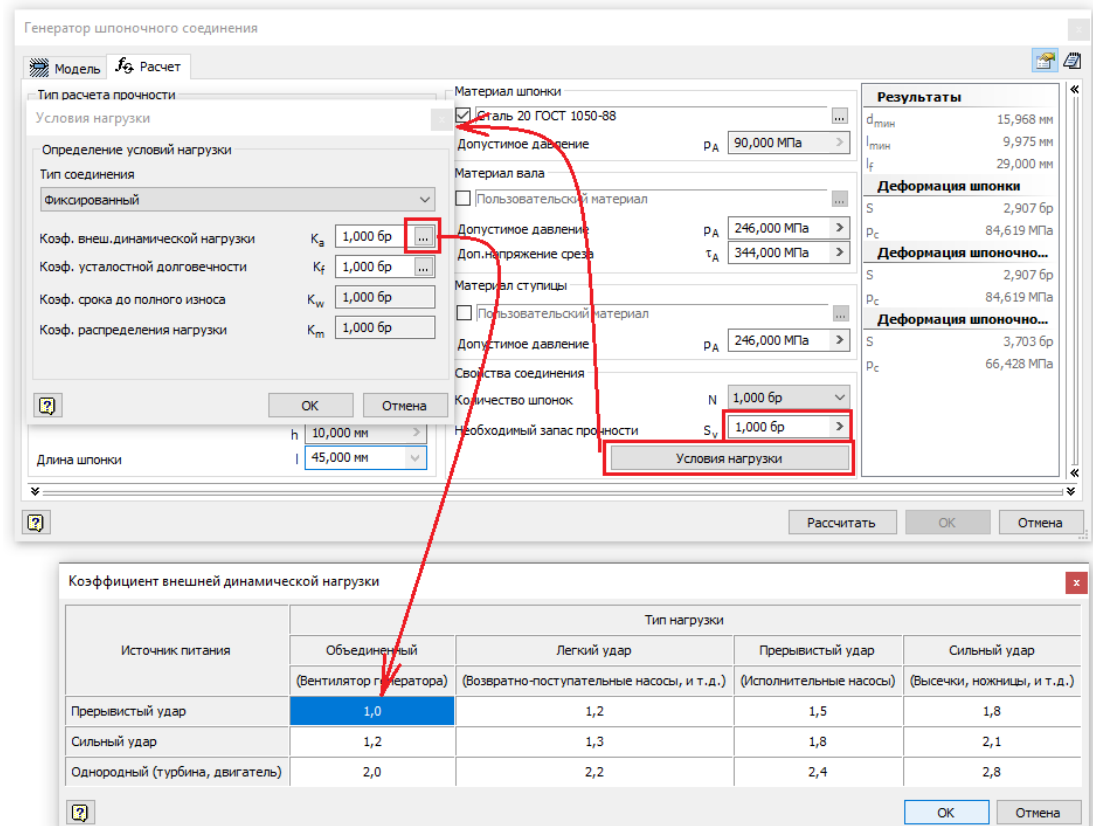


Рисунок 12.9. Окно условий нагрузки

Выбор нагрузок является заключительным этапом ввода исходных данных, после которого производится расчет, для выполнения которого необходимо активировать одноименную команду.

Результаты расчета отображаются в правой стороне окна, а появляющиеся проблемы в расчетах в нижней части окна, пример чего продемонстрирован на рисунке 12.10.

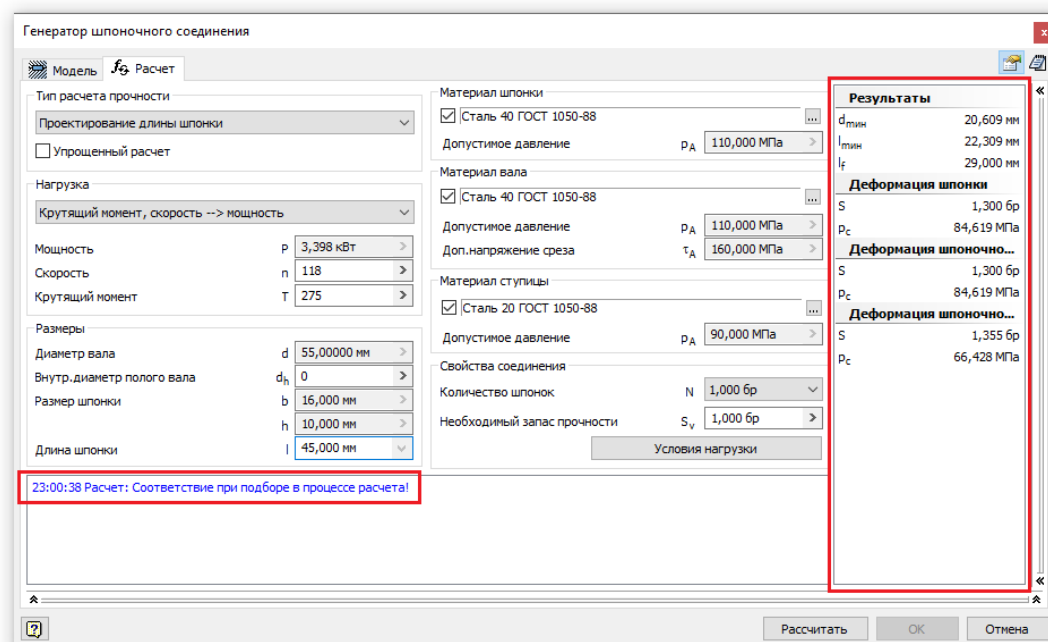


Рисунок 12.10. Результаты расчета

В случае положительного результата расчета выполняется окончательное определение положения соединения, в случае отрицательного - необходимо изменить исходные данные, например, изменить количество шпонок.

Для окончательного определения положения соединения необходимо вернуться к вкладке «Модель», и продолжить работу с определения положения канавки шпоночного паза в ступице, как показано на рисунке 12.11.

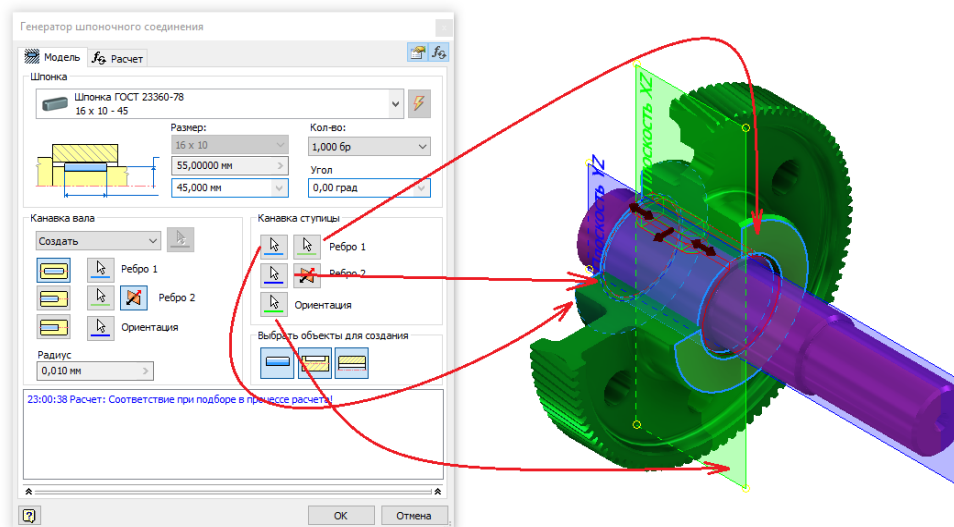


Рисунок 12.11. Определение канавки в ступице

При определении плоскости ориентации канавки следует действовать по аналогии с валом, при определении дугового ребра следует стремиться к тому чтобы оно располагалось с той же стороны, что и торцевая поверхность вала, так как данное действие обеспечивает наиболее простой отсчет расстояния.

Как только элементы размещения определены, пользователь может задать смещение паза от торцевой поверхности вала, его поворот и изменить длину шпонки. Выполняется данное действие при помощи управляющих ручек (Рисунок 12.12).

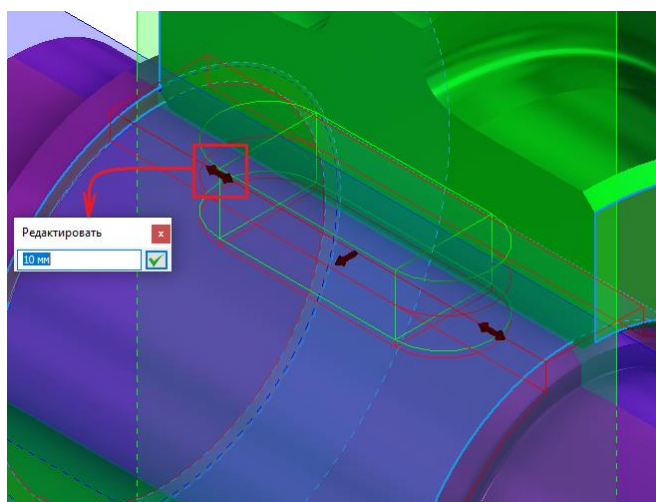


Рисунок 12.12. Изменение положения при помощи ручек

По завершению расчета нажимается кнопка «Ок» и системой производится построение соединения в модели, пример которого представлен на рисунке 12.13, и его отображение в браузере сборки.

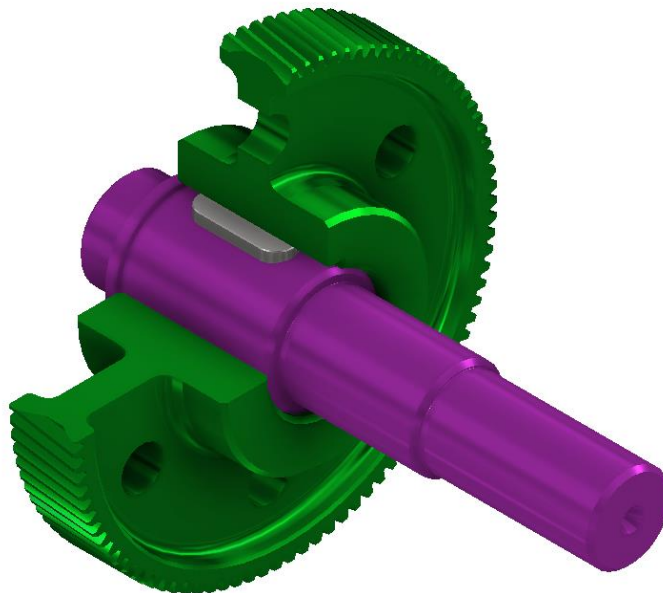


Рисунок 12.13. Пример созданного соединения

В случае необходимости внесения каких-либо изменений в шпоночное соединение в браузере либо модели выделить требуемое соединение, вызвать контекстное меню и активировать пункт «Редактировать при помощи мастера проектирования». Данное действие приведет к повторному появлению окна генератора, и возможности внесения изменений, например, изменению длины шпонки. Удаление соединения требуется проводить также при помощи контекстного меню, так как в противном случае пазы в моделях вала и ступицы будут сохранены, и их удаление потребует перехода к редактированию модели.

Кроме создания соединения пользователь имеет возможность сохранения результатов расчета в отчете. Для этого необходимо перейти во вкладку «Расчет» и активировать команду «Отчет» (Рисунок 12.14).

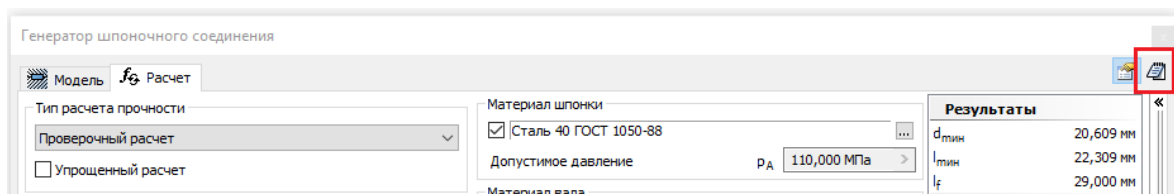


Рисунок 12.14. Создание отчета

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 Какие исходные данные необходимы для начала проектирования шпоночного соединения?
- 2 Какие два типа расчетов выполняет генератор шпоночных соединений?
- 3 Чем отличается проектный расчет шпоночного соединения от проверочного?
- 4 Приведите пример условного обозначения шпоночного соединения?
- 5 Как выглядит алгоритм построения моделей шпоночных соединений в Autodesk Inventor?
- 6 **Индивидуальное задание.** Выполнить проектирование и расчет шпоночного соединения для кинематической схемы, разработанной в курсовом проекте (по согласованию с преподавателем).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: [1], [2].

13 Практическое занятие **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR**

Цель работы: изучение методики автоматизированного построения резьбовых соединений, используемых при проектировании механизмов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При проектировании станочных и контрольных приспособлений повсеместно возникает необходимость соединения различных деталей между собой, например, установочных призм с основанием, или каких-либо кронштейнов с основанием. Одним из типов соединения деталей между собой, получившим наибольшее распространение в машиностроении, являются резьбовые.

Несмотря на достаточную простоту расчета резьбовых соединений их большое количество приводит к значительным временным затратам при проектировании приспособлений, в связи с чем автоматизация данного процесса является актуальной задачей.

В настоящее время большинство систем автоматизированного проектирования обладают специальными модулями для автоматизации данного процесса. В среде Autodesk Inventor для проектирования этого типа соединений существует генератор болтовых соединений, который позволяет выполнять расчет и построение моделей соединений сжатия.

Начало работы с модулем осуществляется при помощи группы команд, собранных в панель инструментов «Соединения» во вкладке «Проектирование». Расположение панели инструментов представлено на рисунке 13.1.

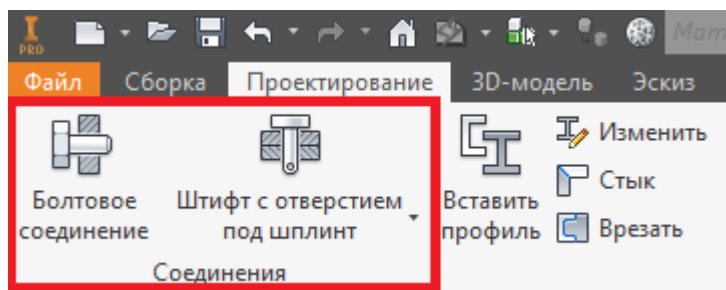


Рисунок 13.1. Панель инструментов «Соединения»

Генератор болтовых соединений позволяет выполнять как создание моделей резьбовых соединений, так и их расчет.

Важно отметить необходимость сохранения сборочной модели перед началом работы с любыми генераторами компонентов. После сохранения сборочной модели и активации одного из вариантов команд, в рассматриваемом случае – варианта «Болтовое соединение», перед конструктором открывается окно «Генератор компонентов болтового соединения», внешний вид которого представлен на рисунке 13.2.

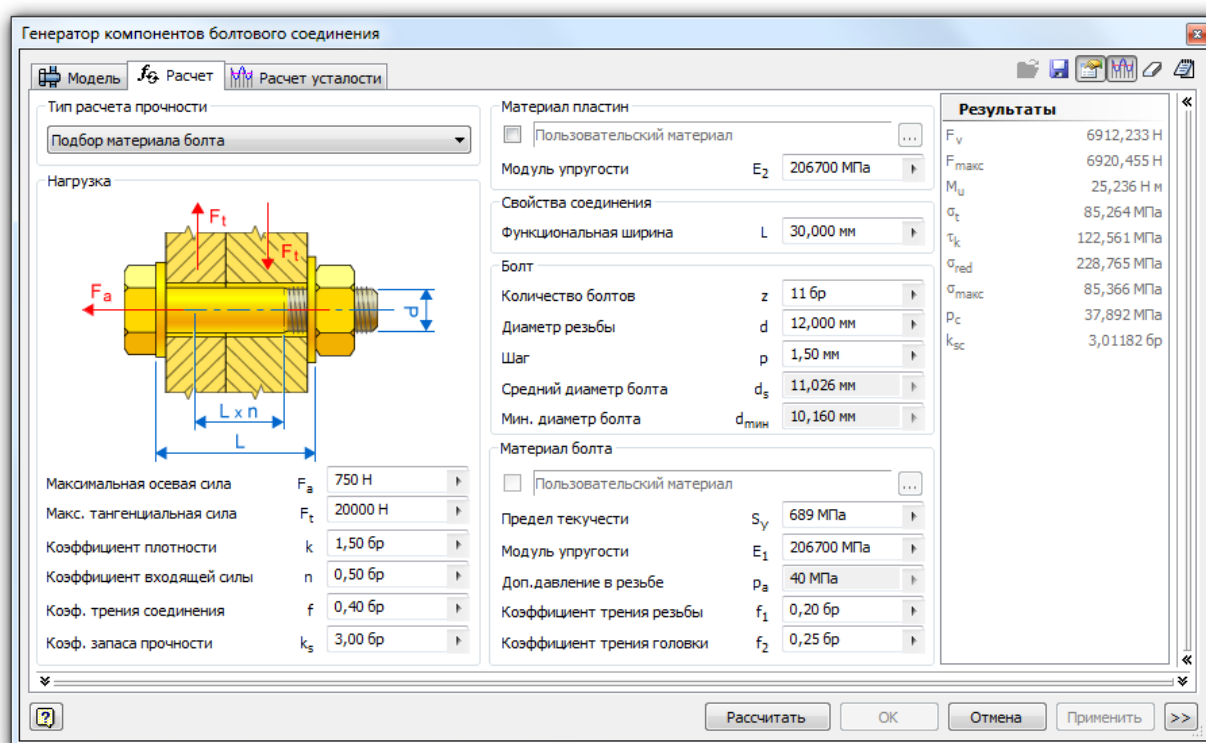


Рисунок 13.2. Генератор компонентов болтового соединения

Представленное окно состоит из трех вкладок: вкладки «Модель», позволяющей производить выбор компонентов болтового соединения и их размещение в модели; вкладки «Расчет», позволяющей выполнять проектные и проверочные статические расчеты; вкладки «Расчет усталости», позволяющей проводить расчет усталостной прочности болтового соединения с учетом динамических нагрузок.

Первым этапом работы с болтовыми соединениями является построение модели. Так начальным действием при этом является переход во вкладку «Модель» и выбор способа размещения болтового соединения, пример чего показан на рисунке 13.3.

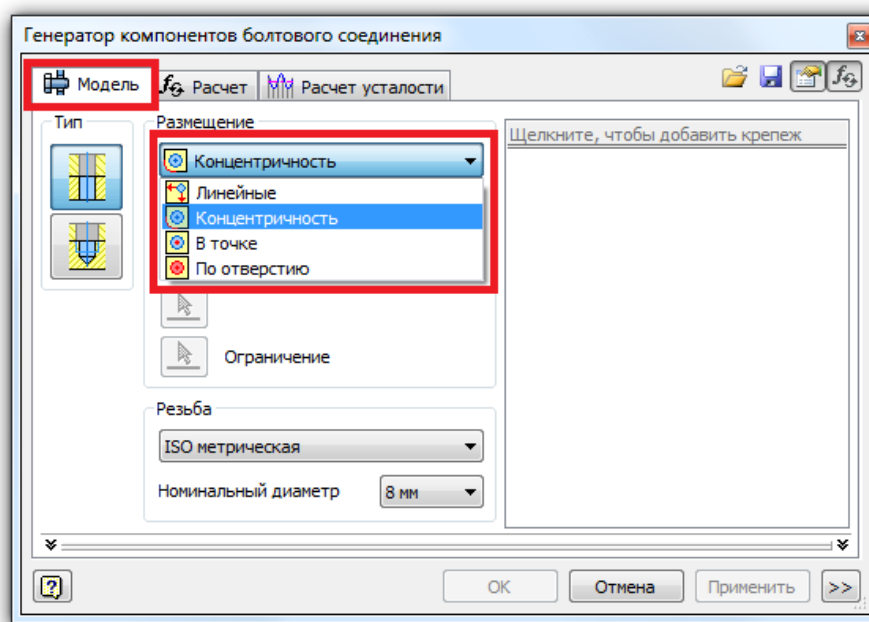


Рисунок 13.3. Выбор способа размещения модели

В среде Autodesk Inventor существует четыре способа размещения резьбовых соединений: «Линейный» – способ, при котором размещение производится относительно двух прямолинейных ребер; «Концентричность» – способ, при котором все элементы соединения размещаются концентрично ребрам в виде дуг или окружностей, либо дуговым или цилиндрическим.

дрическим граням [1]; «В точке» – способ, позволяющий указывать место вставки соединения при помощи рабочей геометрии, или же точек в эскизе; «По отверстию» – способ, определяющий положение соединения в соответствии с отверстиями одной из деталей выполненными при помощи одноименной команды [2, 4].

При проектировании приспособлений наибольшее распространение получили способы размещения «Концентричность» и «По отверстию», связано это с тем, что, как правило, хотя бы в одной из соединяемых деталей отверстия смоделированы заранее, а во второй их предстоит смоделировать в процессе работы с генератором. Примером данного утверждения может служить процесс размещения установочной призмы на стандартной плите, иллюстрация чего показана на рисунке 13.4.

Выбор же конкретного способа размещения зависит от метода моделирования отверстия в детали: в случае моделирования при помощи одной из кинематических операций (выдавливание, вращение и т.д.) принимается способ «Концентричность»; в случае моделирования с помощью функции «Отверстие» принимается «По отверстию».

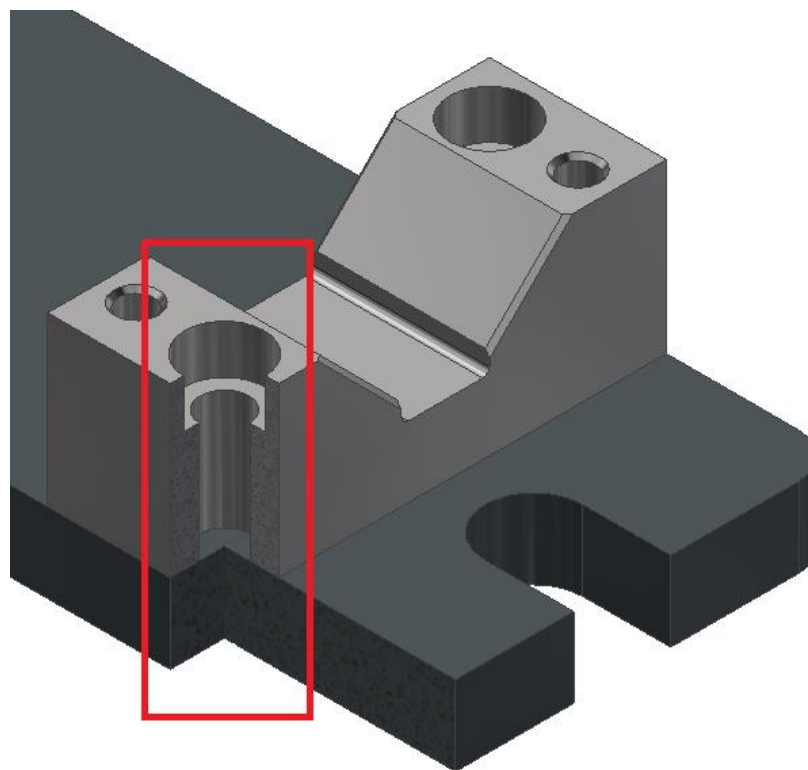


Рисунок 13.4. Состояние деталей перед созданием соединения

Так как отверстие в представленной призме было получено при помощи одноименной команды, дальнейшее рассмотрение будет вестись относительно способа «По отверстию».

Следующим этапом является выбор типа отверстия (Сквозное или глухое) и задание геометрических ограничений, набор которых свой для каждого из способов размещения. Для выбранного варианта набор условий примет вид: «Начальная плоскость»; «Имеющееся отверстие»; «Ограничение» (В случае сквозного отверстия – плоскость завершения отверстия; в случае глухого – плоскость начала отверстия). Выбор ограничений осуществляется при помощи указателя курсора непосредственным выбором элементов модели. Иллюстрация выбранного набора ограничений продемонстрирована на рисунке 13.5.

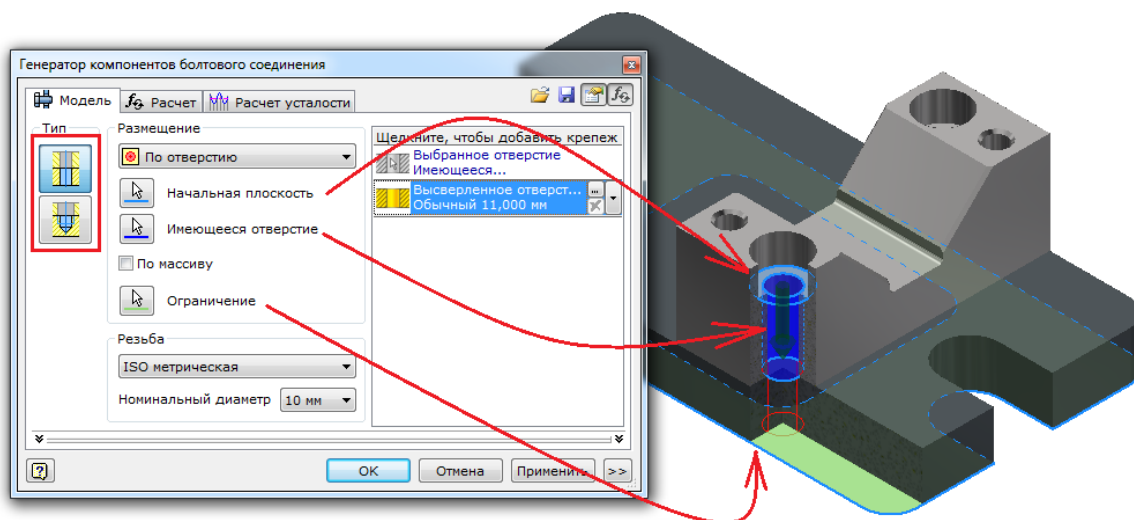


Рисунок 13.5. Набор ограничений операции

В результате указания ограничений становятся доступными следующие настройки:

1. При использовании способов «Концентричность» и «По отверстию» становится возможным создание сразу нескольких одинаковых наборов крепежных элементов при помощи функции «По массиву». Данная функция становится доступной, если есть несколько отверстий, выполненных в рамках одной команды или созданных при помощи массива в детали, или же в случае выбора нескольких ребер (граней) при использовании варианта «Концентричность». Пример действия данной функции представлен на рисунке 13.6.

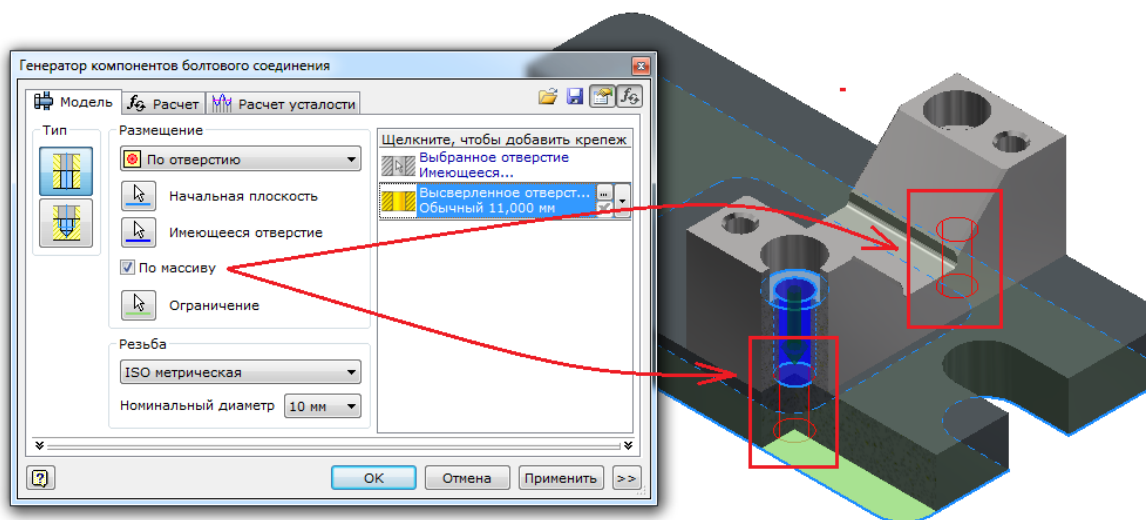


Рисунок 13.6. Работа функции «По массиву»

2. Определение типа резьбы и ее номинального диаметра. Данное действие необходимо выполнять из-за того, что при использовании метода «Концентричность» автоматическое определение номинального диаметра резьбы не выполняется, а при использовании метода «По отверстию» выполняется, но не всегда верно. В результате необходимо всегда осуществлять самостоятельный контроль данных параметров. Для этого необходимо настроить функциональную зону «Резьба», расположенную под элементами указания ограничений. Пример настройки показан на рисунке 13.7.

При проектировании резьбовых соединений существует возможность использования только 4 типов резьбы. При этом метрическая резьба, выполненная в соответствии со стандартами ISO, идентична одноименной резьбе, выполненной в соответствии со стандартами ГОСТ.

3. Завершающим этапом предварительной настройки является определение формы и размеров отверстия. Для настройки формы отверстия необходимо активировать пиктограмму треугольника в правой части диалогового окна «Модель», после чего в появившемся окне выбрать группу стандартов и конкретное исполнение отверстия, указав на соответствующей иконке. Пример выбора формы отверстия показан на рисунке 13.8.

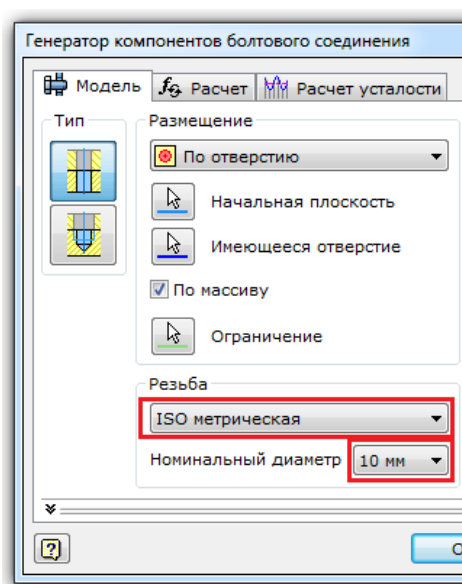


Рисунок 13.7. Определение типа и диаметра резьбы

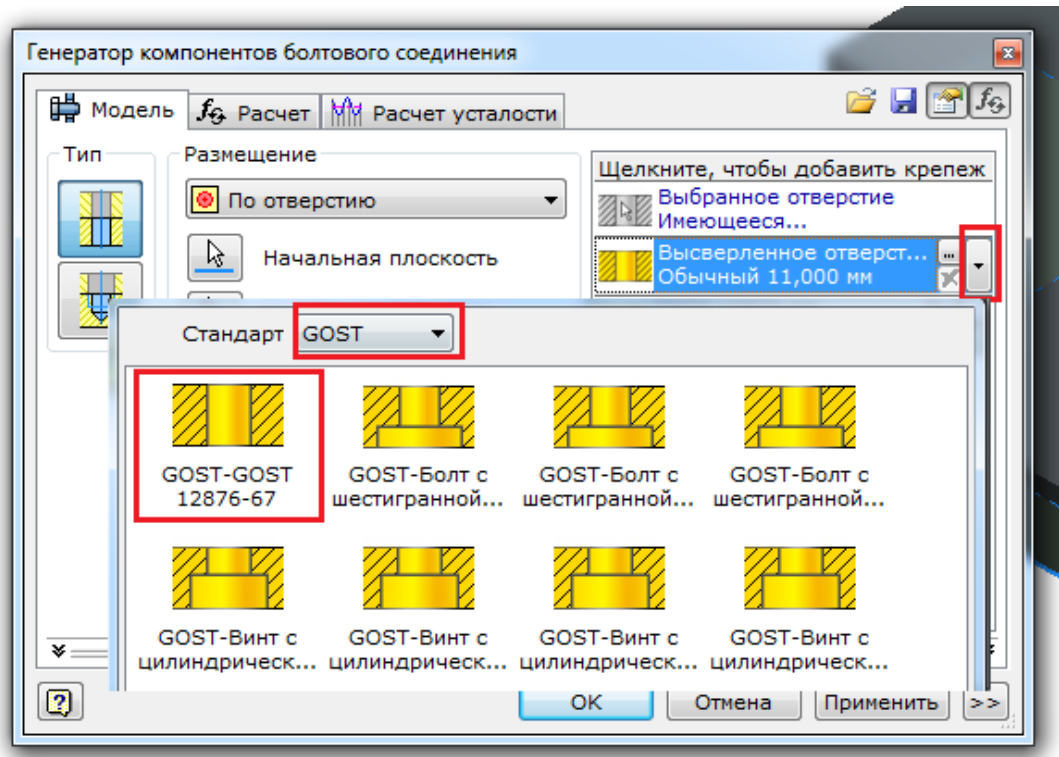


Рисунок 13.8. Выбор формы отверстия

Следом за выбором формы отверстия необходимо определить его размеры. В рассматриваемом случае выполняется проектирование винтового соединения, следовательно, сквозное отверстие в плите должно быть выполнено с резьбой. Данная настройка также относится к настройкам размеров. Для ее осуществления необходимо активировать пиктограмму с троеточием, расположенную слева от элемента выбора формы отверстия. Пример вызова окна настройки размеров отверстия в плите показан на рисунке 13.9.

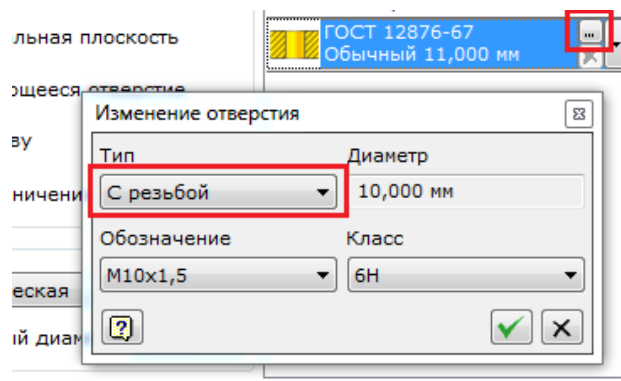


Рисунок 13.9. Пример настройки размеров отверстия

При этом следует заметить отсутствие необходимости выбора всех параметров, так, шаг резьбы будет подобран в зависимости от шага болта, винта или шпильки.

Следующим шагом является выбор компонентов соединения. Правая область окна «Модель», содержащая сведения о существующих и моделируемых отверстиях, является областью выбора и отображения всех элементов соединения. Так, после настройки параметров отверстия необходимо выдать и задать весь необходимый крепеж. Для этого необходимо нажать на запись «Щелкните, чтобы добавить крепеж», в результате чего откроется окно выбора, в котором необходимо выбрать группу стандартов, категорию крепежных элементов и сам компонент соединения.

В рассматриваемом случае достаточно выполнить добавление винта с углублением под ключ. Пример процедуры добавления показан на рисунке 13.10.

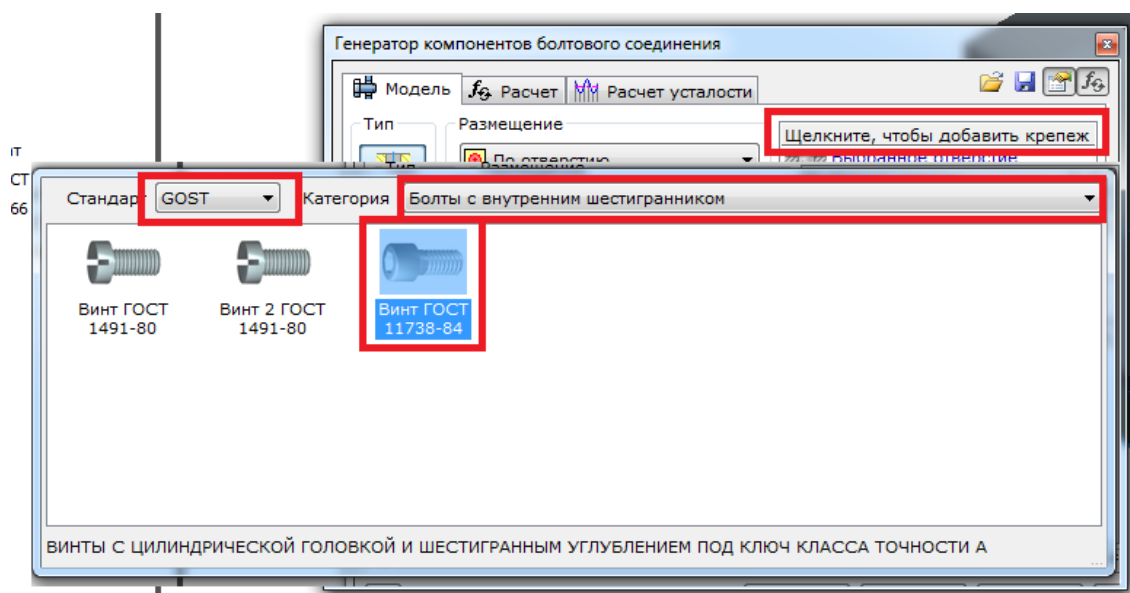


Рисунок 13.10. Выбор компонентов соединения

В результате выбора элемента в правую область добавится запись, а в рабочей области модели, контурными линиями, будет показан будущий элемент. Однако, подбираемые автоматически параметры компонентов, например, длина болта, не всегда являются верными и могут быть скорректированы при помощи ручек, пример чего показан на рисунке 13.11 [4].

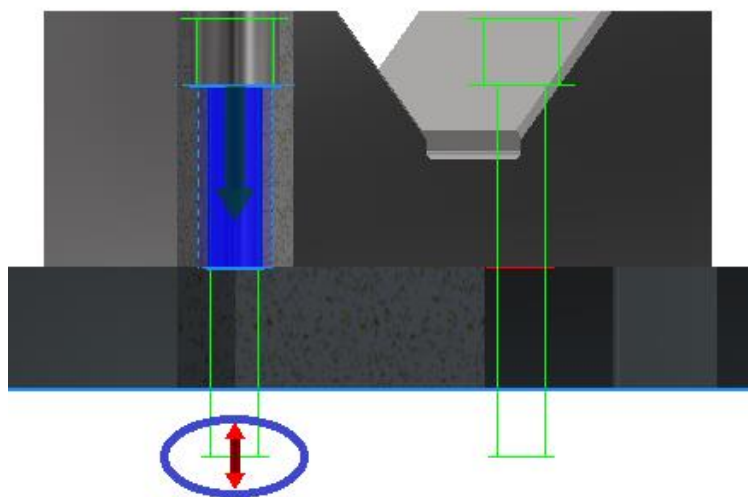


Рисунок 13.11. Настройка параметров компонентов

Для добавления дополнительных компонентов необходимо повторно активировать надпись: «Щелкните, чтобы добавить крепеж», с учетом ме-

ста необходимого места расположения. В случае активации функции в нижней части списка компоненты будут добавлены к концу соединения, в противном случае - к началу.

Пример списка компонентов и его реализация показаны на рисунке 13.12.

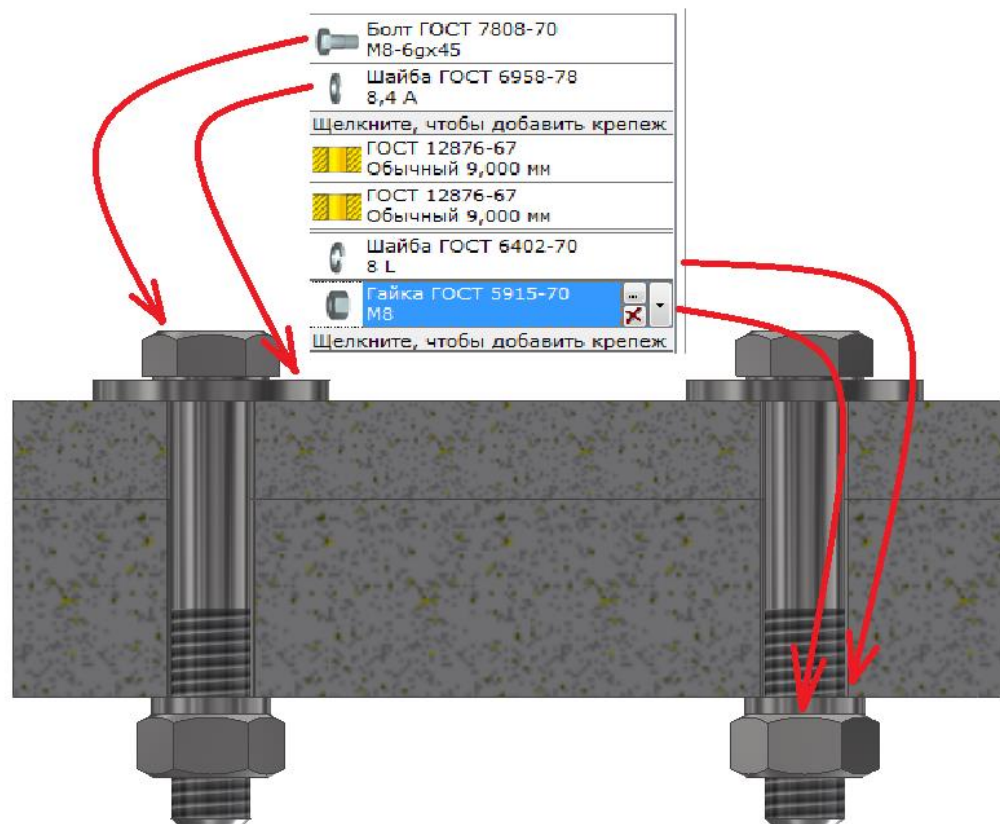


Рисунок 13.12. Пример списка компонентов

Еще одной особенностью работы с генератором болтовых соединений является необходимость настройки используемых в проекте библиотек. Обусловлена данная особенность желанием сократить время, затрачиваемое на открытие списка компонентов, так как в случае настроек по умолчанию при подготовке списка компонентов перебираются все существующие библиотеки.

Выбор компонентов соединения является завершающим этапом, за

которым следует расчет или принятие результатов. Завершением процесса построения модели является нажатие кнопки «Ок», после чего перед пользователем открывается окно с возможностью настройки наименования узла и его расположения, пример которого представлен на рисунке 13.13.

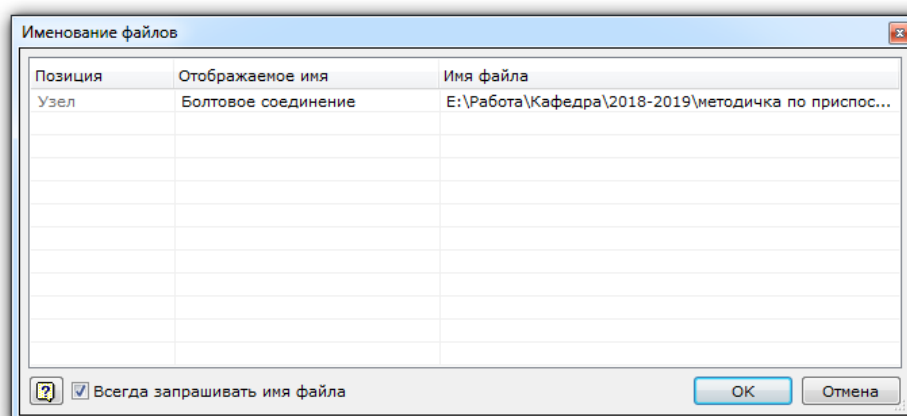


Рисунок 13.13. Окно настройки наименования

После закрытия окна происходит построение узла с болтовым соединением, пример которого представлен на рисунке 13.14.

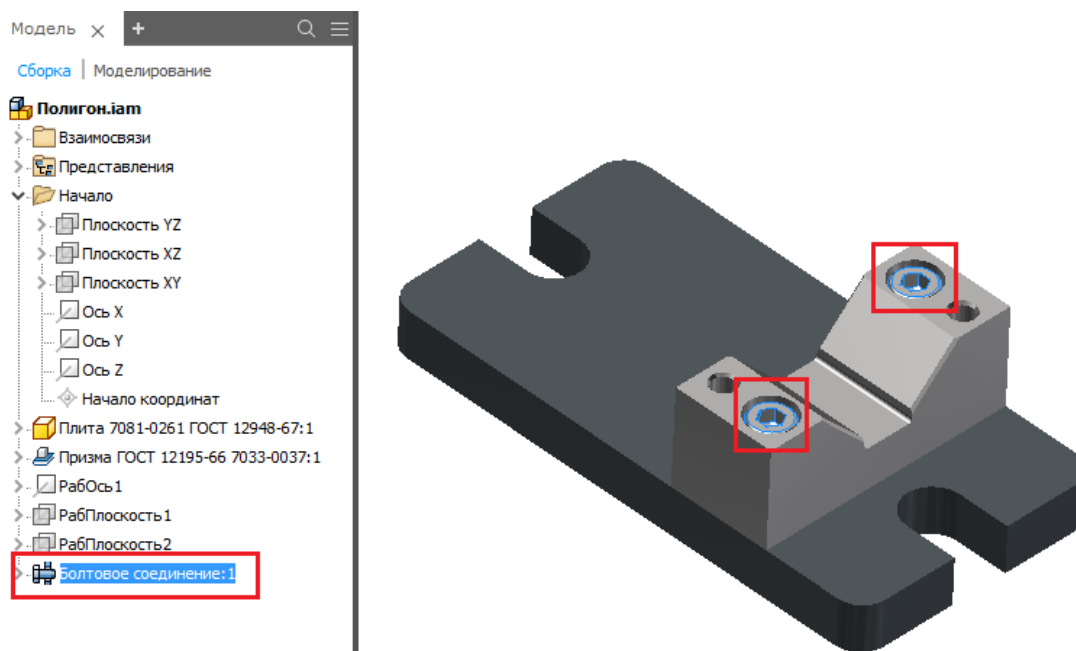


Рисунок 13.14. Пример построенного соединения

14 Практическое занятие **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАСТЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTODESK INVENTOR**

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В рамках проектирования станочных и контрольных приспособлений повсеместно возникает необходимость соединения различных деталей между собой, например, установочных призм с основанием, или каких-либо кронштейнов с основанием. Одним из типов соединения деталей, получившим наибольшее распространение в машиностроении, являются резьбовые.

При этом следует заметить, что помимо ускорения процесса моделирования таких соединений, рассмотрение которого проводилось в предыдущей практической работе, существует задача подтверждения принятых решений при помощи различного рода расчетов.

Сам по себе расчет резьбовых соединений не представляет особой сложности, но его реализация требует значительных временных затрат из-за большого числа соединений, подлежащих проверке даже в рамках одного приспособления. В связи с этим возникает необходимость автоматизации расчетов, которая решается при использовании специализированных модулей в современных системах автоматизированного проектирования.

В рамках рассматриваемой системы Inventor процесс выбора, размещения и расчета резьбовых соединений является одним процессом, выполняемым при работе с модулем «Генератор болтовых соединений». Данный генератор позволяет выполнять проектный расчет с целью определения диаметра резьбы, количества болтов или материала, а также проверочный расчет и расчет усталостной прочности с учетом динамических нагрузок.

Как уже отмечалось, при проектировании станочных приспособлений соединяются, как правило, детали, в одной из которых уже имеются смоделированные отверстия под крепежные элементы, более того, данные

детали с высокой долей вероятности являются стандартными, а, следовательно, параметры отверстий жестко регламентированы соответствующими стандартами. В связи с этим наиболее актуальным видом расчетов становятся проверочные, последовательность выполнения которых и будет рассмотрена при выполнении практической работы.

Функции статического и динамического расчетов резьбовых соединений являются подключаемыми. Для подключения статического расчета необходимо активировать пиктограмму «Включение/отключение расчетов», расположенную в верхнем правом углу вкладки «Модель» генератора болтового соединения (Рисунок 14.1).

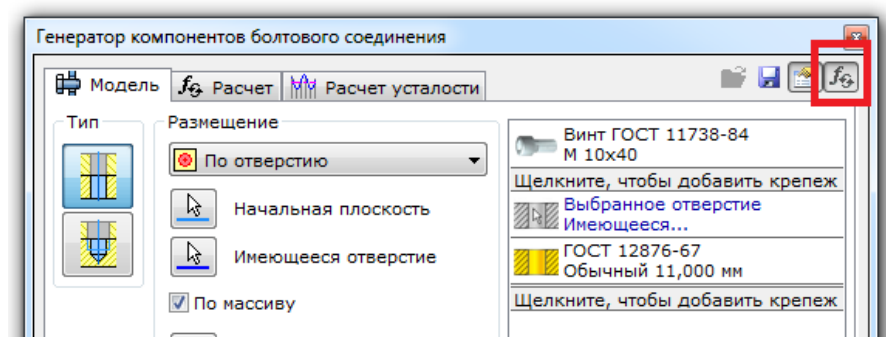


Рисунок 14.1. Активация вкладки «Расчет»

В случае, если выбор компонентов соединения был выполнен ранее, а окно генератора закрыто, необходимо его открыть, выделив необходимое соединение в дереве построений или в рабочей области модели и вызвав контекстное меню, после чего активировав функцию «Редактировать с помощью мастера проектирования», пример описанного действия представлен на рисунке 14.2.

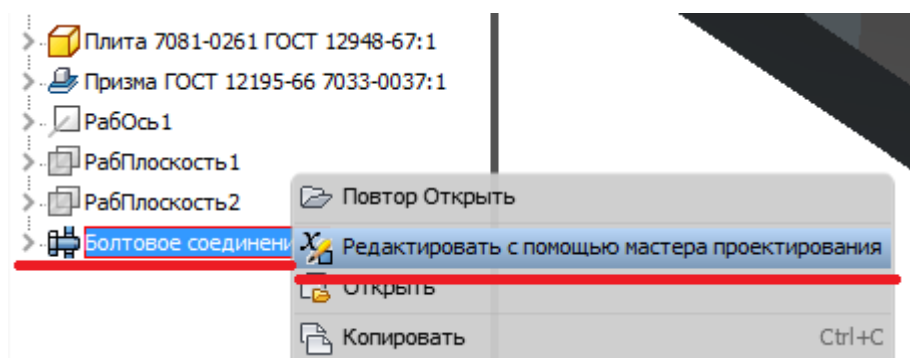


Рисунок 14.2. Повторное открытие генератора болтовых соединений

Представленная процедура открытия генератора справедлива для любых компонентов, созданных при помощи различных генераторов.

После открытия окна генератора и активации модуля расчетов необходимо перейти в одноименную вкладку, внешний вид которой показан на рисунке 14.3.

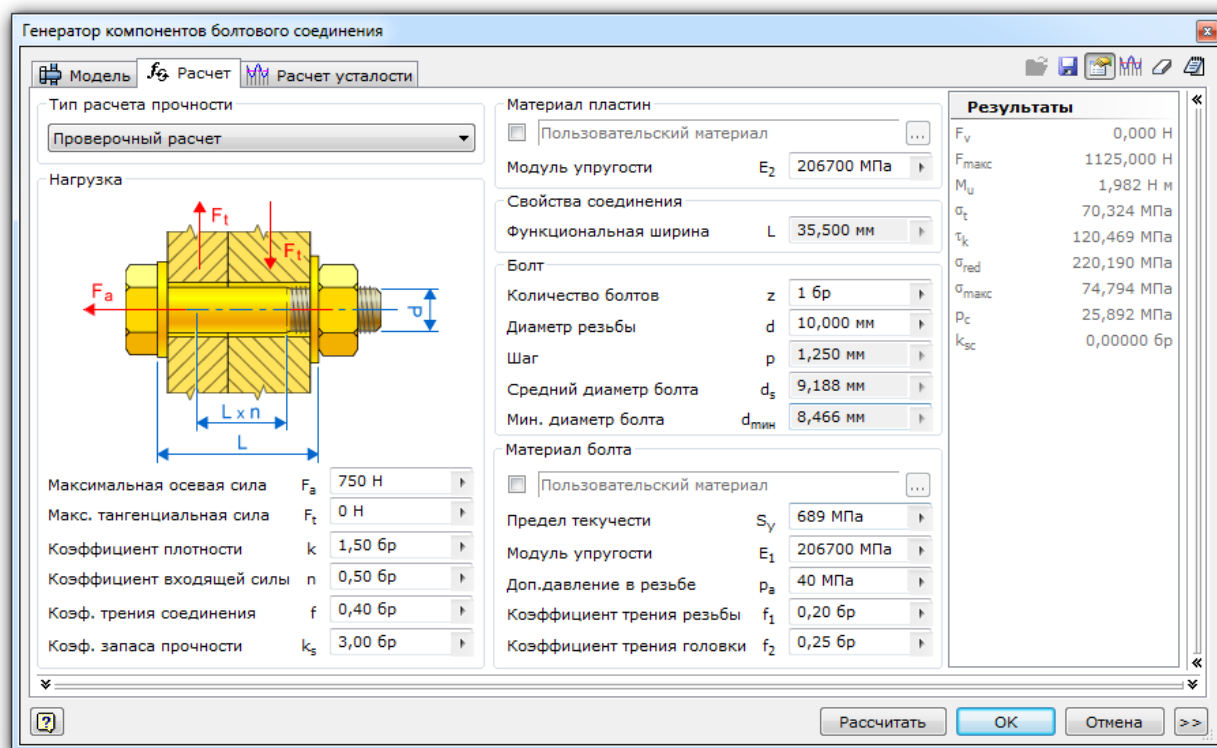


Рисунок 14.3. Вкладка «Расчет»

Следует отметить тот факт, что одной из особенностей расчетного

модуля рассматриваемого мастера проектирования является необходимость проведения расчетов после указания ограничений на размещение компонентов соединения и их непосредственного выбора. Данная особенность вызвана автоматизированным заполнением ряда исходных данных, в связи с чем между расчетом до размещения модели и после возникнет разница, хоть и незначительная. К автоматически определяемым параметрам относятся: функциональная ширина (L), мм; диаметр резьбы (d), мм; средний диаметр болта (d_s), мм; минимальный диаметр болта ($d_{\min}$), мм. Расположение данных параметров в пределах диалогового окна показано на рисунке 14.4.

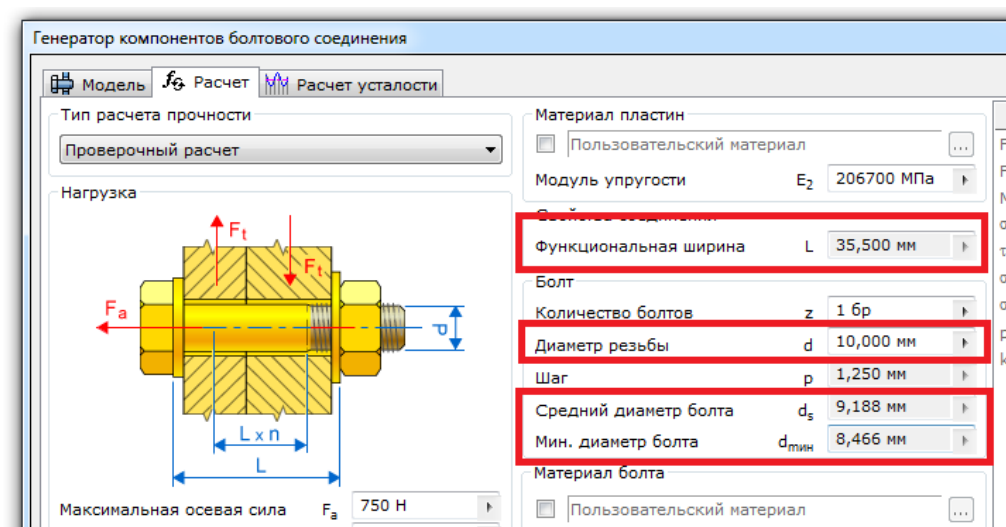


Рисунок 14.4. Параметры, определяемые автоматически

Вторая особенность выражается в неверном определении шага резьбы, для ее устранения необходимо ввести диаметр резьбы вручную, даже в случае его соответствия выбранным компонентам соединения. Пример изменения шага до и после ввода продемонстрирован на рисунке 14.5.

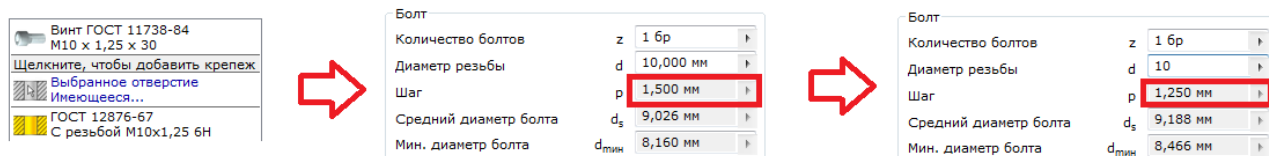


Рисунок 14.5. Переопределение шага резьбы

Причем, в случае наличие более одного символа в значении размера ввод значения следует осуществлять при помощи копирования.

После завершения подготовительных действий по учету особенностей работы генератора следует начать ввод исходных данных, которые разделены на несколько блоков.

В блоке «нагрузка» задаются значения сил, действующих в соединении, а также поправочные коэффициенты и коэффициент запаса прочности. Силы представлены в виде осевой и касательной, при этом задача определения их значений, не решается автоматизировано и требует от конструктора знаний методики определения, но при этом может подвергнуться автоматизации общими средствами системы. Коэффициенты плотности (k) и запаса прочности (k_s) задаются пользователем вручную в интервалах: от 0,5 до 1,5 для коэффициента плотности соединения, с рекомендацией использовать значение 1,2 [2], а коэффициент запаса прочности в диапазоне от 1,5 до 2,0 при действии постоянной нагрузки и от 2,0 до 3,0 при действии переменной нагрузки.

Коэффициенты входящей силы (n), трения между соединяемыми материалами (имеются в виду материалы болта/винта и гайки) могут быть заданы вручную или же выбираться из рекомендованных значений. Определить рекомендованные значения можно при помощи блокнота инженера [4, 5] или при помощи специального диалогового окна.

Процедура вызова окна со значениями коэффициентов осуществляется при активации одноименной команды при вызове контекстного меню для конкретного коэффициента. Вызов контекстного меню осуществляется нажатием на треугольник, расположенный справа от необходимого параметра. Пример вызова окна показан на рисунке 14.6.

Выбор конкретного значения осуществляется нажатием на необходимое значение в открывшемся окне, иллюстрация чего приведена на ри-

сунке 14.7.

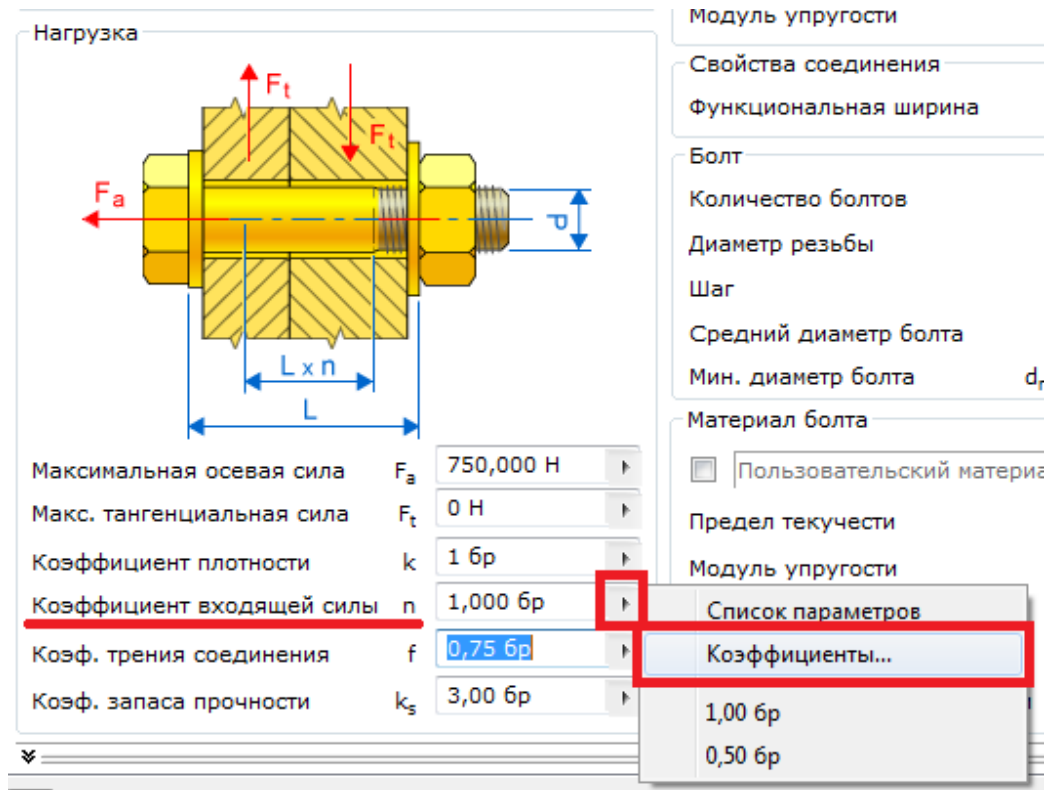


Рисунок 14.6. Вызов контекстного меню

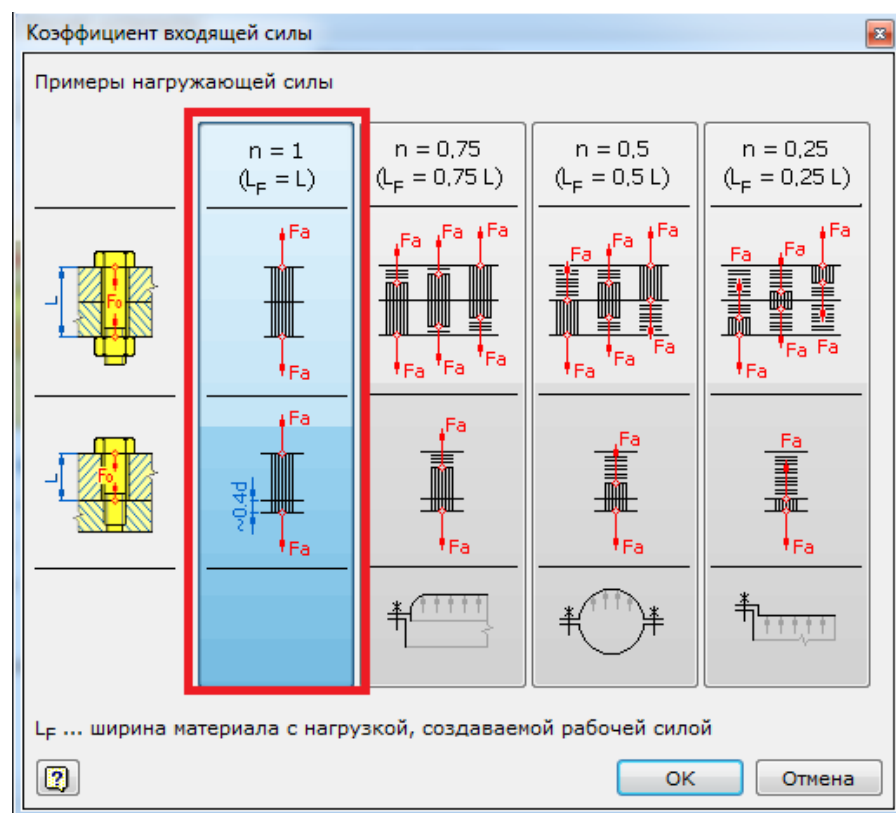


Рисунок 14.7. Выбор значения коэффициента входящей силы

Блок определения нагрузок, представленный в генераторе, имеет некоторые отличия от методики расчета, описанной в отечественной литературе [3], так из расчетной схемы видно, что максимальное число соединяемых деталей, учитываемых в расчете, составляет две, в то время как реальное их количество может быть больше. Для данных случаев предусмотрено выражение, представленное формулой (24.1):

$$\frac{4F}{\pi d^2 i} \leq [\sigma], \quad (14.1)$$

где F – максимальная сила действующая на соединение, Н;

d – диаметр стержня, мм;

i – количество стыков.

Так как параметр i при расчете в системе Inventor всегда равен единице, конструктору необходимо самостоятельно изменять значение силы F для в соответствии с реальным количеством пластин.

Несмотря на наличие данного фактора результаты работы генератора и результаты расчетов, выполненных по методике, изложенной в литературе, сходятся, что подтверждает исследования [7] и опытная эксплуатация пользователей [6].

Следующим этапом является определение параметров материалов пластин и болта. Данное действие возможно, как в ручном, так и в автоматизированном режимах. Для ручного ввода достаточно указать значения требуемых параметров. По умолчанию настроена именно ручная настройка значений. Для автоматизированного заполнения требуемых полей необходимо активировать функцию выбора материала и в появившемся окне указать требуемый материал. Пример выполнения показан на рисунке 14.8.

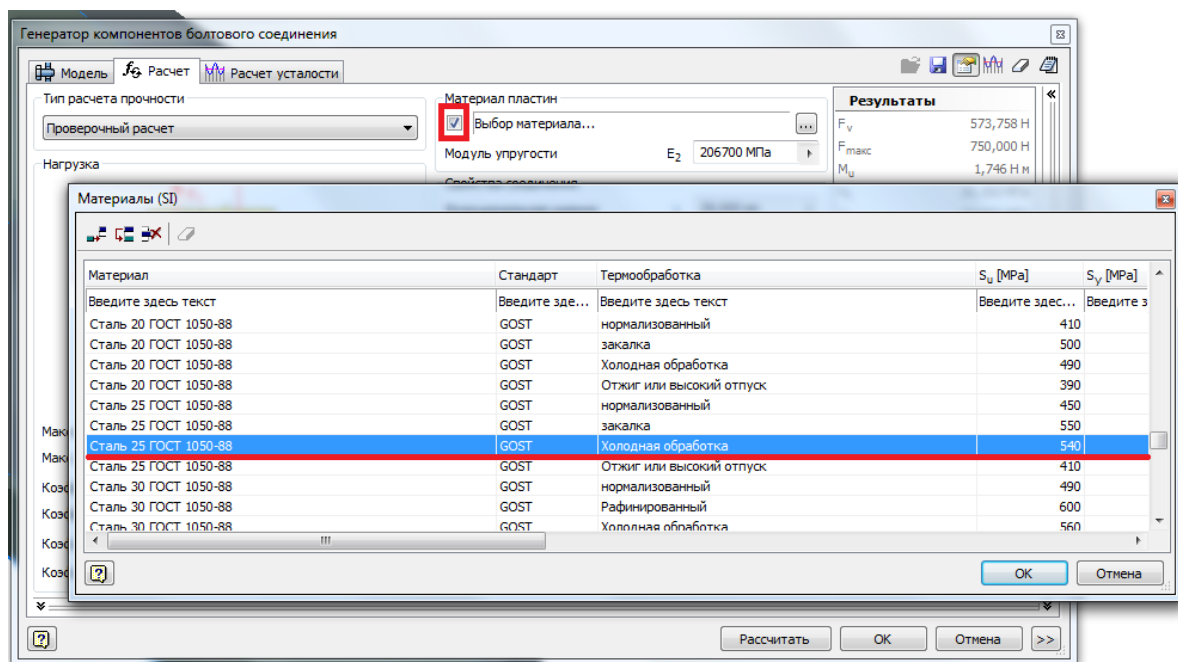


Рисунок 14.8. Выбор материала пластин

В случае определения свойств материала из встроенной библиотеки возможность ручной корректировки значений пропадает, при этом существует возможность изменения существующих и задание новых материалов в библиотеке, при помощи инструментов, расположенных в верхнем левом углу окна «Материалы».

Для завершения ввода исходных данных остается заполнить значение допустимого давления в резьбе, а также значения коэффициентов, учитывающих трение в резьбе в зависимости от покрытия, а также трение торцевой поверхности болта и пластины. Задание значений обозначенных коэффициентов осуществляется аналогично коэффициенту входящей силы (Рисунок 14.6, Рисунок 14.7).

Значение допустимого давления в резьбе не регламентируется, но в связи с соответствием классов прочности ГОСТ и ISO может быть использовано из справочных данных [8], представленных в таблице 14.1.

Таблица 14.1 – Допустимое давление в резьбе болтовых соединений

Класс прочности	4.8	5.6	5.8	6.8	6.9	8.8
Допустимое давление для стали, МПа	75	70	90	110	120	150

По завершению ввода исходных данных выполняется расчет при помощи одноименной кнопки. Условием положительного расчета является соблюдение системы из трех неравенств.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{rec} \leq \frac{S_y}{k_s} \\ p_c \leq p_a \\ \sigma_{max} \leq \frac{S_y}{k_s} \end{array} \right.,$$

где σ_{rec} – приведенное напряжение, МПа;

S_y – предел текучести материала, МПа;

k_s – задаваемый коэффициент запаса прочности;

p_c – расчетное давление в резьбе, МПа;

p_a – допустимое давление в резьбе, МПа;

σ_{max} – напряжение, вызванное максимальной силой, МПа.

В случае положительного результата расчета окно принимает вид, показанный на рисунке 14.9, в случае же отрицательного результата – рисунок 14.10.

Результаты расчета могут быть сохранены в виде отчета, для чего необходимо активировать кнопку с иконкой блокнота, расположенную в верхнем правом углу окна.

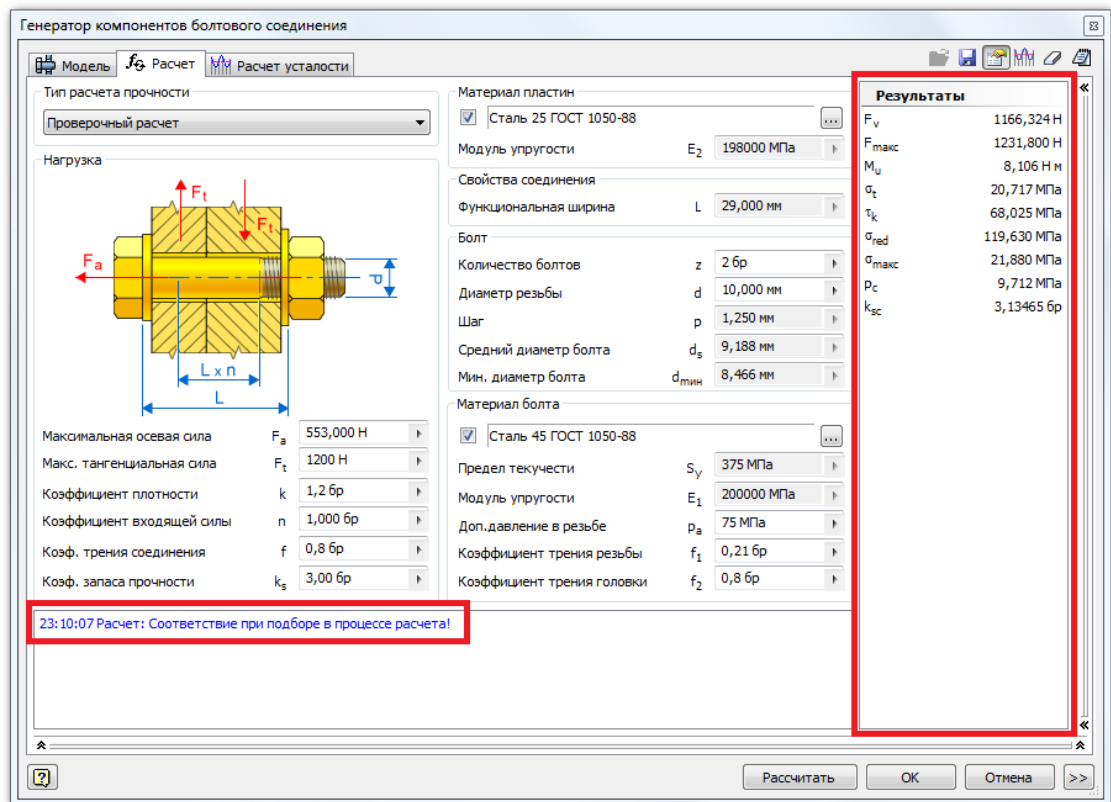


Рисунок 14.9. Пример положительного результата

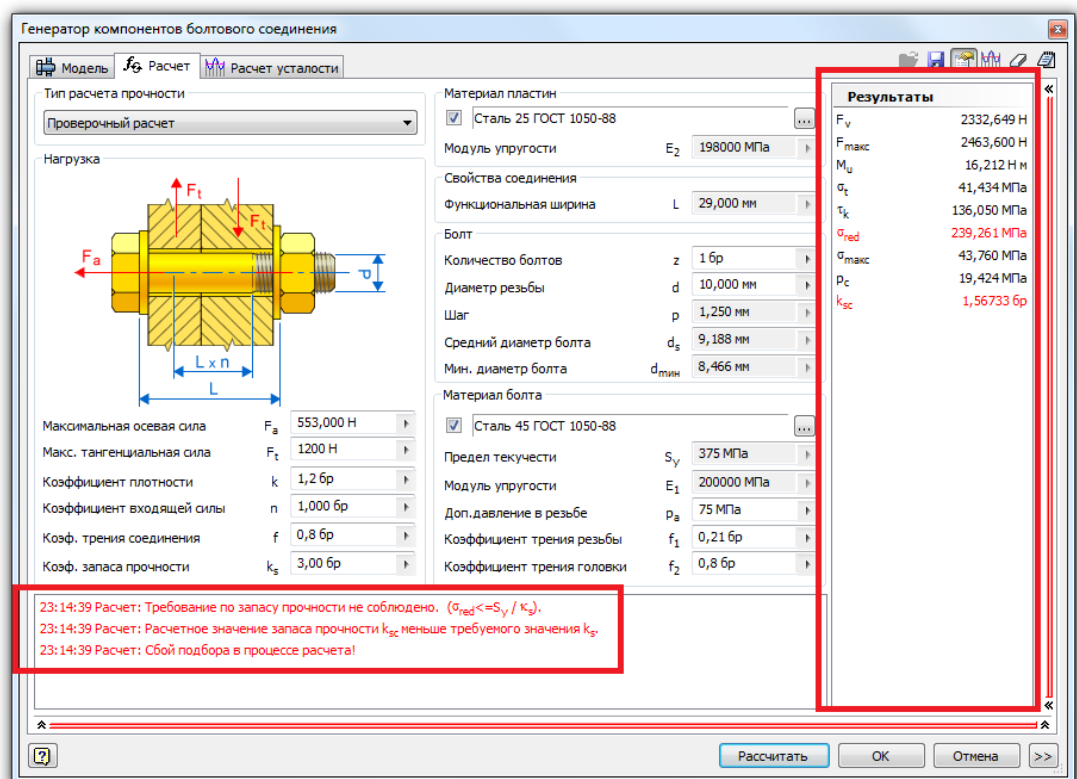


Рисунок 14.10. Пример отрицательного результата

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие способы размещения соединений существуют в генераторе болтовых соединений?
2. В чем отличия способов размещения крепежных компонентов «Концентричность» и «По отверстию»?
3. Почему возникает необходимость контроля типа и параметров резьбы?
4. В какой части списка крепежных элементов необходимо активировать функцию добавления компонентов для добавления гайки?
5. Возможно ли создание наборов крепежа в качестве шаблонов?
6. Укажите поддерживаемые типы расчетов?
7. В чем отличия при выполнении расчета до выбора и размещения компонентов соединения и после?
8. В чем заключается алгоритм устранения несоответствия шага резьбы при выбранных компонентах соединения?
9. Как осуществляется выбор значений коэффициентов из встроенных справочников?
10. В чем отличия результатов представленных в окне генератора и в отчете?

6 Индивидуальное задание. Изучить методику создания, размещения и расчета моделей резьбовых соединений конструкции в среде Autodesk Inventor.

Выполнить выбор, размещение и выполнить расчет модели соединения для конструкции, разработанной в курсовом проекте (по согласованию с преподавателем).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [8-13]

15 Практическое занятие **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРУЖИН СЖАТИЯ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR**

Цель работы: изучение методики автоматизированного проектирования пружин сжатия.

Теоретическая часть

Достаточно часто при проектировании приспособлений для механической обработки возникает необходимость использования упругих элементов в конструкции. Одним из таких элементов являются пружины сжатия. Вопрос их проектирования и построения моделей является достаточно актуальным ввиду трудоемкости и большого числа нормативной документации.

В тоже время в большинстве систем автоматизированного проектирования существуют специальные модули для автоматизации данного процесса. В среде Autodesk Inventor для проектирования упругих элементов существует генератор пружин, который позволяет выполнять расчет и построение моделей пружин сжатия, растяжения, кручения, а также тарельчатых пружин. Начало работы с данным модулем осуществляется при помощи группы команд, собранных в панель инструментов «Пружина» во вкладке «Проектирование». Расположение панели инструментов представлено на рисунке 15.1.

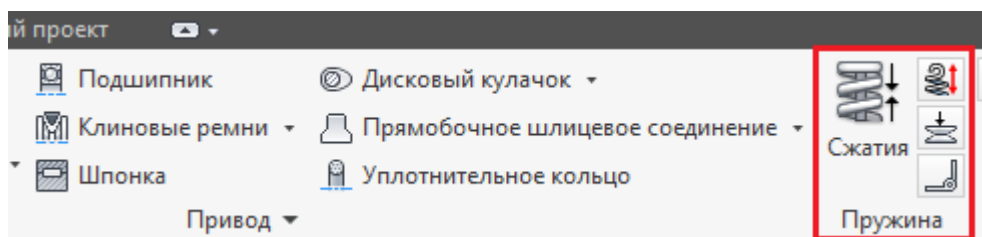


Рисунок 15.1. Панель инструментов «Пружина»

Важно отметить необходимость сохранения сборочной модели перед началом работы с любыми генераторами компонентов. После сохранения сборочной модели и активации одного из вариантов команд, в рассматри-

ваемом случае – варианта «Сжатия», перед конструктором открывается окно «Генератор компонентов пружины сжатия», внешний вид которого представлен на рисунке 15.2.

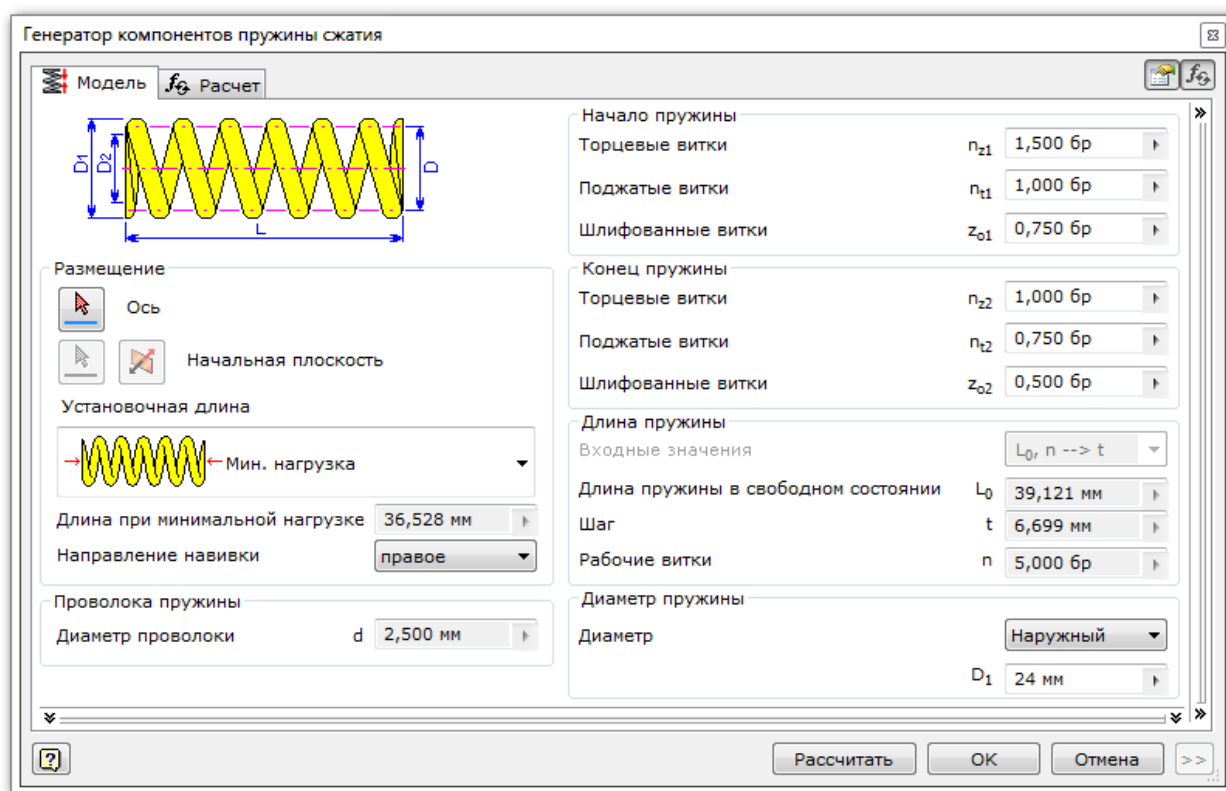


Рисунок 15.2. Генератор компонентов пружины сжатия

Данное окно состоит из двух вкладок: вкладки «Модель», позволяющей задавать геометрические, конструктивные параметры, а также состояние пружины в сборочной модели; вкладки «Расчет» позволяющей производить проектные и проверочные расчеты.

Проектирование пружин для станочных приспособлений начинается с определения комплекта исходных данных и выбора соответствующего набора входных данных в среде генератора компонентов.

Как правило пружины сжатия в станочных приспособления необходимы для перемещения элементов зажимных механизмов, с целью облегчения установки и снятия заготовок в приспособлении, а также с целью реализации определенных схем базирования. Пример использования пружины сжатия для организации перемещения прихвата поз.8, показан на ри-

сунке 15.3.

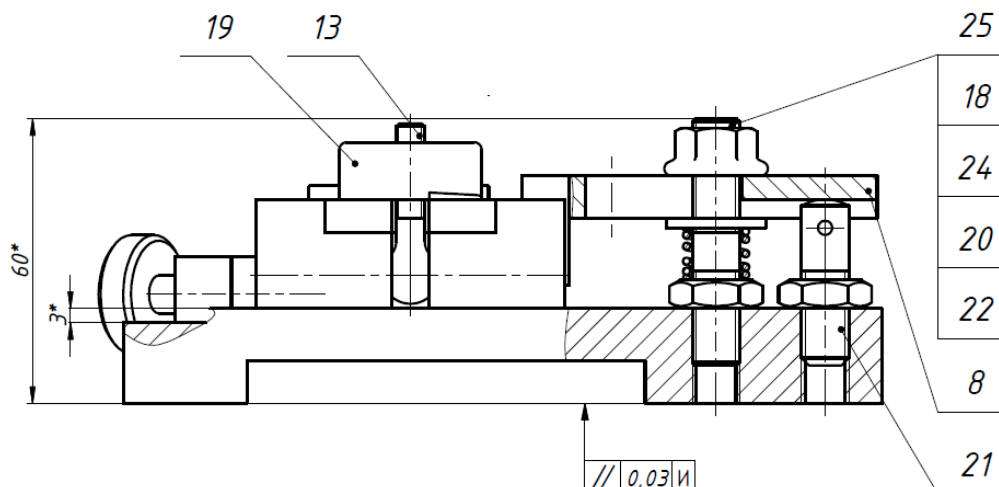


Рисунок 15.3. Пример пружины в конструкции приспособления

Согласно методики расчета пружин, представленной в ГОСТ 13765-86, исходными данными для проектирования являются: сила пружины при рабочей деформации, соответствующая наибольшему принудительному перемещению подвижного звена в механизме (F_2) Н, рабочий ход пружины (h) мм, наибольшая скорость перемещения подвижного конца пружины при нагружении или разгрузке ($v_{\max}$) м/с, выносливость пружины (N_F), наружный диаметр пружины (D_1) мм. При этом указанный набор параметров не всегда является необходимым, особенно при проектировании специальных пружин.

В данном же случае необходимо обеспечить гарантированное перемещение и удержание прихвата поз. 8 в предварительно нагруженном состоянии пружины, соответствующем силе (F_1) и максимально высокому положению гайки поз.20, а также задаться внутренним диаметром пружины (D_2), превышающим диаметр шпильки на определенный зазор (z). Скорость перемещения подвижного конца пружины при нагрузке и разгрузке в данном случае не важна, ввиду ее малой величины.

Первоначальными действиями пользователя при указанном наборе параметров становятся: выбор задаваемого диаметра пружины во вкладке

«Модель», а также определение состояния конечных участков пружины. В качестве задаваемого диаметра пружины в данном случае используется внутренний диаметр пружины, который должен быть не меньше суммы диаметра шпильки и зазора. При диаметре шпильки равной 10 мм, величина зазора составляет не менее 2 мм. В результате внутренний диаметр равен 12 мм.

Вторым этапом является определение количества и состояния торцевых витков пружины. В данном случае, с целью обеспечения надежной установки пружины, принимается поджатие витка на $\frac{3}{4}$ его длины и шлифовка торца на $\frac{3}{4}$ длины, для чего задаются коэффициенты равные 0,75 в областях начала и конца пружины. Пример описанных настроек вкладки модель представлен на рисунке 15.4.

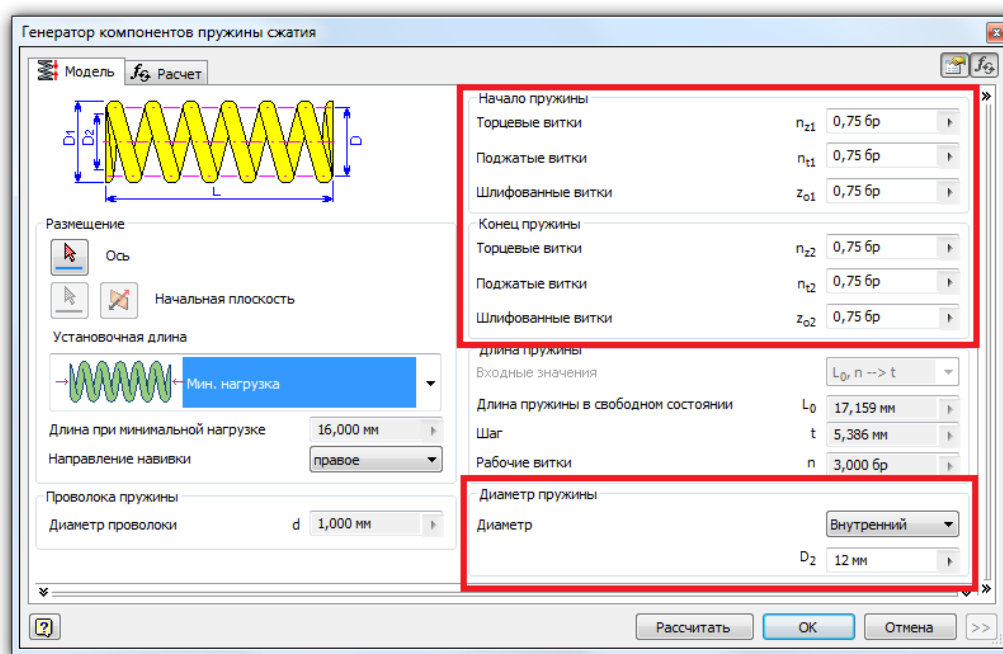


Рисунок 15.4. Пример настройки вкладки «Модель»

Следующим этапом является определение типа расчета и выбор набора задаваемых параметров с использованием вкладки «Расчет». Система Autodesk Inventor позволяет выполнять два типа расчетов проектные и проверочные.

Ввиду различий методик проектирования, представленных в нацио-

нальных стандартах, и стандартах заложенной в систему следует обратить внимание на тот факт, что проектный больше всего подойдет для проектирования специальных пружин, витки которых не соответствуют требованиям группы стандартов ГОСТ 13766-86 ... 13776-86; а проверочный – в случае необходимости построения пружин, соответствующих национальным стандартам. При этом, несмотря на разницу методик, используемые в них выражения для определения одноименных параметров идентичны, что подтверждает анализ стандарта ГОСТ 13765-86 и справки системы Inventor.

В случае проектирования и изготовления станочного приспособления с учетом единичного производства и нестандартности исходных данных, оптимальным является проектирование специальной пружины, для чего в качестве типа расчета выбирается проектный. В рамках этого расчета в генераторе пружин становится возможным выбор одного из нескольких комплектов задаваемых данных. В показанном примере следует принять вариант с заданием сил и внутреннего диаметра, пример чего показан на рисунке 15.5.

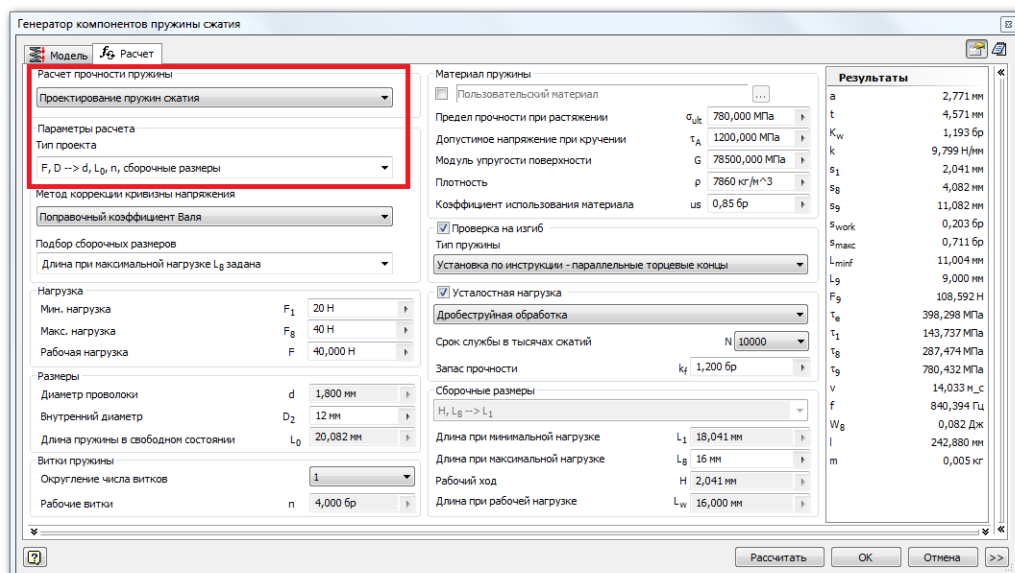


Рисунок 15.5. Пример настройки вкладки «Расчет»

Следующим действия в рамках вкладки расчет является задание сил,

и в случае необходимости, сборочных размеров. Силы и сборочные размеры определяются исходя из конструкции приспособления. Так в рассматриваемом случае (Рисунок 15.3) сила предварительного нагружения пружины должна быть равна весу всех деталей, которые она должна поднять.

$$F_1 = m \cdot g = 0,14 \cdot 9,8 = 1,37 \text{ Н}, \quad (15.1)$$

где $m = 0,14$ – масса деталей удерживаемых пружиной, кг;

$g = 9,8$ – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Сила пружины при рабочей деформации, соответствующая наибольшему принудительному перемещению подвижного звена в механизме, может быть задана произвольно, например $F_8 = 5 \text{ Н}$ (соответствует обозначению силы F_2 в стандарте ГОСТ 13765-86).

Кроме сил из конструкции приспособления известна длина пружины в нагруженном состоянии $L_8 = 14$, для чего при помощи выпадающего меню выполняется выбор соответствующего варианта расчета и ввод указанного значения. Пример ввода описанных значений показан на рисунке 15.6.

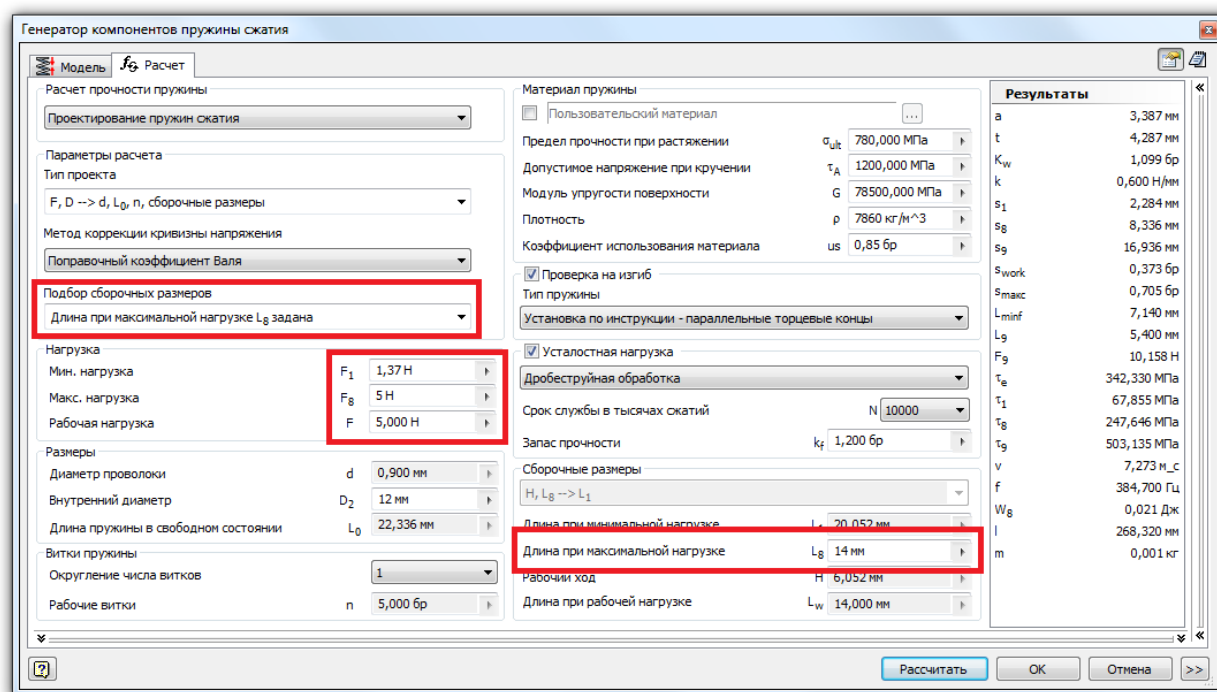


Рисунок 15.6. Пример задания исходных данных

Следует заметить, что параметр рабочей нагрузки характеризует промежуточное положение пружины, и задается отличным от крайних в случае необходимости.

Завершающим этапом ввода исходных данных является задание физико-механических свойств материала, которые могут быть указаны как самостоятельно, так и приняты из библиотеки компонентов, а также задание параметров проверки на изгиб и усталостной нагрузки. Пример чего продемонстрирован на рисунке 15.7.

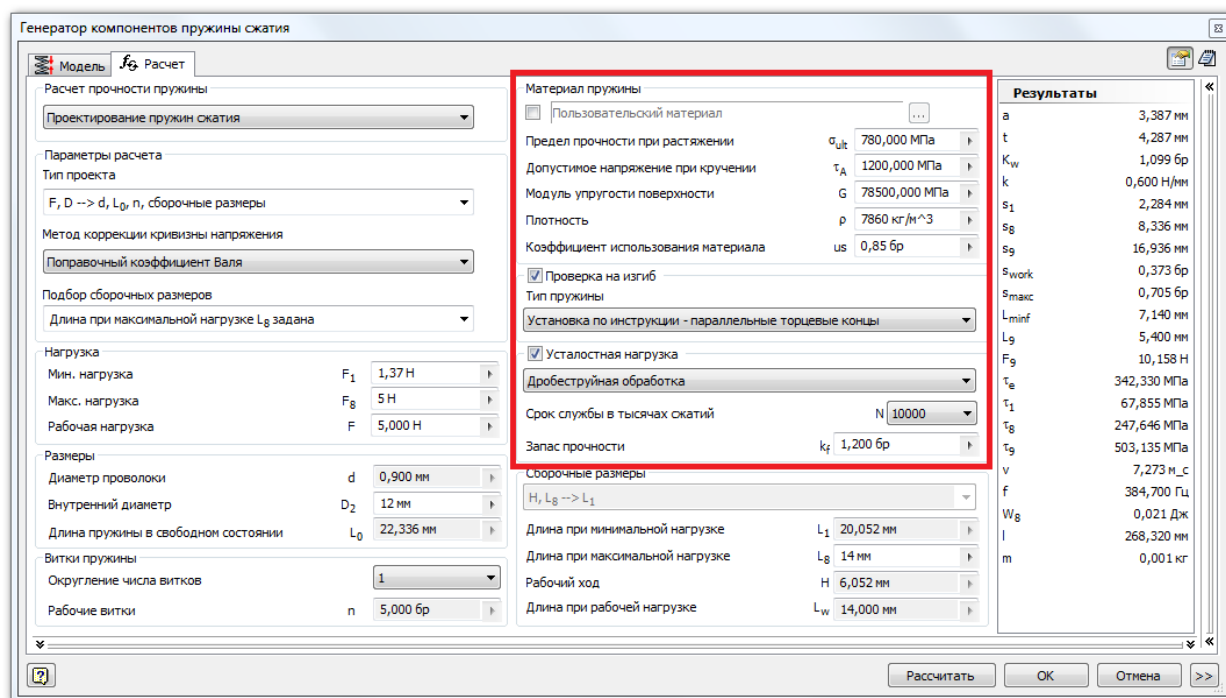


Рисунок 15.7. Пример задания материала

После ввода необходимых данных выполняется расчет при помощи одноименной кнопки, расположенной в нижней правой части окна. Положительный результат расчета определяется отсутствием отметок в правой части окна.

В случае удачного расчета следует перейти во вкладку «Модель» для окончательного определения параметров, воссоздаваемых в рамках сборочной единицы. Так, в рассматриваемом примере в соответствии с конструкцией приспособления в качестве длины пружины в сборочной моде-

ли используется длина при максимальной нагрузке, соответствующая крайнему положению зажимного устройства. Для этого в зоне «Установочная длина» принимается вариант «Максимальная нагрузка» (Рисунок 15.8).

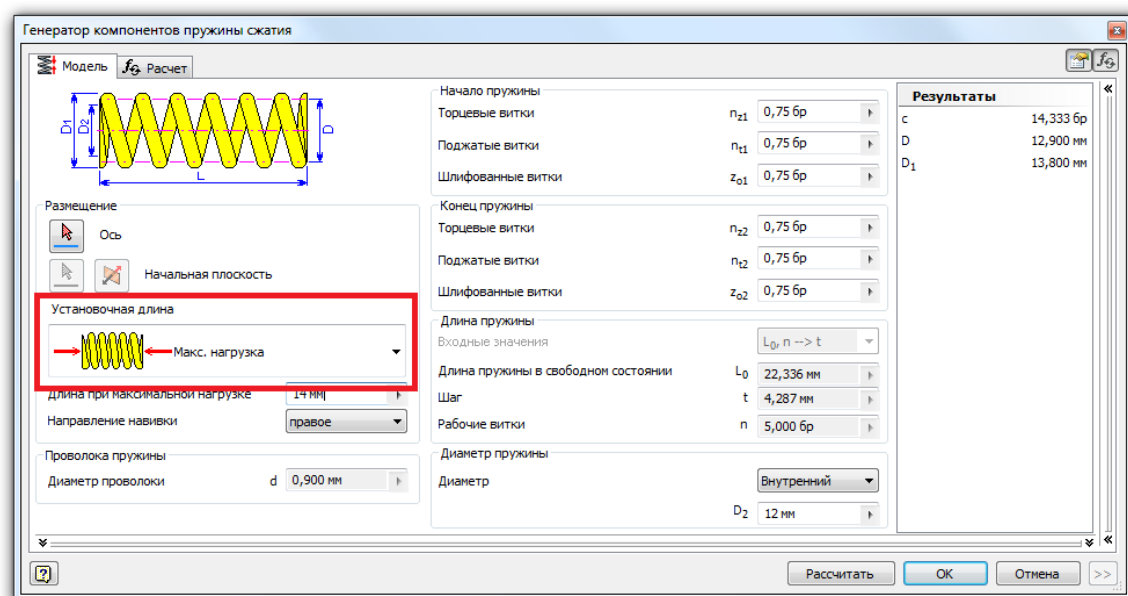


Рисунок 15.8. Определение длины модели

Далее следует построение модели и ее размещение в сборке. Пример спроектированной пружины представлен на рисунке 15.9.

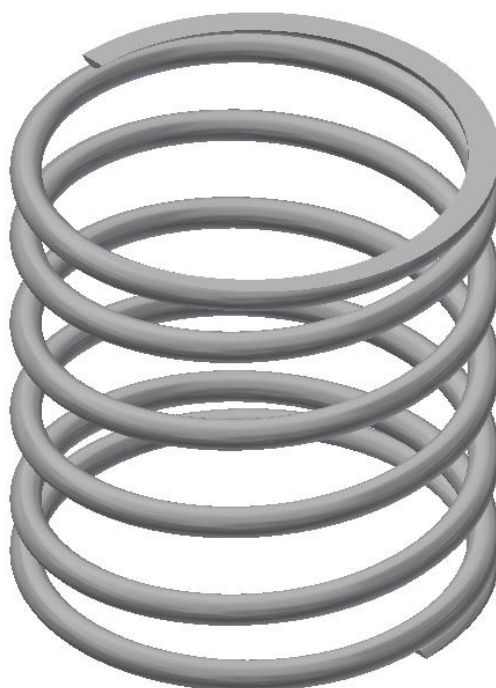


Рисунок 15.9. Модель пружины

2 Задание

1. Изучить методику расчета и построения пружин в среде Autodesk Inventor.
2. Выполнить автоматизированный расчет и построение по выданному преподавателем заданию

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Укажите поддерживаемые типы расчетов?
2. В чем отличия при выполнении расчета до выбора и размещения компонентов соединения и после?
3. В чем заключается алгоритм устранения несоответствия шага резьбы при выбранных компонентах соединения?
4. Как осуществляется выбор значений коэффициентов из встроенных справочников?
5. В чем отличия результатов, представленных в окне генератора и в отчете?

6. Индивидуальное задание. Изучить методику расчета резьбовых соединений в среде генератора болтовых соединений Autodesk Inventor.

По конструкции, разработанной в курсовом проекте, определить силы, действующие на соединение, и выполнить расчет (по согласованию с преподавателем)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[5-7]

16 Практическое занятие РАБОТА С АССОЦИАТИВНЫМИ СПЕЦИФИКАЦИЯМИ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR

Цель работы: изучение методики создания и настройки ассоциативной спецификации чертежей.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Система автоматизированного проектирования Autodesk Inventor позволяет в автоматизированном режиме генерировать сведения о составе и структуре изделия, и представлять их в необходимом пользователю виде. При помощи модуля ЕСКД эти данные могут быть представлены в виде спецификации, выполненной по форме 1 в соответствии с ГОСТ 2.108-68.

Общий алгоритм подготовки и генерации спецификации в соответствии с ЕСКД выглядит следующим образом:

1. Выполняется создание трехмерной модели сборочной единицы со всеми необходимыми элементами (комплексами, сборочными узлами, стандартными и покупными деталями).
2. Каждой уникальной модели присваиваются обозначения и наименование.
3. На основе сборочной модели строится ассоциативно связанный чертеж, на котором деталям присваиваются номера позиций.
4. В случае необходимости выполняется доработка спецификации в редакторе.
5. Полученная спецификация вставляется в чертеж или экспортируется в MS Excel [1].

Рассмотрим особенности каждого пункта подробнее на примере подготовки спецификации приспособления для механической обработки отверстия шайбы, представленного на рисунке (Рисунок 16.1).

На начальном этапе после построения 3D модели приспособления ряд свойств каждой модели будет настроен по умолчанию, в результате че-

го попытка генерации спецификации без предварительной подготовки приведет к некорректному заполнению столбцов «Обозначение» и «Наименование». Пример сгенерированной спецификации с настройками, полученными по умолчанию, приведен на рисунке (Рисунок 16.1).

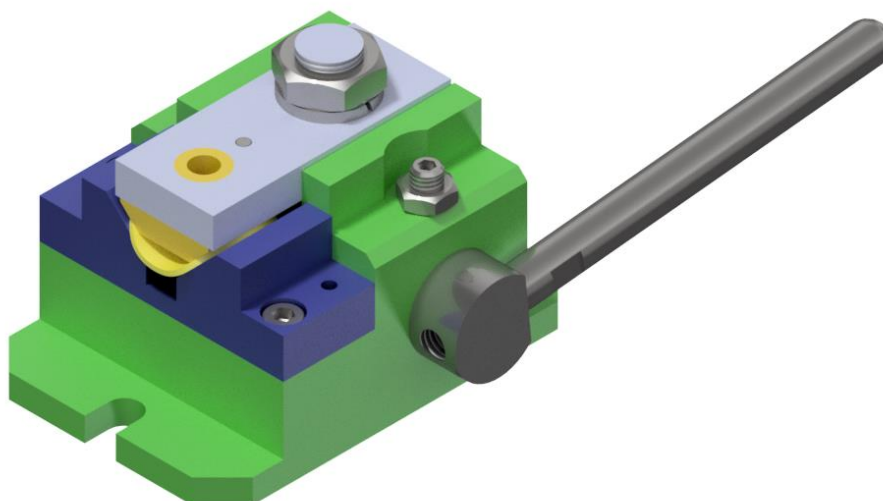


Рисунок 16.1. 3D модель станочного приспособления

			<u>Документация</u>	
	Кондуктор		Сборочный чертеж	1
			<u>Детали</u>	
1	Вал эксцентриковый	→		1
2	Втулка кондукторная			1
3	Кронштейн			1
4	Основание			1
5	Плита кондукторная			1
6	Призма			1
7	Рукоятка			1
8	Шайба (Деталь)	→		1
			<u>Стандартные изделия</u>	
9			Винт М8-6gx25 ГОСТ 11075-93	1
10			Винт М6-6gx16 ГОСТ 11738-84	2
11			Гайка М8-6Н ГОСТ 5916-70	1
12			Гайка М16x1,5-6Н ГОСТ 5916-70	1
13			Шайба 16 L ГОСТ 6402-70	1
14			Штифт 4x16 ГОСТ 3128-70	2

Обрабатываемая
деталь, должна
отсутствовать в
списке

Рисунок 16.2. Образец спецификации без дополнительных настроек

Из рисунка 16.2 видно, что наименование файлов моделей, без изменения настроек, записывается в качестве атрибута «Обозначение» и в качестве такового отображается в спецификации, а раздел «Наименование» остается незаполненным. Кроме того, в спецификации отображается деталь «Шайба (деталь)», которая является обрабатываемой деталью и не должна выноситься в список деталей.

Помимо этого, часть деталей ошибочно заносится в несоответствующие разделы, примером чего служит деталь «Рукоятка», модель которой выполнена в соответствии со стандартом ГОСТ 8923-69.

Первые две проблемы и частично третья решаются при помощи выполнения настроек списка деталей в среде сборочной модели.

Любой ассоциативный список деталей и спецификация по форме 1, в том числе, строится на основе свойств и параметров моделей, входящих в сборочную единицу. Заполнение данных свойств можно организовать несколькими способами. Во-первых, при помощи окна «Свойства Inventor», открытие которого осуществляется при помощи контекстного меню, вызванного после выделения необходимой детали и активации одноименной функции, пример чего представлен на рисунке 16.3.

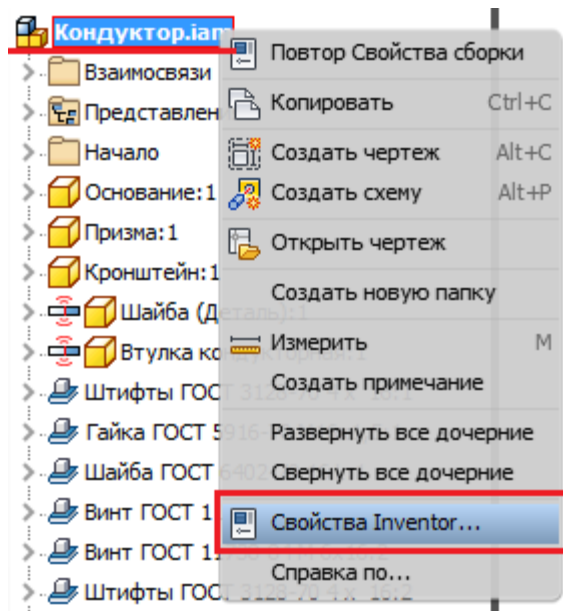


Рисунок 16.3. Вызов окна «Свойства Inventor»

После открытия окна необходимо перейти к вкладке «Проект», в которой заполнить поля «Обозначение» и «Наименование». Стоит отметить, что описанный метод является единственным для задания свойств сборочной модели верхнего уровня, пример заполнения свойств которой показан на рисунке 16.4.

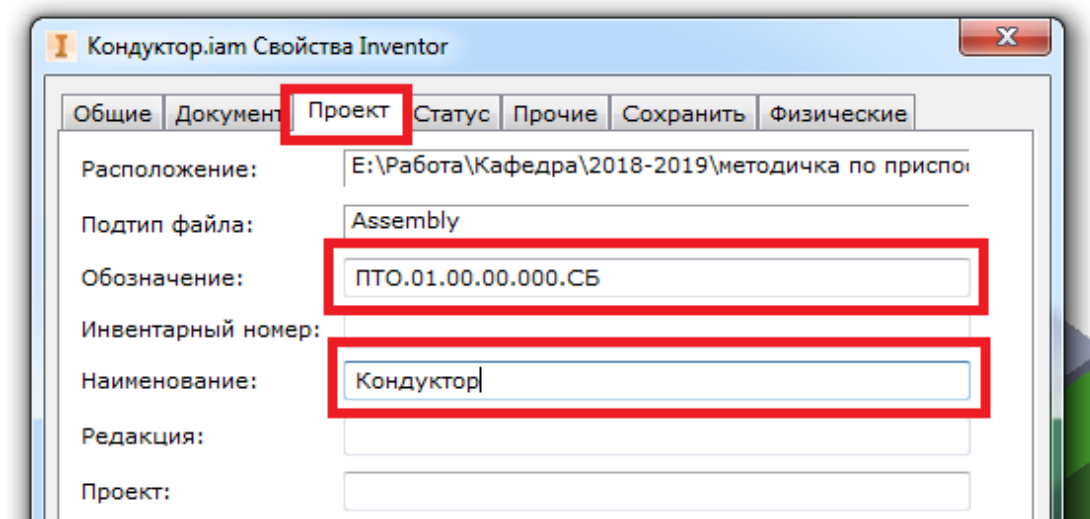


Рисунок 16.4. Задание атрибутов сборки верхнего уровня

При таком подходе для заполнения свойств всех деталей придется проводить повтор действий для каждой модели в отдельности, что является

ся несколько неудобным и достаточно затратным по времени, а также не позволяет наглядно представить будущую спецификацию.

Вторым, и более оптимальным способом заполнения свойств всех моделей, за исключением сборки верхнего уровня, является работа со списком деталей в среде сборочной модели. Открытие данного списка осуществляется при помощи команды «Спецификация», расположенной во вкладке «Сборка» (Рисунок 16.5).

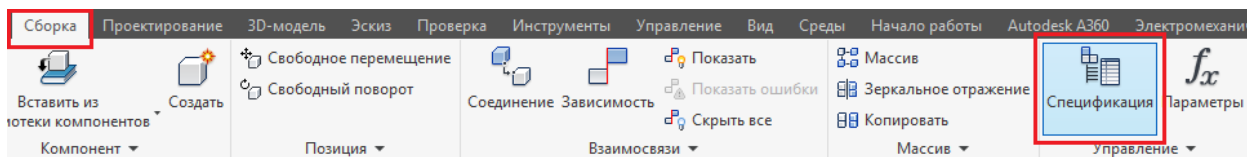


Рисунок 16.5. Расположение функции «Спецификация»

После активации функции перед пользователем открывается окно «Спецификация [...]», пример которого для рассматриваемого приспособления представлен на рисунке (Рисунок 16.6).

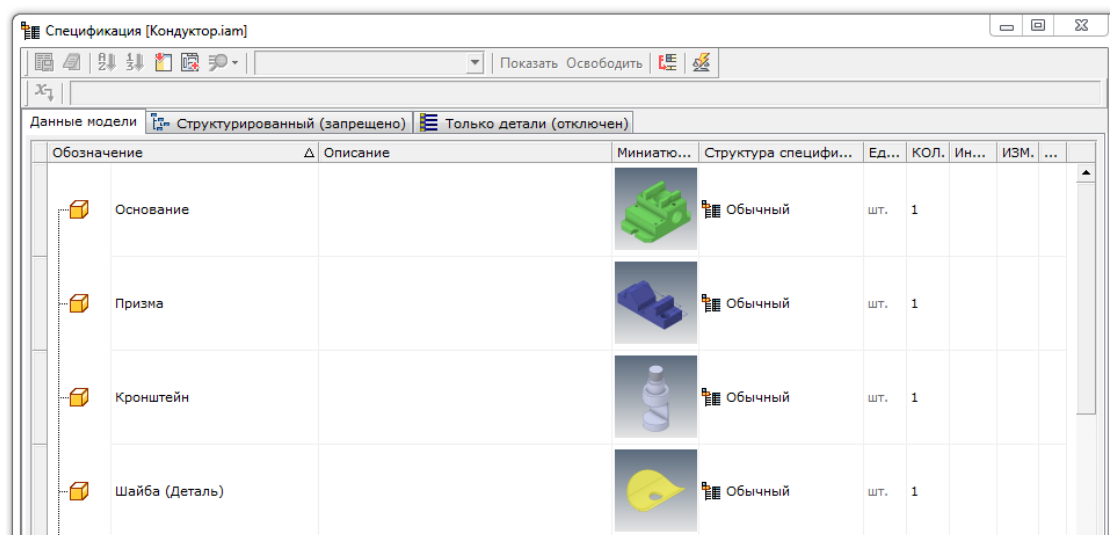


Рисунок 16.6. Окно «Спецификация»

При помощи показанного окна становится возможным управление структурой спецификации при помощи соответствующих ячеек одноименного столбца, расположенного во вкладке «Данные модели». Примени-

тельно к задаче проектирования технологической оснастки данная возможность позволяет управлять статусом детали в рамках спецификации.

Ранее указывалось на необходимость исключения из структуры спецификации детали «Шайба (Деталь)», для этого необходимо в соответствующей ячейке при помощи двойного клика мыши и появившегося элемента управления вызвать выпадающий список, после чего изменить свойство с «Обычный» на «Фантомный». Пример выполнения процедуры показан на рисунке (REF _Ref1375082 \h Рисунок 16.7.

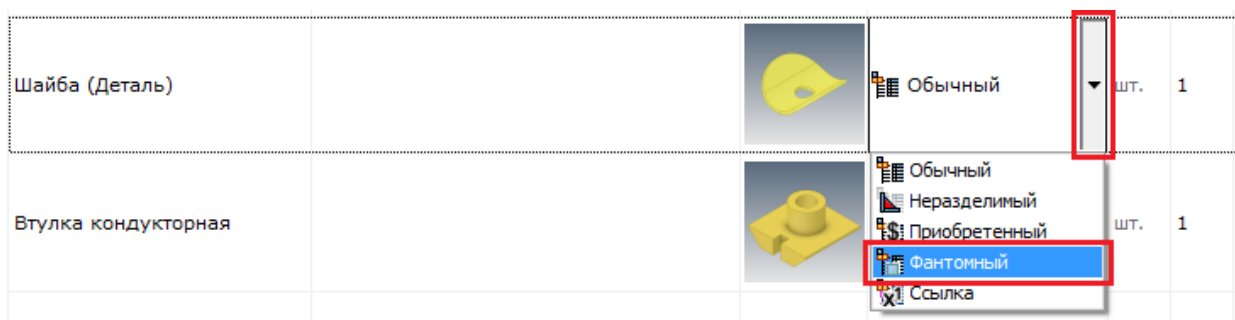


Рисунок 16.7. Изменение свойства структуры спецификации

Следует заметить, что, несмотря на исключение детали из структуры спецификации, ее масса будет учитываться, если массой детали нельзя пренебречь, после построения чертежа возникнет необходимость ручной корректировки массы приспособления [2].

Дальнейшие работы по приведению свойств моделей к требуемому состоянию более оптимально проводить во вкладке «Структурированный», так как данная вкладка позволяет сортировать детали по различным столбцам, что несколько ускорит процесс заполнения.

Вкладка «Структурированный» может находиться в двух состояниях: отключенном и включенном, в случае если после перехода в данную вкладку список деталей пуст либо название вкладки имеет вид «Структурированный (запрещено)» необходимо активировать вкладку при помощи контекстного меню, пример чего показан на рисунке (REF _Ref1375723 \h Рисунок 16.8.

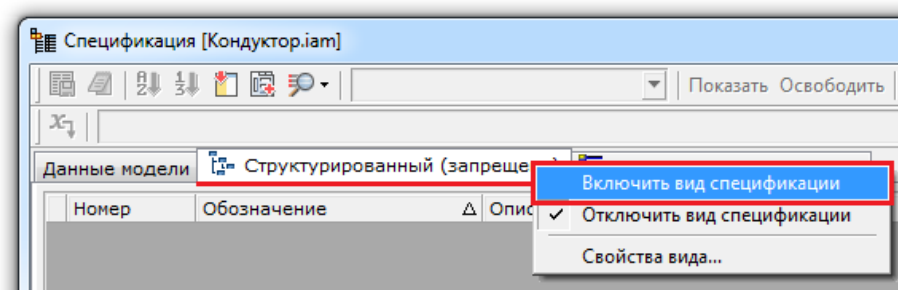


Рисунок 16.8. Активация структурированного вида спецификации

После подключения структурированного вида спецификации пользователю необходимо отсортировать список и заполнить соответствующие ячейки столбцов «Обозначение» и «Описание», пример чего продемонстрирован на рисунке (REF _Ref1376952 \h Рисунок 16.9).

Однако, следует заметить, что в случае, если деталь хоть и является уникальной, но будет учитываться в качестве стандартной, достаточно заполнить только ячейку обозначения, что наглядно продемонстрировано на рисунке 16.9. Данная особенность вызвана спецификой при работе со спецификацией в модуле ЕСКД, и соответствием записей при переносе из группы «Детали» в группу «Стандартные».

Стандартные детали, вставленные в сборочную модель из библиотеки компонентов, редактированию не подлежат и находятся в заблокированном состоянии.

 Структурированный		 Только детали
Обозначение	Описание	Миниатю...
ПТО.01.00.00.005	Плита кондукторная	
ПТО.01.00.00.006	Призма	
Рукоятка 7061-0072 ГОСТ 8923-69		
Шайба 16 L ГОСТ 6402-70	ШАЙБЫ ПРУЖИННЫЕ	
Штифт 4x16 ГОСТ 3128-70	ШТИФТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСК...	

Рисунок 16.9. Пример заполнения свойств спецификации

Показанный алгоритм редактирования свойств моделей является двунаправленным, а результатом его работы является изменение параметров, доступных из окна «Свойства Inventor», пример чего представлен на рисунке 16.10, по отношению к детали «Плита кондукторная».

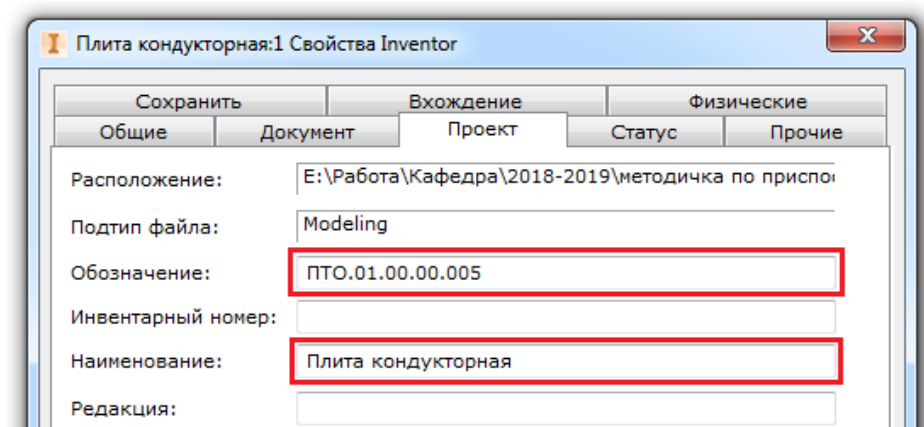


Рисунок 16.10. Пример переноса изменений в свойства модели

После внесения изменений следует перейти во вкладку «Данные мо-

дели» и принять изменения.

Следующим этапом работы является создание и компоновка сборочного чертежа. На данном этапе необходимо отметить лишь одно условие для корректной работы модуля спецификации: оно заключается в том, что в случае использования в рамках одного чертежа видов, созданных более чем с одной модели, требуется первым разместить вид с модели, по которой необходимо подготовить спецификацию. Это вызвано невозможностью указания вида, с которого производится извлечение данных о составе изделия. В случае же использования и модернизации стандартных средств Inventor данное требование теряет актуальность.

После завершения создания чертежа пользователь может перейти к внесению изменений в спецификацию и нанесению позиций на виды чертежа.

В рассматриваемом случае после изменений, выполненных ранее, спецификация примет вид, представленный на рисунке 16.11.

ФОРМАТ	ЗОНА	ИМЕР	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ОПИСАНИЕ	КОЛ.	ПРИМЕЧАНИЯ
				<u>Документация</u>		
			ПТО.01.00.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
				<u>Детали</u>		
		15	ПТО.01.00.00.004	Основание	1	
		2	ПТО.01.00.00.006	Призма	1	
		3	ПТО.01.00.00.003	Кронштейн	1	
		5	ПТО.01.00.00.002	Втулка кондукторная	1	
		9	ПТО.01.00.00.001	Вал эксцентриковый	1	
		10	Ручка 7061-0072 ГОСТ 8923-69		1	
		11	ПТО.01.00.00.005	Плита кондукторная	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		6		Штифт 4x16 ГОСТ 3128-70	2	
		7		Шайба 16 L ГОСТ 6402-70	1	
		8		Винт М6-6x16 ГОСТ 11738-84	2	
		12		Винт М8-6x25 ГОСТ 11075-93	1	
		13		Гайка М8-6Н ГОСТ 5916-70	1	
		14		Гайка М16x1,5-6Н ГОСТ 5916-70	1	

Рисунок 16.11. Текущее состояние спецификации

Из рисунка 16.11 видна необходимость переноса рукоятки в раздел «Стандартные изделия», а также сортировка деталей в соответствии с рекомендациями ГОСТ 2.106-96.

Для переноса детали между разделами необходимо при помощи команды «Спецификация», расположенной во вкладке «Поддержка (ESKD)» (Рисунок 16.12) открыть окно со списком деталей и выделив всю строку с необходимой деталью при помощи контекстного меню выбрать раздел, в который необходимо произвести перенос, пример чего показан на рисунке 16.13.

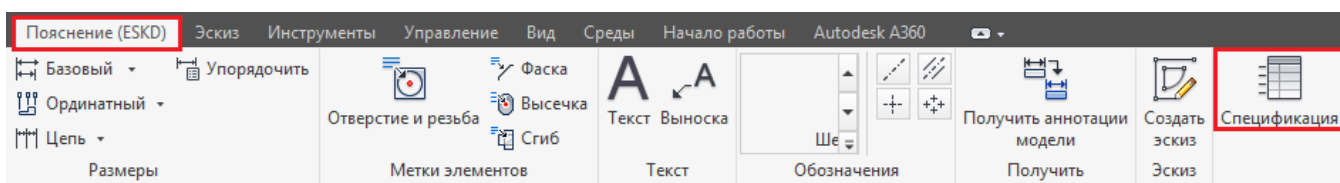


Рисунок 16.12. Функция открытия спецификации

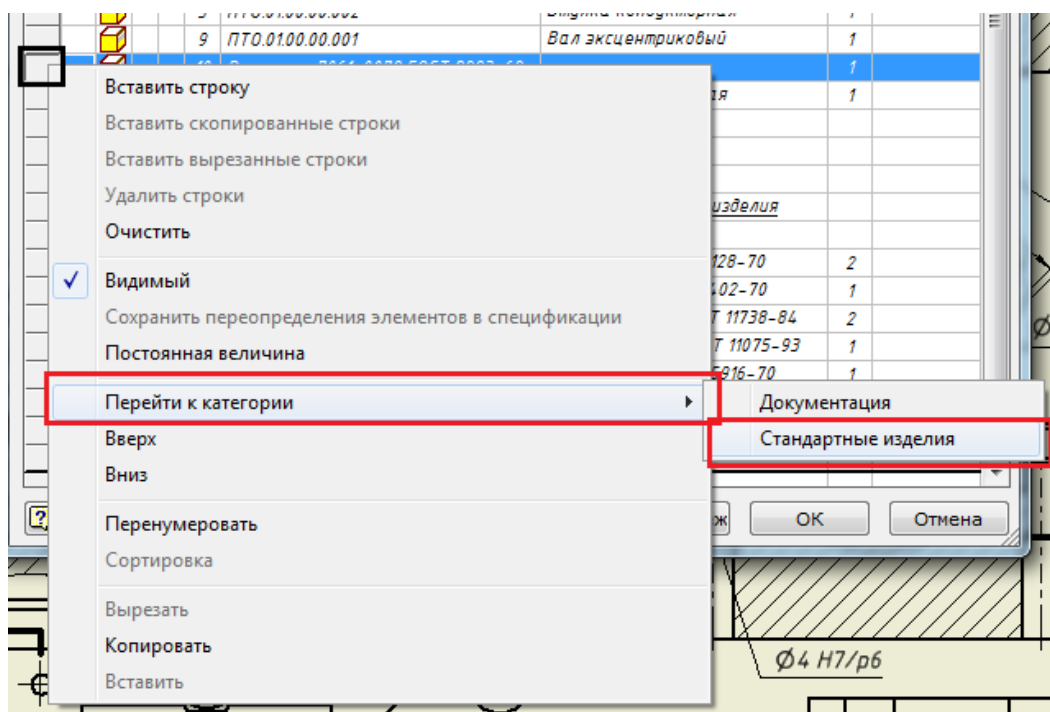


Рисунок 16.13. Процесс переноса детали между разделами

Следует заметить, что в случае отсутствия требуемого раздела его

местить спецификацию на чертеже, экспортировать в MS Excel или выполнить печать.

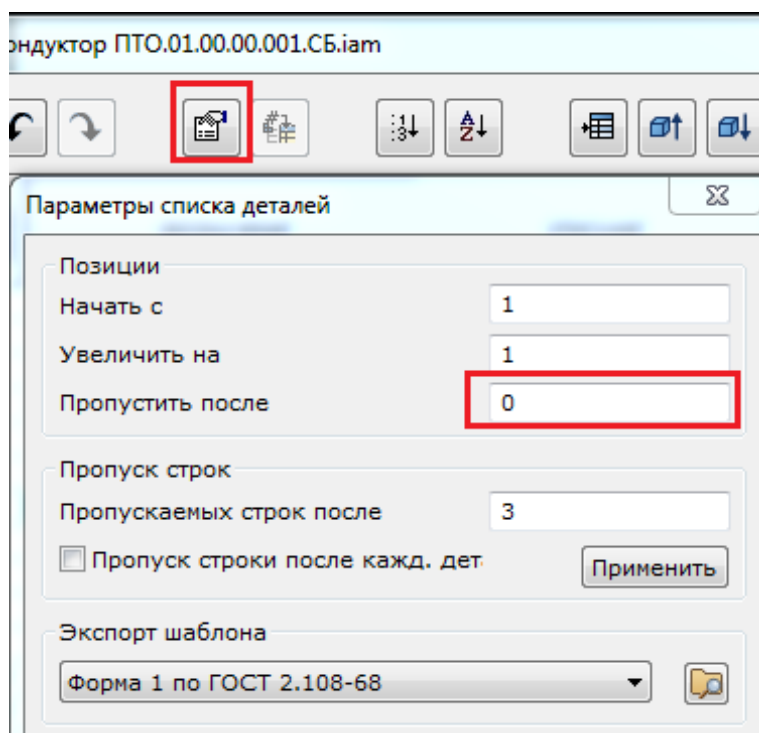


Рисунок 16.15. Настройка параметров нумерации

Если в процессе редактирования и настройки спецификации возникнет необходимость внести изменения в название или обозначение, то данная операция может быть выполнена непосредственно в модуле ЕСКД, но изменения, принятые в рамках него, не будут переданы в модели, так как в данном случае работает только односторонняя ассоциативная связь.

Также при работе с данным модулем пользователь может оперативно контролировать процесс указания позиций на чертеже, так как все обозначенные детали будут помечены в спецификации соответствующим символом, пример которого представлен на рисунке 16.16.

	3	ПТО.01.00.00.003	Кронштейн	1
	4	ПТО.01.00.00.004	Основание	1
	5	ПТО.01.00.00.005	Плита кондукторная	1

Рисунок 16.16. Пример определения наличия позиции на чертеже

В результате выполнения всех рекомендованных действий пользователь получает возможность создания легко редактируемой спецификации, полностью соответствующей стандарту ГОСТ 2.106-96 (ГОСТ 2.108-68).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Из каких этапов состоит алгоритм подготовки спецификации?
2. Какие существуют методы заполнения свойств модели при подготовке спецификации?
3. В чем заключается разница между спецификацией в среде модели и в модуле ЕСКД?
4. Каким образом осуществляется настройка правил нумерации позиции?
5. В чем заключается возможность контроля нанесения позиций на сборочном чертеже?
6. **Индивидуальное задание.** Изучить методику подготовки данных и формирования спецификаций в модуле ЕСКД Autodesk Inventor. Выполнить спецификацию на конструкцию, выполненную в курсовом проекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [14, 15, 16]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гуртяков, А. М. Металлорежущие станки. Расчет и проектирование : учеб. пособие для прикладного бакалавриата / А. М. Гуртяков. — 2-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 135 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-9916-6583-4.
2. Библиотеки компонентов Autodesk Inventor [Электронный ресурс]. URL: <https://knowledge.autodesk.com/ru/support/inventor-products/learn->

explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/RUS/Inventor-Install/files/GUID-ED44AF30-12AB-4B8C-994D-52FC79638B0E-htm.html .

3. Оптимизация работы библиотеки компонентов Inventor [Электронный ресурс]. URL: <http://parathis.blogspot.com/2012/02/inventor.html>

4. Autodesk Inventor. Создание и публикация в Библиотеку компонентов пользовательской детали. [Электронный ресурс]. URL: http://www.idtsoft.ru/_Images/Editor/Inventor_connection_parts_publishing.pdf.

5. Генератор компонентов пружины сжатия. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-E5C8B9B9-81D7-4CA6-85DA-AAA761A62395>

6. Пружины сжатия. Блокнот инженера. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-00F4F1FE-85D3-42F5-813B-F44A8C7908B8> (Дата обращения 06.02.2019)

7. Расчетные формулы для пружин сжатия в метрических единицах измерения. Блокнот инженера. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-41BD02C6-72C6-40F4-80C8-AE2C3B80BF09>

8. Создание и вставка болтовых соединений. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-6E1D4624-B605-4AB1-9DBA-E981495B4933>

9. Диалоговое окно "Генератор болтового соединения" — вкладка "Модель". Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-5DD94FE0-0842-4D8D-894D-FDFD029195CA>

10. Диаграмма предварительного напряжения болтового соединения. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-124D71D8-7697-4432-84AF-750E64818D27>

11. Коэффициент входящей силы n в болтовых соединениях. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-06D1EA74-4A3C-40AA-8A94-149645694122>.

12. Коэффициент трения болтовых соединений. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-42FECCEA-1F24-4470-AA60-5C358AA88A86> (Дата обращения 14.02.2019).

13. Допустимое давление в резьбе болтовых соединений. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-B24924A4-0B30-4B11-8A18-DA06C0804AF8> (Дата обращения 14.02.2019).

14. Спецификация в Autodesk Inventor. Электронный ресурс: <https://www.pointcad.ru/novosti/specifikacii-v-autodesk-inventor>

15. Структура спецификации. Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-A0A95805-CBF6-4524-8314-4AC8B53C19CF>

16. Редактирование компоновки и содержимого списка деталей по ГОСТ (ЕСКД). Электронный ресурс: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS/?guid=GUID-4A9ACC68-8D1A-4C7D-B303-6157146AE6F7>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

«Оборудование машиностроительных производств»

для студентов направления подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения по направленности (профилю) подготовки 15.03.05- Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и отражают основные этапы самостоятельной работы и требования к ее организации. Методические рекомендации составлены в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования, рабочим учебным планом и программой дисциплины «Оборудование машиностроительных производств».

Составитель к.т.н., доцент С.А. Сидоренко

Содержание

Введение.....	4
1. Общая характеристика самостоятельной работы при изучении дисциплины «Оборудование машиностроительных производств».....	5
2. План-график выполнения самостоятельной работы	8
3. Контрольные точки и виды отчетности по ним	
4. Методические рекомендации по изучению теоретического материала	10
5. Методические рекомендации по подготовке к практическим работам	134
6. Рекомендации по организации работ над РГР, примерный календарный план его выполнения	15
7. Порядок защиты и ответственность студента за выполнение задания по РГР.....	15
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
9. Типовые контрольные задания	19

Введение

Самостоятельная работа представляет собой вид к планируемой учебной и учебно-исследовательской деятельности студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основным принципом организации СРС является перевод всех студентов на индивидуальную работу с переходом от формального выполнения определенных заданий при пассивной роли студента к познавательной активности с формированием собственного мнения при решении поставленных проблемных вопросов и задач.

Целями самостоятельной работы студентов является:

- научить студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией,
- заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию;
- развитие самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем;
- самостоятельное овладение знаниями, умениями и навыками из области профессиональными деятельности.

Задачами самостоятельной работы студентов являются:

- систематизация, углубление и закрепление полученных знаний и умений;
- формирование умений использовать нормативную, справочную документацию и специальную литературу;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий.

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление плана работы, подготовка методического обеспечения);
- основной (реализация плана, поиск необходимой информации, переработка и усвоение материала, применение приобретенных знаний и навыков);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация).

1. Общая характеристика самостоятельной работы при изучении дисциплины «Оборудование машиностроительных производств»

Целью изучения дисциплины является формирование набора профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Задачи дисциплины:

- использование современных информационных технологий при проектировании сложных машиностроительных изделий, в том числе с использованием трехмерных методов проектирования и автоматизированного расчета;
- участие в разработке проектной документации в области машиностроительных производств, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
- участие в разработке текстовых документов, входящих в состав конструкторской документации..

Цели и задачи самостоятельной работы: Самостоятельная работа направлена на решения ряда задач, к которым относятся:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умения использовать справочную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов:
- творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Виды самостоятельной работы

Рабочей программой по дисциплине предусмотрено самостоятельное изучение материалов по темам, подготовка к практическим занятиям и выполнение РГР.

К основным видам самостоятельной работы студентов относятся:

- формирование и усвоение содержания конспекта по заданным темам на базе рекомендованной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- выполнение РГР;

В результате выполнения указанных видов самостоятельной работы происходит формирование профессиональных компетенций, представленных ниже:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-3. Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование	ИД-1 _{ОПК-3} Способен применять правила эксплуатации технологического оборудования	Умеет применять правила эксплуатации технологического оборудования
	ИД-2 _{ОПК-3} Соблюдает требования по размещению машиностроительного оборудования, средств технологического оснащения и технологического сопровождения	Знает требования по размещению машиностроительного оборудования, средств технологического оснащения и технологического сопровождения

	ИД-3 _{ОПК-3} Демонстрирует знание основных характеристик машиностроительного производства, технических характеристик технологического оборудования	Знает основные характеристики машиностроительного производства, технические характеристики технологического оборудования
ОПК-8. Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа.	ИД-3 _{ОПК-8} Выбирает оптимальные варианты решения проблем, связанные с машиностроительными производствами	Умеет анализировать и выбирать оптимальные варианты решения проблем, связанные с проектированием и использованием оборудования для машиностроительного производства.
ПК-9. Способен осуществлять пусконаладочные работы простого технологического оборудования механосборочного производства.	ИД-1 _{ПК-9} Анализирует конструкцию технологического оборудования механосборочного производства, его механизмов и систем с целью выявления специфики эксплуатации	Умеет анализировать конструкцию технологического оборудования механосборочного производства, его механизмов и систем с целью выявления специфики эксплуатации
	ИД-2 _{ПК-9} Проводит индивидуальные испытания простого технологического оборудования механосборочного производства.	Умеет проводить индивидуальные испытания простого технологического оборудования механосборочного производства.
	ИД-3 _{ПК-9} Осуществляет методическое обеспечение эксплуатации простого технологического оборудования механосборочного производства	Умеет разрабатывать и использовать конструкторскую и технологическую документацию по эксплуатации простого технологического оборудования механосборочного производства

Для успешного выполнения данного вида работ, необходимо самостоятельно детально изучить материалы по представленным темам по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Рекомендуемые источники информации (№ источника)			
		Основная	Дополни-	Методи-	Интернет-

			тельная	ческая	ресурсы
1	Самостоятельное изучение материала по темам 1-18	1,2	1,2	1,2, 3	1
2	Подготовка к лекционным занятиям	1,2	1,2	1,2, 3	1
3	Подготовка к практическим занятиям	1,2	1,2	1,2, 3	1
4	Выполнение РГР	1,2	1,2	1,2, 3	1
5	Подготовка к экзамену	1,2	1,2	1,2, 3	1

При изучении материалов по каждой теме необходимо составить краткий конспект наиболее важной информации.

Помимо самостоятельного изучения материалов по темам к самостоятельной работе студентов относится подготовка к занятиям, по результатам которой студент представляет отчет преподавателю и проходит собеседование.

При самостоятельной подготовке к занятию студент:

- организует свою деятельность в соответствии с методическим руководством по выполнению практических работ;
- изучает информационные материалы;
- подготавливает и оформляет материалы практических работ в соответствии с требованиями.

2. План-график выполнения самостоятельной работы

Правильная организация самостоятельной работы и ее систематичность, позволяет развивать умения и навыки; проводить систематизацию полученных знаний, обеспечивать высокий уровень успеваемости в период обучения, получить навыки повышения профессионального уровня.

Студентам при самостоятельном изучении материалов по представленным темам следует придерживаться приведенного ниже графика:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Срок изучения материалов
1	Основные задачи проектирования станков	1 неделя
2	Методологические принципы проектирования обо-	2 неделя

	рудования	
3	Этапы проектирования и изготовления оборудования	3 неделя
4	Обоснование технических характеристик оборудования	4 неделя
5	Графоаналитический метод расчета кинематических схем коробок скоростей и подач.	5 неделя
6	Особые множительные структуры.	6 неделя
7	Особенности проектирования кинематических схем станков	7 неделя
8	Валы и шпиндельные узлы станков на опорах качения.	8 неделя
9	Шпиндельные узлы на гидродинамических опорах	9 неделя
10	Шпиндельные узлы на гидростатических опорах	10 неделя
11	Шпиндельные узлы на аэростатических опорах	11 неделя
12	Направляющие станков	12 неделя
13	Направляющие смешанного трения.	13 неделя
14	Направляющие качения	14 неделя
15	Направляющие гидростатические	15 неделя
16	Несущая система станка.	16 неделя
17	РГР	1-16 недели

Технологическая карта самостоятельной работы обучающегося

очная форма обучения

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
6 семестр					
ИД-1 _{ОПК-3} ИД-2 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-8} ; ИД-1 _{ПК-9} ; ИД-2 _{ПК-9} ; ИД-3 _{ПК-9}	Подготовка к лекциям	Собеседование	2,9	0,3	3,2
	Подготовка к практическим занятиям	Собеседование	5,8	0,6	6,4
	Выполнение РГР	Защита РГР	13,5	1,5	15
	Самостоятельное изучение материала по темам 1-16	Собеседование	33,6	3,8	37,4
	Подготовка к экзамену	Собеседование	52,5	1,5	54

Итого за 6 семестр		108,3	7,7	116
Итого		108,3	7,7	116

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация в форме **экзамена** предусматривает проведение обязательной экзаменационной процедуры.

Текущая аттестация студентов проводится преподавателями, ведущими практические занятия по дисциплине, в форме собеседования проводимого по результатам выполнения практических работ. Допуск к защите практических работ происходит при наличии у студентов выполненного задания. Защита отчета проходит в форме собеседования по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Максимальное количество баллов студент получает, если задание соответствует установленным требованиям, а ответы на задаваемые вопросы полностью раскрывают суть работы.

Основанием для снижением оценки являются:

- небрежное оформление отчета;.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неверные результаты расчетов или измерений;
- ошибки в выводах;
- неспособность защиты материала практической работы;
- не согласие студента с оценкой.

Критерии оценивания компетенций указаны после каждого вида самостоятельной работы.

4. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке исполь-

зуются алфавитный и систематический каталоги. Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа. Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют четыре основные установки в чтении научного текста:

- информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как мож-

но полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)

- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)

- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ КОНСПЕКТА:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе

непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;
3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;
4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.
5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

5. Методические рекомендации по подготовке к практическим работам

Выполнение практических работ, как и другие виды учебной деятельности, содержит много возможностей применения активных методов обучения и организации СРС на основе индивидуального подхода. При проведении практикума создаются условия для максимально самостоятельного выполнения работ. Поэтому при выполнении работы осуществляется:

1. Устный экспресс-опрос по теоретическому материалу, необходимому для выполнения работы. Результаты опроса являются допуском к выполнению работы.
2. Проверка порядка выполнения работы, оформленного на отчете, под-

готовленном студентом дома.

3. Оценка работы студента в аудитории и полученных им данных. В случае получения студентом не достоверных результатов, эксперимент необходимо повторить.

4. Проверка качества выполнения отчета по работе и логичности сделанных выводов.

5. Защита работы в виде беседы со студентом по анализу полученных результатов, выводов и теоретическим основам материала.

Любая работа включает глубокую самостоятельную проработку теоретического материала, изучение методик проведения и планирование эксперимента, освоение измерительных средств, обработку и интерпретацию экспериментальных данных. В ряд работ включены разделы с дополнительными элементами научных исследований, которые потребуют углубленной самостоятельной проработки теоретического материала.

При подготовке к практической работе необходимо изучить теоретический материал, представленный в методических указаниях и в рекомендуемой литературе, ознакомиться с техникой безопасности и методикой проведения работы, подготовить отчет, содержащий журнал с пустыми таблицами для заполнения полученными данными.

Содержание отчета к практической работе и его форма

В отчете к практической работе должны содержаться: название работы, цель, аппаратура и материалы, методика выполнения работы в соответствии с полученным заданием, приведены необходимые справочные данные по исследуемой нефти. В отчете должны быть представлены данные, полученные в процессе проведения исследования, схемы приборов для проведения соответствующих испытаний, формулы, расчеты и вывод. В практических работах, содержащих типовые задачи, необходимо представить решение задачи согласно указанному преподавателем варианту.

Результаты практической работы анализируются студентом самостоятельно, делаются выводы, которые также отражаются в рабочем журнале. По окончании практических работ рабочий журнал представляется для проверки преподавателю.

Защита работы

Защита работы заключается:

- в выполнении задания и оформлении отчета по работе;
- в ответах на контрольные и дополнительные вопросы по й работе.

6. Рекомендации по организации работ над РГР, примерный календарный план его выполнения

Работа над проектом начинается с поиска и анализа литературы по разрабатываемой теме. Для оригинальных решений выполняется патентный поиск аналогичных технических решений по фондам библиотеки университета или электронным источникам информации.

Примерный календарный план выполнения РГР:

1 – 2 недели семестра – получение задания на РГР;

3 – 4 недели семестра – патентный поиск и анализ исходной технической документации;

5 – 11 недели семестра – выполнение основного объема РГР;

12 – 15 недели семестра – оформление и защита РГР.

Консультации по РГР проводятся по установленному графику.

7. Порядок защиты и ответственность студента за выполнение задания по РГР

Выполненная РГР, оформленная в соответствии с требованиями, представляется руководителю работы. В случае, если работа выполнена технически

грамотно, оформлена в соответствии с требованиями, и студент при собеседовании проявляет достаточные знания, работа подписывается руководителем и студент допускается к защите.

При защите работы студент должен сделать доклад на 5 – 7 минут, в котором должен отразить обоснование теоретических и практических результаты разработки. По окончании доклада комиссия задает ряд вопросов как непосредственно по рассматриваемому вопросу, так и по смежным дисциплинам.

РГР и защита оценивается по четырехбальной системе: отлично, хорошо, удовлетворительно и неудовлетворительно.

При определении дифференцированной оценки за РГР учитывается глубина проработки вопросов, использование современной вычислительной техники, определенность выводов и рекомендаций, оформление расчетно-пояснительной записки и графической части работы в соответствии с изложенными выше требованиями ГОСТов и отраслевых стандартов.

При оценке учитывается характеристика руководителя проекта о работе студента при выполнении РГР.

При защите РГР на оценку «неудовлетворительно» студенту выдается новая тема РГР.

8. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Балла, О. М. Технологии и оборудование современного машиностроения / О. М. Балла. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 392 с. — ISBN 978-5-507-45842-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/288815> (дата обращения: 17.01.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Расчет и конструирование металлорежущих станков : учебное пособие / В. Ю. Скиба, С. В. Птицын, В. В. Иванцовский, Е. А. Зверев. — Новосибирск : НГТУ, 2023. — 236 с. — ISBN 978-5-7782-5060-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/404300> (дата обращения: 17.01.2025). — Режим до-

ступа: для авториз. пользователей.

Перечень дополнительной литературы:

1. Афанасенков, М. А. Технологическое оборудование машиностроительных производств. Металлорежущие станки : учебник для вузов / М. А. Афанасенков, Ю. М. Зубарев, Е. В. Моисеева ; Под редакцией Ю. М. Зубарева. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 284 с. — ISBN 978-5-8114-7806-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180776>.
2. Попов, П. Е. Оборудование машиностроительных производств : учебное пособие / П. Е. Попов, Д. А. Блохин, А. Г. Кисель. — Омск : ОмГТУ, 2022. — 144 с. — ISBN 978-5-8149-3433-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/343598>

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

- 1 Электронная версия методических указаний к выполнению РГР по дисциплине «Оборудование машиностроительных производств» для направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 2026.
- 2 Электронная версия методических указаний к самостоятельной работе по дисциплине «Оборудование машиностроительных производств» для направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 2026
- 3 Электронная версия методических указаний к выполнению практических занятий по дисциплине «Оборудование машиностроительных производств» для направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 206

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <https://www.chipmaker.ru> Chipmaker.ru Все о работе с металлом
2. <http://cccp3d.ru/> Форум CAD/CAM/CAE/PLM
3. <https://cad.ru/ru/> Русская промышленная компания

4. <http://sapr.ru/> Журнал САПР и графика

9. Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

Тема 1.	Основные задачи проектирования станков
1	Основные задачи проектирования станков
2	Патентная чистота оборудования
Тема 2.	Методологические принципы проектирования оборудования
1	Методологические принципы проектирования оборудования
2	Законы проектирования
Тема 3.	Этапы проектирования и изготовления оборудования
1	Этапы проектирования оборудования
2	Этапы изготовления оборудования
Тема 4.	Обоснование технических характеристик оборудования
1	Методика обоснования технических характеристик
2	Выбор режимов обработки
Тема 5.	Графоаналитический метод расчета кинематических схем коробок скоростей и подач.
1	Графоаналитический метод расчета приводов станков. Обоснование скоростей быстрых ходов.
2	Автоматизированное проектирование привода главного движения
Тема 6.	Особые множительные структуры.
1	Гитары сменных шестерен
2	Многоскоростные двигатели
Тема 7.	Особенности проектирования кинематических схем станков
1	Стандарт на проектирование кинематических схем
2	Типовые кинематические элементы
Тема 8.	Валы и шпиндельные узлы станков на опорах качения.
1	Особенности расчета валов
2	Особенности расчета шпиндельных узлов
Тема 9.	Шпиндельные узлы на гидродинамических опорах
1	Шпиндельные узлы на гидродинамических опорах
2	Расчет шпиндельных узлов на гидродинамических опорах
Тема 10.	Шпиндельные узлы на гидростатических опорах

1	Шпиндельные узлы на гидростатических опорах
2	Расчет шпиндельных узлов на гидростатических опорах

Тема 11.	Шпиндельные узлы на аэростатических опорах
1	Шпиндельные узлы на аэростатических опорах
2	Расчет шпиндельных узлов на аэростатических опорах

Тема 12	Направляющие станков.
1	Типы направляющих. Направляющие смешанного трения.
2	Направляющие качения

Тема 13	Направляющие смешанного трения
1	Направляющие смешанного трения
2	Расчет направляющих смешанного трения

Тема 14	Направляющие качения
1	Направляющие качения
2	Расчет направляющих качения

Тема 15	Направляющие гидростатические
1	Направляющие гидростатические
2	Расчет направляющих гидростатических

Тема 16	Несущая система станка.
1	Несущая система станка
2	Расчет корпусных деталей

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий, при ответе на вопрос привлечены дополнительные источники информации, в том числе и многовариантный анализ ситуации, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если знания, умения и навыки отсутствуют, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоения компетенций.

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: диалог преподавателя со студентом и ответ студентом на вопросы по темам дисциплины. Перед

собеседованием по теме студент должен выполнить и защитить практические и лабораторные работы.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции ИД-1_{ОПК-3}; ИД-2_{ОПК-3}; ИД-3_{ОПК-3}; ИД-1_{ПК-8}; ИД-1_{ПК-9}; ИД-2_{ПК-9}; ИД-3_{ПК-9}. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по практическим занятиям и лабораторным работам, справочными таблицами.

При проверке задания оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- правильность и четкость ответов;
- правильность речи в быстром или умеренном темпе;
- умение использовать методическую, научную и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-1 _{ОПК-3} ИД-2 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-8} ; ИД-1 _{ПК-9} ; ИД-2 _{ПК-9} ; ИД-3 _{ПК-9}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность и четкость ответов	
	правильность речи в быстром или умеренном темпе	
	умение использовать методическую, научную и техническую литературу	
	инициативность в поиске информации	

Комплект заданий для РГР

Тема РГР «Проект привода главного движения (или подачи) металлорежущего станка (по индивидуальному заданию)» – задания индивидуальные.

Целью РГР является практическое освоение этапов анализа и проектирования основных механизмов привода станка для выполнения механической обработки.

Объем расчетно-графической работы

Работа состоит из 2 листов чертежей формата А1, выполненных с использованием одного из графических пакетов и пояснительной записки, содержащей до 20 листов формата А4, выполненных с использованием ЭВМ.

Содержание чертежей:

1 лист - Развертка проектируемого узла.

2 лист - Поперечное сечение проектируемого узла (свертка).

Подробный перечень требуемых чертежей и содержание расчетно-пояснительной записки приводятся в индивидуальном задании.

Содержание расчетно-графической работы

Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

1_Компоновка коробки скоростей (подач).

2 Автоматизированное проектирование конструкции. Заключение. Список использованных источников.

Тема 1. Проектирование коробки скоростей или подач

Задание 1 Компоновка коробки скоростей(подач).

Тема 2 Автоматизированное проектирование конструкции.

Задание 2 Автоматизированный расчет и проектирование зубчатых колес.

Задание 3 Автоматизированный расчет и проектирование валов.

Задание 4 Автоматизированный расчет и проектирование шпоночных соединений колес.

Задание 5 Автоматизированный расчет и проектирование шлицевых соединений.

Задание 6 Автоматизированный расчет и проектирование подшипников.

1. Критерии оценивания компетенций.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий проектирования и анализа, при анализе привлечены дополнительные источники информации, в том числе и многовариантный анализ ситуации, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если знания, умения и навыки отсутствуют, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоения компетенций.

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: защиту РГР.

Предлагаемые студенту задания по контрольной работе позволяют проверить компетенции ИД-1_{ОПК-3}; ИД-2_{ОПК-3}; ИД-3_{ОПК-3}; ИД-1_{ПК-8}; ИД-1_{ПК-9}; ИД-2_{ПК-9}; ИД-3_{ПК-9}.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования любыми источниками.

При проверке заданий, оцениваются: соответствие содержания заданию на контрольной работу, последовательность и рациональность выполнения заданий, самостоятельность выполнения работы, правильность и точность расчётов, правильность выполнения чертежей и их соответствие действующим стандартам, ЕСКД и другим нормативным документам.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-1 _{ОПК-3} ИД-2 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-8} ; ИД-1 _{ПК-9} ; ИД-2 _{ПК-9} ; ИД-3 _{ПК-9}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность и четкость ответов	
	правильность речи в быстром или умеренном темпе	
	умение использовать методическую, научную и техническую литературу	
	инициативность в поиске информации	

Вопросы к экзамену

Вопросы (задача, задание) для проверки уровня обученности

Критерии качества станков. Стандартизация, унификация, как основа высокоэффективного проектирования.

Определение основных технических характеристик при проектировании станков.

. Определение мощности привода станка.

Рекомендации для выбора оптимального варианта формулы структуры приводов.

Графоаналитический метод расчета приводов станков. Обоснование скоростей быстрых ходов.

Автоматизированное проектирование привода главного движения.

Предельные передаточные отношения и определение чисел зубьев зубчатых колес.

. Особенности выбора электродвигателя станка для привода главного движения.

Типы направляющих. Направляющие смешанного трения.

Направляющие качения

Расчет валов и шпинделей МРС.

Шпиндельные узлы станков на опорах качения.

Шпиндельные узлы на гидростатических опорах.

Корпусные детали станков. Особенности выбора материала.

Кинематический расчет привода со сменными зубчатыми колесами, со связанными колесами.

Кинематический расчет привода с бесступенчатым регулированием.

Особенности кинематического расчета станков со сложной структурой

Направляющие станков. Методика расчета направляющих.

Гидростатические и гидродинамические направляющие станков

Шпиндельные узлы на аэроостатических опорах.

Кинематический расчет привода с многоскоростным электродвигателем.

Кинематический расчет привода с измененными характеристиками группы передач.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных ситуаций, при ответе на вопрос привлечены дополнительные источники информации, в том числе и многовариантный анализ ситуации, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если знания, умения и навыки отсутствуют, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоения компетенций.

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения экзамена осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ.

В экзаменационный билет включаются 2 вопроса. Ответ повышенного уровня отличается от ответа базового уровня многовариантностью рассматриваемых ситуаций и необходимостью выполнить качественный и количественный анализ при обосновании принятых решений. При ответе повышенного уровня, как правило, должна быть использована информация из специальной и научной литературы.

Для подготовки по билету отводится 30 минут.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочниками и калькулятором.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-1 _{ОПК-3} ИД-2 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-3} ИД-3 _{ОПК-8} ; ИД-1 _{ПК-9} ; ИД-2 _{ПК-9} ; ИД-3 _{ПК-9}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность и четкость ответов	
	правильность речи в быстром или умеренном темпе	
	умение использовать методическую, научную и техническую литературу	
	инициативность в поиске информации	

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНЖЕНЕРИИ
ДЕПАРТАМЕНТ «ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И
ИНЖЕНЕРНОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине
«Оборудование машиностроительных производств»
для студентов по направлению подготовки
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

Методические указания предназначены для студентов по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств. Направленность (профиль) «Технология машиностроения».

Предназначены для выполнения РГР по дисциплине «Оборудование машиностроительного производства».

Составитель: И. А. Пинахин

Содержание

1. Формулировка задания и его объем.....	4
2. Кинематический расчет привода главного движения станка.....	5
2.1 Выбор исходных данных.....	5
2.2 Выбор структуры и построение структурной сетки.....	5
2.3 Построение графика частот вращения.....	10
2.4 Расчет чисел зубьев колес	14
3. Конструктивный расчет механизма станка	20
3.1 Кинематический и силовой расчет привода.....	20
3.2 Выбор и расчёт муфт привода	22
3.2.1 Выбор муфты быстроходного вала	22
3.2.2 Расчет муфты тихоходного вала	23
3.3 Расчет цилиндрической прямозубой передачи.....	23
Литература	30

1. Формулировка задания и его объем

РГР выполняется на тему: «Расчет привода главного движения (или подач) металлорежущего станка (по индивидуальному заданию)»

Работа состоит из пояснительной записки, содержащей до 20 листов формата А4, выполненных с использованием ЭВМ.

Подробный перечень требуемых чертежей и содержание расчетно-пояснительной записки приводятся в индивидуальном задании.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Знаменатель геометрического ряда ϕ	1,41	1,26	1,78	1,58	1,26	1,41	1,41	1,41	1,58	1,26
Количество скоростей s	$s = 12$ $= 3_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$	$s = 18$ $= 3_1 \cdot 3_2 \cdot 2_2$	$s = 8$ $= 2_3 \cdot 2_2 \cdot 2_1$	$s = 12$ $= 2_1 \cdot 3_2 \cdot 2_3$	$s = 12$ $= 3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_2$	$s = 12$ $= 2_3 \cdot 3_2 \cdot 2_1$	$s = 12$ $= 3_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$	$s = 8$ $= 2_1 \cdot 2_3 \cdot 2_2$	$s = 12$ $= 3_2 \cdot 2_1 \cdot 2_3$	$s = 12$ $= 3_2 \cdot 2_3 \cdot 2_1$
Минимальная частота вращения шпинделя n_{min} , мин ⁻¹	31,5	36	15	18	64	42	22	36	12	58
Мощность электродвигателя $N_{дв}$, кВт	0,75	4,0	1,5	1,5	3,0	4,0	5,5	3,0	15	1,5

Параметр	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Знаменатель геометрического ряда ϕ	1,41	1,26	1,41	1,26	1,41	1,26	1,41	1,58	1,41	1,41
Количество скоростей s	$s = 12$ $= 3_3 \cdot 2_2 \cdot 2_1$	$s = 12$ $= 3_3 \cdot 2_1 \cdot 2_2$	$s = 12$ $= 2_2 \cdot 3_1 \cdot 2_3$	$s = 12$ $= 2_3 \cdot 3_1 \cdot 2_2$	$s = 12$ $= 2_1 \cdot 3_3 \cdot 2_2$	$s = 12$ $= 2_2 \cdot 3_3 \cdot 2_1$	$s = 12 =$ $2_1 \cdot 2_2 \cdot 3_3$	$s = 8$ $= 2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$	$s = 8$ $= 2_3 \cdot 2_2 \cdot 2_1$	$s = 12 =$ $2_2 \cdot 2_1 \cdot 3_3$
Минимальная частота вращения шпинделя n_{min} , мин ⁻¹	22,5	88	56	110	50	94	48	16	82	30
Мощность электродвигателя $N_{дв}$, кВт	7,5	2,2	5,5	2,2	2,2	4,0	5,5	2,2	1,1	1,5

Параметр	№ варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Знаменатель геометрического ряда φ	1,26	1,41	1,41	1,26	1,41	1,26	1,41	1,41	1,41	2,0
Количество скоростей s	$s = 12 = 2_2 \cdot 2_3 \cdot 3_1$	$s = 12 = 2_3 \cdot 2_1 \cdot 3_2$								
Минимальная частота вращения шпинделя n_{min} , мин ⁻¹	102	26								
Мощность электродвигателя $N_{дв}$, кВт	11,0	7,5								

2. Кинематический расчет привода главного движения станка

2.1 Выбор исходных данных

Исходные данные:

1. Знаменатель геометрического ряда $\varphi = 1,41$.
2. Количество скоростей $s = 12$.
3. Минимальная частота вращения шпинделя $n_{min} = 31,5$ мин⁻¹.
4. Требуемая мощность электродвигателя $N_{дв} = 5,5$ кВт.

2.2 Выбор структуры и построение структурной сетки

При разработке кинематической схемы коробки скоростей, вычислив s , составляют структурную формулу, строят структурную сетку, а затем график частот вращения. Каждый шаг должен рассматриваться в вариантах, из которых один, наиболее эффективный, выбирают для проработки на последующем этапе.

Структурная формула (формула структуры) показывает количество групп передач, порядок их конструктивного расположения и кинематический порядок. Например, структурная формула $s = 12 = 2_2 \cdot 3_3 \cdot 2_1$ означает, что должно быть три группы передач ($p_1 = 2$; $p_2 = 3$; $p_3 = 2$) в указанном

конструктивном порядке, а кинематический порядок этих передач обозначен индексами (2; 3; 1). От кинематического порядка групп зависит характеристика каждой группы передач, которая нарастает от группы к группе.

Согласно этому порядку одна из групп (любая) является основной, для нее $x = 1$. Характеристика каждой последующей в кинематическом порядке группы (второй, третьей и других переборных групп) равна произведению чисел передач p всех групп, предшествующих в кинематическом порядке.

Для структурной формулы $s = 12 = 2_2 \cdot 3_3 \cdot 2_1$ основной группой в кинематическом порядке является третья, затем – первая и вторая.

Тогда характеристики этих групп:

- основная – $x_3 = 1$;
- первая переборная – $x_1 = p_3 = 2$;
- вторая переборная – $x_2 = p_3 \cdot p_1 = 2 \cdot 2 = 4$.

Каждой выбранной структурной формуле однозначно соответствует структурная сетка, которая отличается от графика частот вращения обязательной симметричностью. Постоянные (одиночные) передачи в сетке не отражаются. Она не показывает частоты вращения и передаточные величины, а лишь отражает соотношение между передаточными величинами в каждой группе, т.е. число интервалов ($lg\varphi$) между концами соседних лучей.

Для построения структурной сетки $s = 12 = 2_2 \cdot 3_3 \cdot 2_1$ (рисунок 1) проводят горизонтальные линии, соответствующие валам, – на одну больше, чем число сомножителей в структурной формуле. Вертикально проводят s линий – по числу ступеней скорости. Сбоку пишут число передач p_i и характеристику x_i для каждой группы передач в конструктивном порядке.

Построение структурной сетки начинают с точки 0. Из каждой выделенной точки проводят столько лучей, сколько передач p в данной группе, причем число интервалов $lg\varphi$ между концами смежных лучей равно характеристике x данной группы.

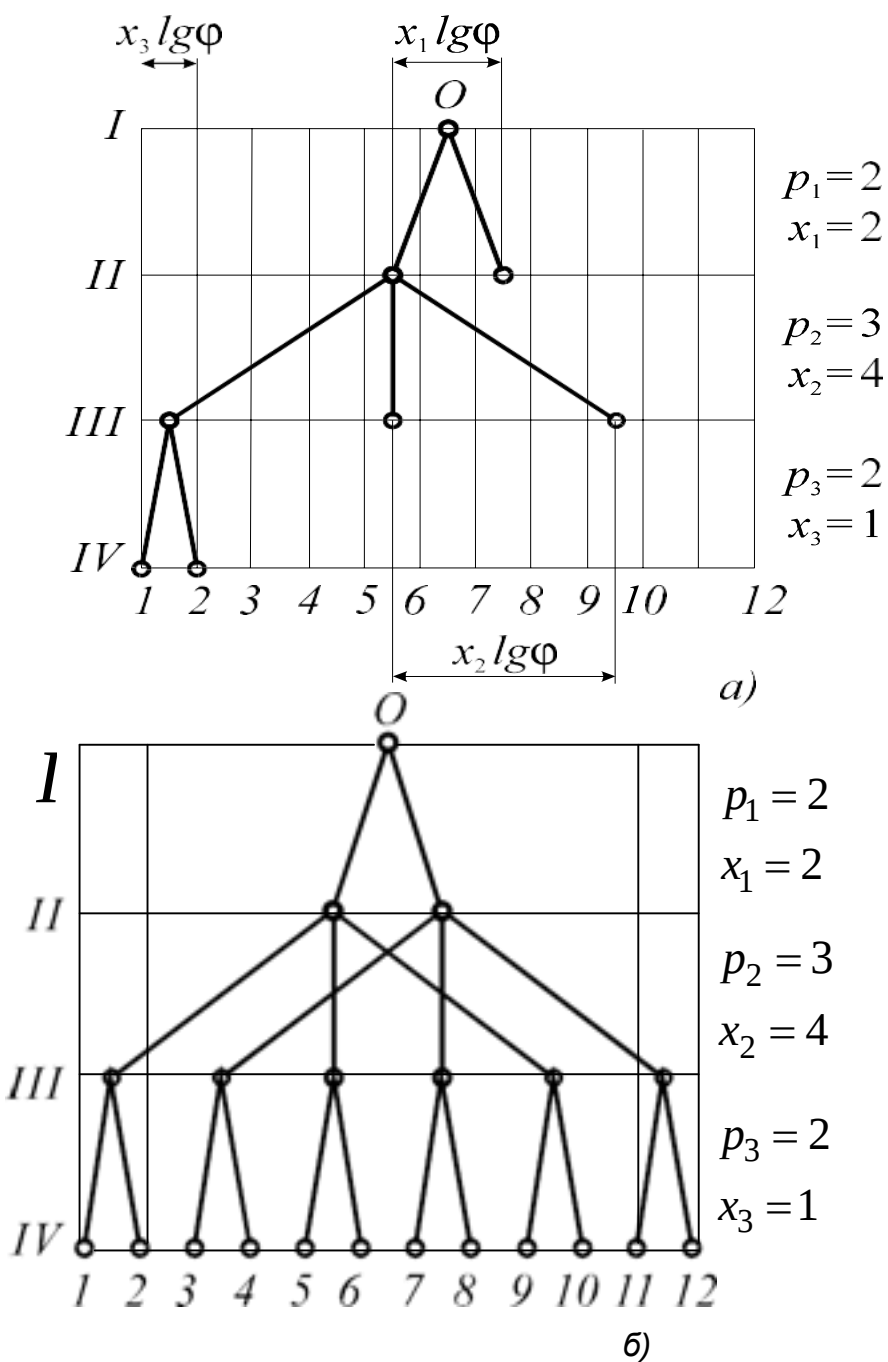


Рисунок 1 — Построение структурной сетки для $s = 12 = 2_2 \cdot 3_3 \cdot 2_1$: *a* — начало построения; *б* — полная сетка

Если необходимо искусственно уменьшить число ступеней скорости s , не изменяя сомножителей в структурной формуле (кратных 2 и 3), то следует характеристику последней в кинематическом порядке группы уменьшить на разность между числом ступеней, которое получается из сомножителей и числом ступеней, которое требуется получить.

Пример. Пусть требуется $s = 10$ ступеней. При этом сомножители в структурной формуле должны быть 2 и 3.

Примем следующую структурную формулу $s = 12 = 3_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$. Но структурную сетку (рисунок 2) построим с измененной характеристикой последней группы передач (уменьшив ее на $12 - 10 = 2$). Тогда каждую из двух частот вращения (5 и 6) можно получить двумя разными вариантами передач.

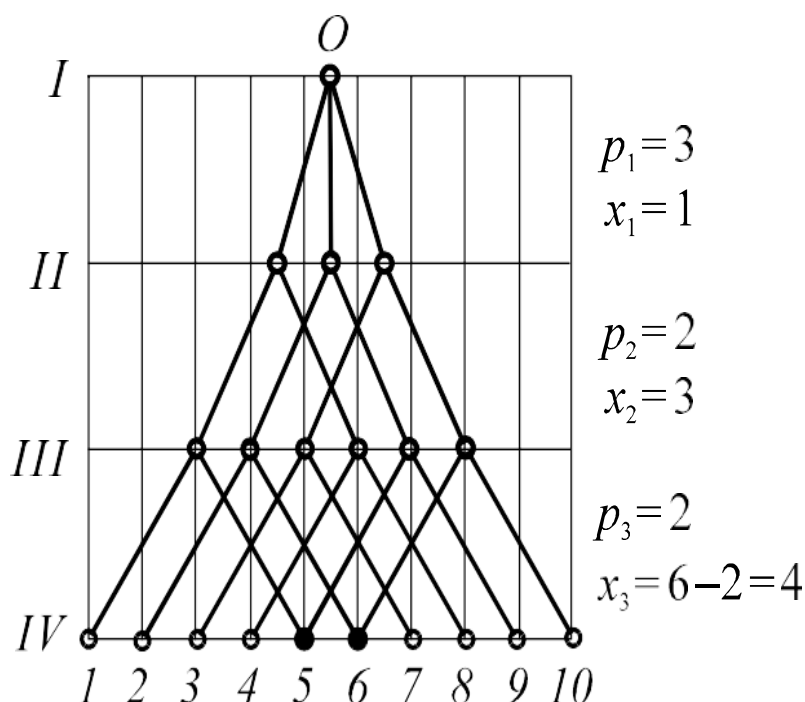


Рисунок 2 — Структурная сетка с измененной характеристикой для $s = 12 = 3_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$

При сравнении вариантов структурных сеток необходимо обращать внимание в первую очередь на размах крайних лучей, выходящих из одной точки (в каждой группе). Число интервалов ($lg \varphi$) между концами таких лучей определяет диапазон регулирования R_p в группе.

При выборе структурной формулы, а значит и рациональной структуры привода, необходимо придерживаться некоторых условий.

Для цилиндрической прямозубой передачи установлен предел передаточной величины:

$$\frac{1}{4} \leq i \leq 2. \quad (1)$$

Поэтому максимально допустимый условием (1) диапазон регулирования в группе $R_{p\max} = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = 2 : \frac{1}{4} = 8$, т. е. наибольший допускаемый коэффициент редукции в группе (от $i_{\min}$ до $i_{\max}$) определяется по формуле:

$$\varphi^k \leq 8, \quad (2)$$

где k – число интервалов между крайними (внешними) лучами группы передач.

Прологарифмировав обе части неравенства (2), получим:

$$k \cdot \lg \varphi \leq \lg 8 \text{ откуда } k \leq \frac{\lg 8}{\lg \varphi}. \quad (3)$$

Таким образом, каждому φ соответствует максимально допустимое число k интервалов шкалы, охватываемых диапазоном регулирования RP в группе, что позволяет выдержать условие (1). Допустимое число интервалов k , рассчитанных по условию (3), приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Допустимое число интервалов $\lg \varphi$ для прямозубых передач коробок скоростей

Допустимое число интервалов		Знаменатель ряда ∇				
		1,12	1,26	1,41	1,58	1,78
на структурной сетке (k)		18	9	6	4	3
на графике частот для передач:	повышающих	6	3	2	1	1
	понижающих	12	6	4	3	2

Чрезмерная редукция ($i < 1/4$) нежелательна из-за неоправданного возрастания габаритных размеров передач: диаметр ведущего колеса принимают обычно минимально возможным ($z_{\min} = 17...20$ зубьев), поэтому чем меньше i , тем больше число зубьев, а следовательно, и диаметр ведомого колеса. Повышение скорости в передачах ограничено еще больше ($i > 2$), так как оно неблагоприятно с точки зрения динамики: возрастают вибрации, шум, изнашивание, потери энергии.

Однако, при необходимости, можно не очень строго придерживаться этого ограничения.

2.3 Построение графика частот вращения

После принятия рациональной структурной сетки строят график частот вращения. График показывает частоты вращения валов n при всех комбинациях включенных передач и передаточные отношения всех передач. До построения графика должна быть намечена кинематическая схема, поскольку в графике следует учесть одиночные передачи, служащие для связи коробки скоростей с двигателем или со шпинделем, для реверсирования или создания определенной компоновки.

Для примера построим график частот вращения коробки скоростей при условии $n = 31,5 \dots 1400 \text{ мин}^{-1}$ и $\varphi = 1,41$, выбрав структуру $s = 12 = 3_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$. Структурная сетка – на рисунке 3, а. Кинематическая схема (рисунок 3, з) содержит три группы передач и одну одиночную передачу, введенную для связи двигателя с коробкой скоростей.

Перед построением графика определим ориентировочные числа оборотов на каждой ступени привода:

$$n_i = \frac{n_{i+1}}{\varphi}. \quad (3)$$

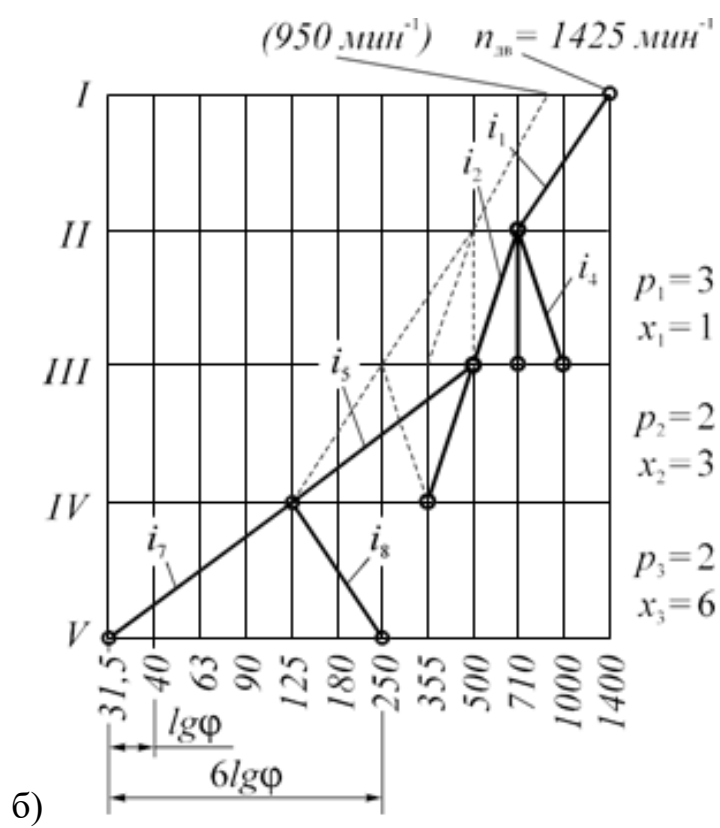
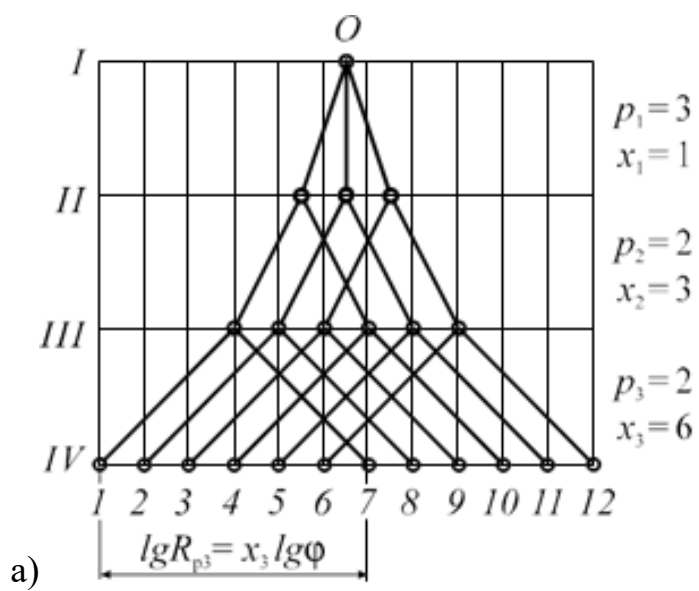
$$\begin{aligned} n_1 &= 31,5 \text{ мин}^{-1}; & n_2 &= 31,5 \cdot 1,41 = 44,7 \approx 40 \text{ мин}^{-1}; & n_3 &= 40 \cdot 1,41 = 63,8 \approx 63 \text{ мин}^{-1}; \\ n_4 &= 63 \cdot 1,41 = 88,7 \approx 90 \text{ мин}^{-1}; & n_5 &= 90 \cdot 1,41 = 127,7 \approx 125 \text{ мин}^{-1}; \\ n_6 &= 125 \cdot 1,41 = 177,3 \approx 180 \text{ мин}^{-1}; & n_7 &= 180 \cdot 1,41 = 251,8 \approx 250 \text{ мин}^{-1}; \\ n_8 &= 250 \cdot 1,41 = 354,6 \approx 355 \text{ мин}^{-1}; & n_9 &= 355 \cdot 1,41 = 503,6 \approx 500 \text{ мин}^{-1}; \\ n_{10} &= 500 \cdot 1,41 = 709,2 \approx 710 \text{ мин}^{-1}; & n_{11} &= 710 \cdot 1,41 = 992,9 \approx 1000 \text{ мин}^{-1}; \\ n_{12} &= 1000 \cdot 1,41 = 1410 \approx 1400 \text{ мин}^{-1}. \end{aligned}$$

Выбираем электродвигатель асинхронный ВА112МА ($n_{\partial\partial} = 1425 \text{ мин}^{-1}$; $N_{\partial\partial} = 5,5 \text{ кВт}$).

Для построения графика частот вращения надо провести и пронумеровать горизонтальные линии, соответствующие валам, и вертикальные, каждая из которых соответствует определенной частоте вращения (рисунок 3, б).

График начинают строить от точки n_{min} ($31,5 \text{ мин}^{-1}$) на линии последнего вала (V), руководствуясь требованиями таблицы 2 и условиями (2), (3). Из этих условий следует, что пределы передаточной величины (условие (1)) определяют допустимый наклон лучей, т. е. допускаемое число m перекрываемых лучом интервалов $lg\varphi$ шкалы частот вращения при выбранном φ .

Первым проводят луч i_7 (это i_{min} в группе $p_3 = 2$). Чтобы не выходить за пределы передаточной величины по условию (1) при $\varphi = 1,41$ по таблице 2 луч понижающей передачи должен перекрывать не более четырех интервалов $lg\varphi$ (при понижающей передаче и $m = 4$). Так как у лучей i_7 и i_8 (i_{max} в группе $p_3 = 2$) общее начало, а расстояние между концами этих лучей определено структурной сеткой (шесть интервалов), то от выбора i_7 зависит значение i_8 . Луч i_8 по таблице 2 не должен перекрывать более двух интервалов $lg\varphi$ (при повышающей передаче и $m = 2$). Таким образом, если лучи i_7 и i_8 должны соответственно перекрывать не более четырёх и двух интервалов $lg\varphi$ и между их концами должно быть шесть интервалов $lg\varphi$, то их положение на графике не может варьироваться – оно определено единственно возможным образом.



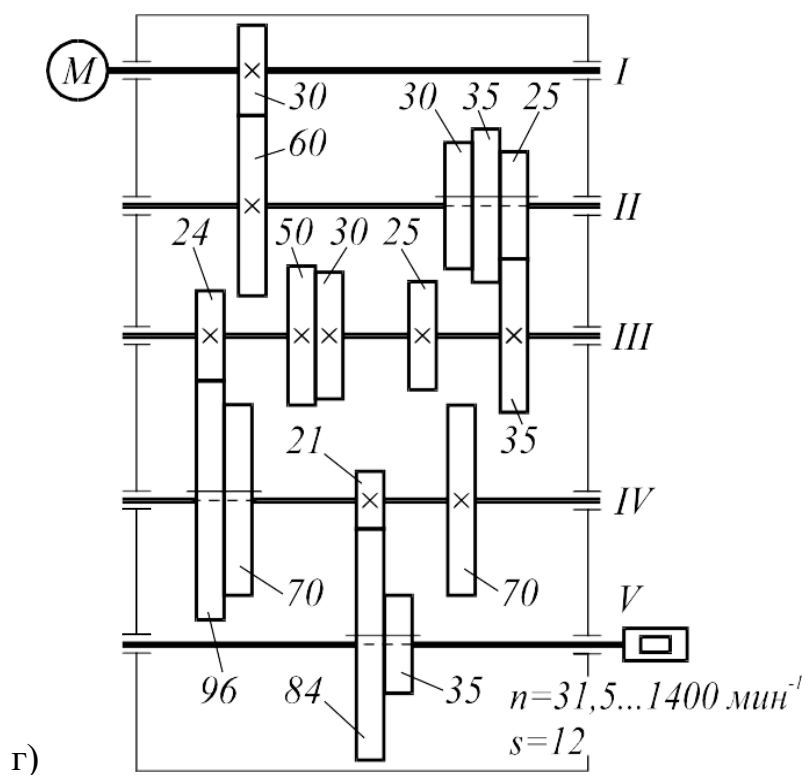
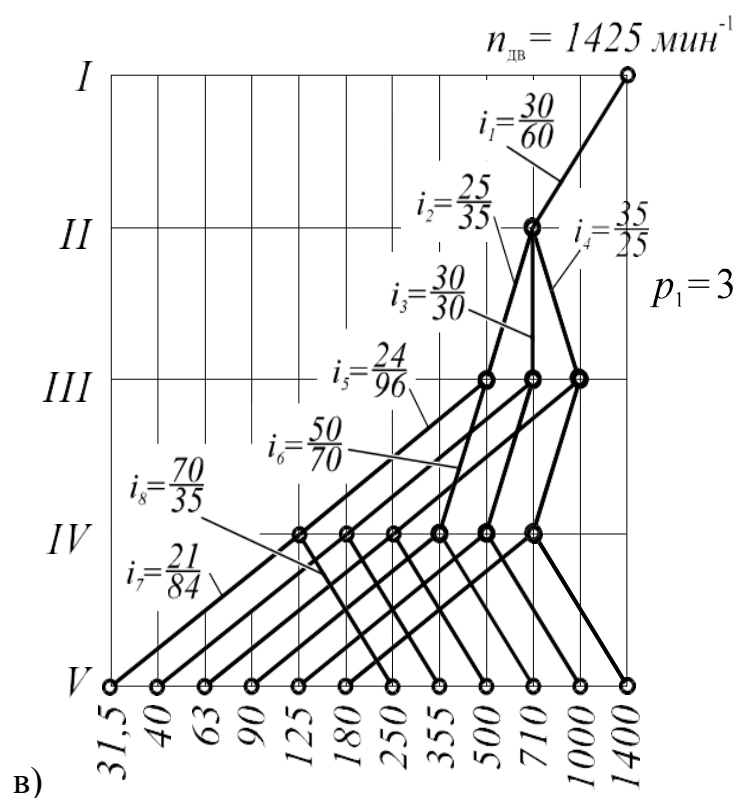


Рисунок 3 – Структурная сетка (а), начало построения графика (б) и полный график частот вращения (в), кинематическая схема коробки скоростей (г)

Далее проводят лучи i_5, i_2, i_1 стремясь к тому, чтобы было $i_1 \geq i_2 \geq i_5 \geq i_7$ (по условию (2)). Строя луч i_2 (i_{min} в группе $p_1 = 3$), надо обратить внимание на наклон луча i_4 (i_{max} в той же группе). При этом число интервалов $lg \varphi$ между концами лучей i_2 и i_4 , соответствующее диапазону регулирования R_{p1} , одинаково в структурной сетке и в графике. После этого достраивают график (рисунок 3, в), на котором должно быть в каждой группе столько же лучей и интервалов $lg \varphi$ между соседними лучами, сколько и в структурной сетке.

В графике возможны варианты, связанные с выбором двигателя или i_{min} и i_{max} в отдельных группах передач (например, вариант, показанный пунктиром на рисунке 3, б при $n = 950 \text{ мин}^{-1}$).

2.4 Расчет чисел зубьев колес

Так как межосевое расстояние между валами в коробках передач неизменно, то для обеспечения зацепляемости зубчатых колёс в каждой группе передач (при одинаковом модуле зацеплений m) необходимо, чтобы сумма зубьев колёс Σz во всех передачах группы была постоянной.

При проектировании рекомендуется пользоваться стандартными суммами Σz чисел зубьев сопряженных колес (таблица 3).

Таблица 3 – Стандартные суммы чисел зубьев сопряженных колес

Модуль m , мм	Межосевое расстояние A , мм											
	60	75	90	105	120	135	150	180	210	240	270	300
	Стандартная сумма зубьев Σz											
2	60	75	90	105	120	135	–	–	–	–	–	–
2,5	48	60	72	84	96	108	120	–	–	–	–	–
3	–	50	60	70	80	90	100	120	–	–	–	–
4	–	–	45	–	60	–	75	90	105	120	135	–
5	–	–	36	42	48	54	60	72	84	96	108	120

Для одиночной передачи определяют её передаточное отношение i_k и принимают число зубьев наименьшего в зацеплении колеса z_{kmin} .

Недопустимо слишком малое число зубьев ($z < 17$); обычно принимают $z_{kmin} = 18...20$ зубьев.

Затем находят число зубьев бóльшего колеса из соотношения:

$$i_k = \frac{z_k}{z'_k}. \quad (4)$$

Получившееся число зубьев округляют до целого и корректируют сумму $(z_k + z'_k)$ до ближайшего большего значения Σz .

Если $(z_{kmin} + z'_k)$ значительно отличается от Σz , подбирают другие z_k и z'_k по формулам:

$$z_k = \frac{i_k}{i_k + 1} \cdot \Sigma z; \quad z'_k = \frac{1}{i_k + 1} \cdot \Sigma z. \quad (5)$$

Например (рисунок 3, в):

$$i_1 = \frac{710}{1425} = 0,4983; \quad z_{min} = 30; \quad z'_1 = \frac{z_1}{i_1} = \frac{30}{0,4983} = 60,2 \approx 60; \quad i_1 = \frac{30}{60} = 0,5.$$

В каждой группе передач Σz должна быть одинакова для всех передач группы (если их модули m равны).

Сначала каждую передаточную величину представляют в виде простой дроби $\frac{a_k}{b_k}$.

Для рисунка 3, в:

$$i_2 = \frac{z_2}{z'_2} = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1,41} = \frac{a_2}{b_2} = 0,71 \approx \frac{7}{10} \approx \frac{5}{7};$$

$$i_3 = \frac{z_3}{z'_3} = \frac{a_3}{b_3} = \frac{1}{1};$$

$$i_4 = \frac{z_4}{z'_4} = \varphi = \frac{1,41}{1,0} = \frac{a_4}{b_4} = 1,41 \approx \frac{14}{10} \approx \frac{7}{5};$$

$$i_5 = \frac{z_5}{z'_5} = \frac{1}{\varphi^4} = \frac{1,0}{3,9525} = \frac{a_5}{b_5} = 0,253 \approx \frac{1}{4};$$

$$i_6 = \frac{z_6}{z'_6} = \frac{1}{\varphi} = \frac{1,0}{1,41} = \frac{a_6}{b_6} = 0,71 \approx \frac{5}{7};$$

$$i_7 = \frac{z_7}{z'_7} = \frac{1}{\varphi^4} = \frac{1,0}{3,9525} = \frac{a_7}{b_7} = 0,253 \approx \frac{1}{4};$$

$$i_8 = \frac{z_8}{z'_8} = \varphi^2 = \frac{a_8}{b_8} = 2 = \frac{2}{1}.$$

Далее находят для всех передач группы суммы $(a_k + b_k)$ и наименьшее кратное этих сумм K (оно должно делиться без остатка на эти суммы):

$a_2 + b_2 = 5 + 7 = 12;$	$a_5 + b_5 = 1 + 4 = 5;$	$a_7 + b_7 = 1 + 4 = 5;$
$a_3 + b_3 = 1 + 1 = 2;$	$a_6 + b_6 = 5 + 7 = 12;$	$a_8 + b_8 = 2 + 1 = 3;$
$a_4 + b_4 = 7 + 5 = 12;$	$K = 60; E = 2;$	$K = 15; E = 7;$
$K = 12; E = 5; \Sigma z = 60$	$\Sigma z = 120$	$\Sigma z = 105$

Иногда Σz равна K (первый, третий столбцы), но если K мало ($K < 40$), то $\Sigma z = K \cdot E$, причем E – целое число. Числа зубьев определяют по формулам:

$$z_k = \frac{a_k}{a_k + b_k} \cdot \Sigma z; \quad z'_k = \frac{b_k}{a_k + b_k} \cdot \Sigma z. \quad (6)$$

Число E определяют предварительно, используя выражение для z_{kmin} (причем в данной группе передач $\frac{a_k}{b_k} = i_{min}$, т. е. с наименьшим i_k):

$$z_{kmin} = \frac{a_k}{a_k + b_k} \cdot K \cdot E, \text{ откуда } E = \frac{z_{kmin}}{K} \cdot \frac{a_k + b_k}{a_k}. \quad (7)$$

Если принять $z_{kmin} = 25$, то для i_2, i_3, i_4 :

$$E = \frac{25}{12} \cdot \frac{12}{5} = 5. \text{ Тогда } \Sigma z = K \cdot E = 12 \cdot 5 = 60 \text{ зубьев.}$$

Для второго столбца с целью увеличения Σz примем $E = 2$.

Если принять $z_{kmin} = 21$, то для i_7, i_8 :

$$E = \frac{21}{15} \cdot \frac{5}{1} = 7. \text{ Тогда } \Sigma z = K \cdot E = 15 \cdot 7 = 105 \text{ зубьев.}$$

Определив суммы $(a_k + b_k)$ и Σz для каждой группы передач, рассчитывают числа зубьев колес и заносят их на график частот вращения:

Первая группа:

$$z_2 = \frac{5}{12} \cdot 60 = 25; \quad z'_2 = \frac{7}{12} \cdot 60 = 35.$$

$$z_3 = \frac{1}{2} \cdot 60 = 30; \quad z'_3 = \frac{1}{2} \cdot 60 = 30.$$

$$z_4 = \frac{7}{12} \cdot 60 = 35; \quad z'_4 = \frac{5}{12} \cdot 60 = 25.$$

Вторая группа:

$$z_5 = \frac{1}{5} \cdot 120 = 24; \quad z'_5 = \frac{4}{5} \cdot 120 = 96.$$

$$z_6 = \frac{5}{12} \cdot 120 = 50; \quad z'_6 = \frac{7}{12} \cdot 120 = 70.$$

Для третьей группы:

$$z_7 = \frac{1}{5} \cdot 105 = 21; \quad z'_7 = \frac{4}{5} \cdot 105 = 84.$$

$$z_8 = \frac{2}{3} \cdot 105 = 70; \quad z'_6 = \frac{1}{3} \cdot 105 = 35.$$

Зная передаточные отношения для всех групп зубчатых передач, рассчитаем фактические числа оборотов на каждой ступени по формуле:

$$n_j = n_{\text{дв}} \cdot \prod_{j=1}^n i_j, \quad (8)$$

где $n_{\text{дв}}$ – число оборотов электродвигателя, мин^{-1} . Для нашего случая $n_{\text{дв}} = 1500 \text{ мин}^{-1}$;

i_j – передаточное отношение j -ой передачи;

n – количество передач на рассматриваемой ступени.

Тогда из отношения (5) рассчитаем фактические числа оборотов на каждой ступени:

$$n_1 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 0,71 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 31,6 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_2 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 44,5 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_3 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 62,3 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_4 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 0,71 \cdot 0,71 \cdot 0,25 = 89,8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_5 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,71 \cdot 0,25 = 126,5 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_6 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 0,71 \cdot 0,25 = 177,1 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_7 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 0,71 \cdot 0,25 \cdot 2,0 = 252,9 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_8 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,25 \cdot 2,0 = 356,3 \text{ мин}^{-1}.$$

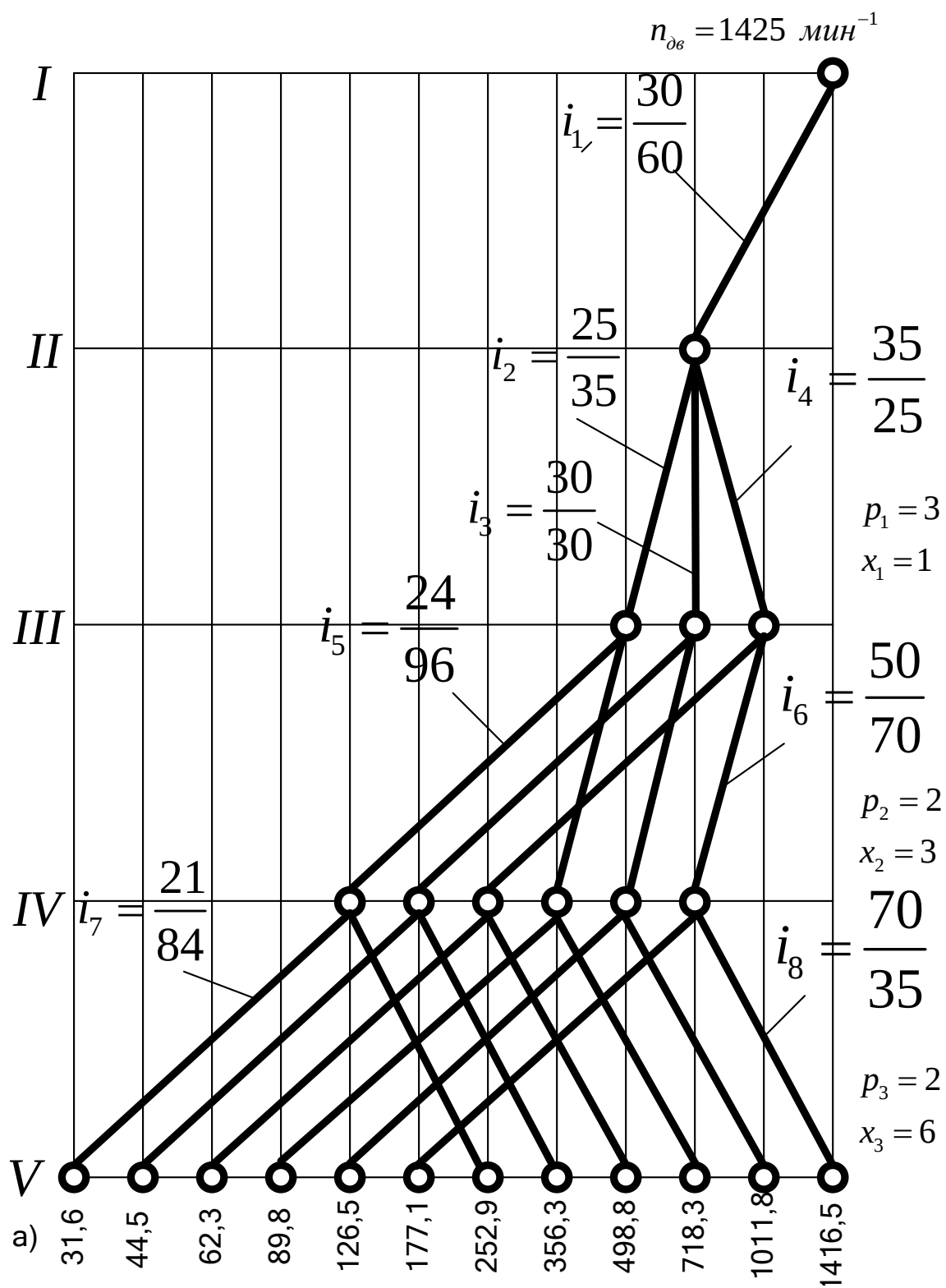
$$n_9 = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 0,25 \cdot 2,0 = 498,8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{10} = 1425 \cdot 0,5 \cdot 0,71 \cdot 0,71 \cdot 2,0 = 718,3 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{11} = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,71 \cdot 2,0 = 1011,8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{12} = 1425 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 0,71 \cdot 2,0 = 1416,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Добавим полученные передаточные отношения, числа зубьев и частоты вращения в рисунок 3 и получим фактические структурную сетку и кинематическую схему коробки скоростей (рисунок 4).



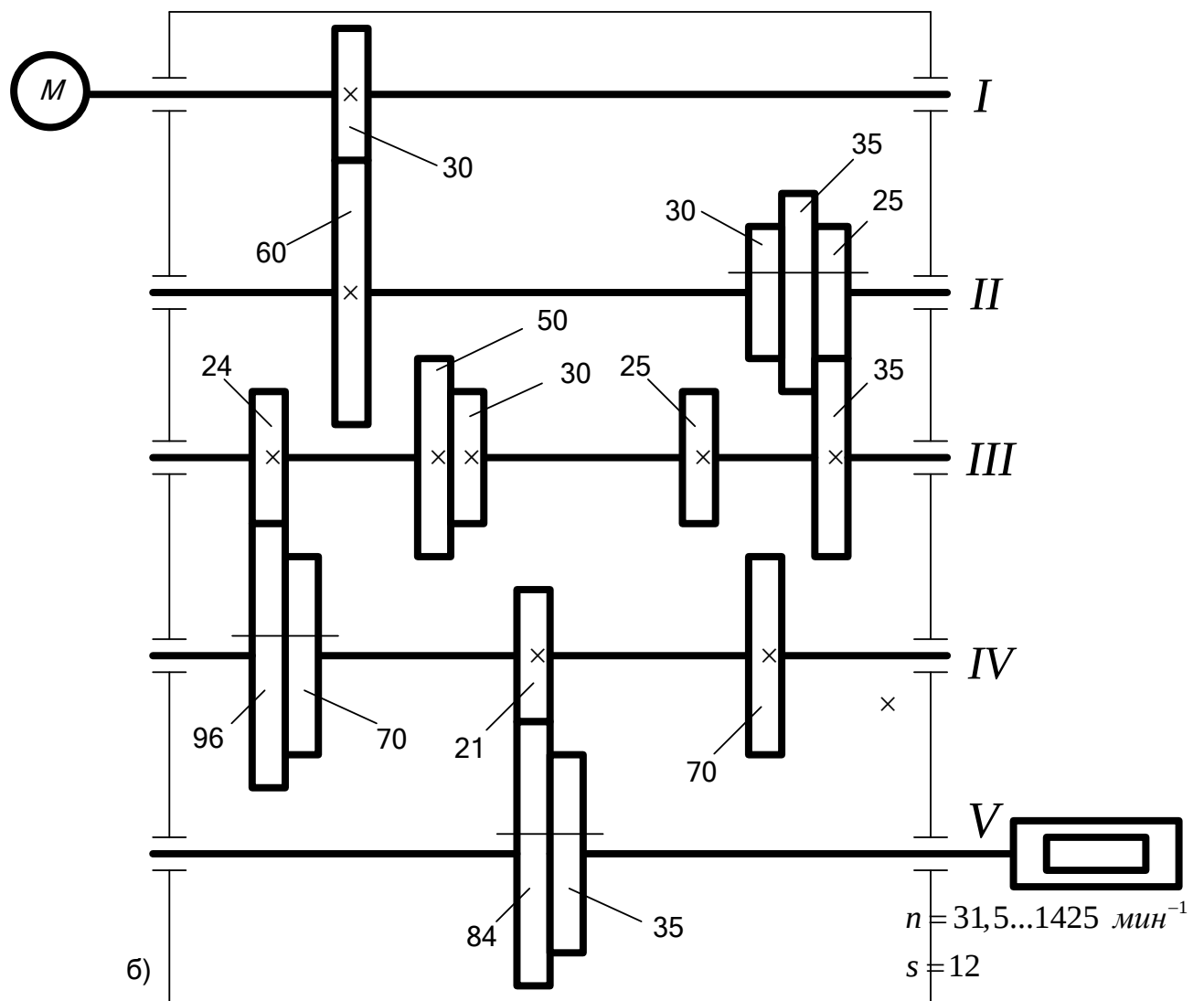


Рисунок 3 – Фактические значения технических характеристик привода: а – полный график частот вращения; б – кинематическая схема коробки скоростей

3. Конструктивный расчет механизма станка

3.1 Кинематический и силовой расчет привода

1. Определяем угловые скорости валов привода:

- ведущего (быстроходного) вала I:

$$\omega_1 = \omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{\pi \cdot 1425}{30} = 149 \text{ рад/с};$$

- первого промежуточного вала II:

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot i_1 = 149 \cdot 0,5 = 74,5 \text{ рад/с};$$

- второго промежуточного вала *III* (расчет проводится с использованием максимального передаточного числа на данном участке $i_4 = 1,41$):

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot i_4 = 74,5 \cdot 1,41 = 105 \text{ рад/с};$$

- третьего промежуточного вала *IV* (расчет проводится с использованием максимального передаточного числа на данном участке $i_6 = 1/1,41$):

$$\omega_4 = \omega_3 \cdot i_6 = \frac{105}{1,41} = 74,5 \text{ рад/с};$$

- тихоходного вала *V* (расчет проводится с использованием максимального передаточного числа на данном участке $i_8 = 2$):

$$\omega_5 = \omega_4 \cdot i_8 = 74,5 \cdot 2 = 149 \text{ рад/с}.$$

2. Определяем моменты на валах привода:

- на тихоходном валу *V*:

$$M_5 = \frac{N_{\text{вых}}}{\omega_5}, \quad (8)$$

где $N_{\text{вых}}$ – максимальная мощность на тихоходном валу *V*, кВт:

$$N_{\text{вых}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta_{\Sigma}, \quad (9)$$

где η_{Σ} – суммарное КПД привода. Для нашего случая:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{ц.з}}^4 \cdot \eta_{\text{подш}}^5, \quad (10)$$

где $\eta_{\text{ц.з}}$ – КПД цилиндрической прямозубой передачи: $\eta_{\text{ц.з}} = 0,98$;

$\eta_{\text{подш}}$ – КПД для подшипников качения: $\eta_{\text{подш}} = 0,99$.

$$\eta_{\Sigma} = 0,98^4 \cdot 0,99^5 = 0,86$$

$$N_{\text{вых}} = 5,5 \cdot 0,86 = 4,5 \text{ кВт}$$

$$\text{Тогда: } M_5 = \frac{4500}{149} = 30,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

- на быстроходном валу *I*:

$$M_1 = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_1} = \frac{5500}{149} = 36,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

- на первом промежуточном валу II:

$$M_2 = \frac{M_1 \cdot \eta_{\text{ц.з.}} \cdot \eta_{\text{подш}}}{i_1} = \frac{36,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{0,5} = 73,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3.2 Выбор и расчёт муфт привода

3.2.1 Выбор муфты быстроходного вала

1. Для соединения быстроходного вала привода с валом электродвигателя применяется муфта с резиновой звездочкой ГОСТ 14084-93.

2. Расчетный крутящий момент на быстроходном валу равен:

$$M_{\text{кр.р}} = 1,5 \cdot M_1 = 1,5 \cdot 36,9 = 55,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Принимаем муфту 63-22-1-28-1 с расчетным вращающим моментом 63 Н · м.

3. Работоспособность резиновой звездочки определяется величиной напряжения смятия и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{24 \cdot M_{\text{кр.р}} \cdot D}{z \cdot d \cdot (D^2 - d_1^2)} \leq [\sigma_{\text{см}}], \quad (11)$$

где D – наружный диаметр звездочки, мм: $D = 85$ мм;

z – число зубьев звездочки: $z = 6$;

d – рабочая высота выступов, мм: $d = 22$ мм;

d_1 – диаметр границы контакта выступа и звездочки, мм: $d_1 = 36$ мм;

$[\sigma_{\text{см}}]$ – допускаемое напряжение смятия, МПа: $[\sigma_{\text{см}}] = 100$ МПа (для низкоуглеродистой стали).

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{24 \cdot 55,4 \cdot 0,085}{6 \cdot 0,022 \cdot (0,085^2 - 0,036^2)} = 0,12 \leq [\sigma_{\text{см}}] = 100 - \text{условие выполнено}.$$

3.2.2 Расчет муфты тихоходного вала

Для соединения тихоходного вала с рабочим валом используем муфту зубчатую по ГОСТ 5006-94.

1. Подбор муфты по вращающему моменту:

$$M_{кр.р} = 1,5 \cdot M_5 = 1,5 \cdot 30,2 = 45,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. По ГОСТ 5006-94 подбираем зубчатую муфту со следующими параметрами: тип-1, номинальный вращающий момент $T_{кр} = 1000 \text{ Н} \cdot \text{м}$; диаметр посадочных отверстий во втулках $d = 40 \text{ мм}$; ширина зубчатого венца втулки $b = 12 \text{ мм}$; модуль зацепления $m = 2,5 \text{ мм}$; число зубьев втулки $z = 30$.

3. Условие износостойкости:

$$q = \frac{M_{кр.р} \cdot 10^3}{0,9 \cdot b \cdot d_o^2} \leq [q], \quad (12)$$

где d_o – диаметр делительной окружности, мм: $d_o = m \cdot z = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ мм}$;

$[q]$ – допускаемое давление, МПа: $[q] = 12 \dots 15 \text{ МПа}$.

$$q = \frac{45,3 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 12 \cdot 75^2} = 0,75 \leq [q] = 12 \dots 15 \text{ МПа}.$$

Условие износостойкости выполняется.

Окончательно принимаем муфту зубчатую 1-1000-40-1 по ГОСТ 5006-94 с внутренним диаметром полумуфт 40 мм и с цилиндрическим отверстием втулки муфты для коротких концов вала по ГОСТ 12080-66.

3.3 Расчет цилиндрической прямозубой передачи

Исходные данные:

- передаточное отношение цилиндрической прямозубой передачи:

$$i_1 = \frac{30}{60} = 0,5;$$

- угловая скорость ведущего вала цилиндрической прямозубой передачи: $\omega_1 = 149 \text{ рад/с}$;

- угловая скорость ведомого вала цилиндрической прямозубой передачи: $\omega_2 = 74,5$ рад/с;

- момент на ведущем валу цилиндрической прямозубой передачи: $M_1 = 36,9$ Н · м;

- момент на ведомом валу цилиндрической прямозубой передачи: $M_2 = 73,2$ Н · м;

- потребляемая мощность на ведущем валу цилиндрической прямозубой передачи: $P_1 = 5,5$ кВт;

- потребляемая мощность на ведомом валу цилиндрической прямозубой передачи: $P_2 = P_1 \cdot \eta_{ц.з} \cdot \eta_{подш} = 5,5 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 5,47$ кВт;

- число оборотов на ведущем валу цилиндрической прямозубой передачи: $n_1 = 1425$ об/мин;

- число оборотов на ведомом валу цилиндрической прямозубой передачи: $n_2 = n_1 \cdot i_1 = 1425 \cdot 0,5 = 712,5$ об/мин.

1. Определяем межосевое расстояние a_{ω} , из условия сопротивления контактной усталости рабочих поверхностей зубьев по следующей формуле:

$$a_{\omega} \geq K_a \left(\frac{1}{i_1} + 1 \right)^3 \sqrt{M_2 K_{H\beta} u_1^2 / (\psi_{ba} [\sigma_H]^2)}, \quad (13)$$

где K_a — числовой коэффициент, $K_a = 495$ (для прямозубых передач);

$K_{H\beta}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца зубчатого колеса, принимается в зависимости от твердости рабочих поверхностей зубьев, расположения опор и коэффициента $K_{H\beta} = 1,03$ [1];

$\psi_{ba} = b/a$ — коэффициент ширины венца зубчатого колеса относительно межосевого расстояния, $\psi_{ba} = 0,5$ [1];

$[\sigma_H]$ — допускаемые контактные напряжения, которые определяют по формуле:

$$[\sigma_H] = (\sigma_{H0} / [n]) K_{HL}, \quad (14)$$

где σ_{H0} – предел контактной выносливости поверхностей зубьев, $\sigma_{H0}=150$ МПа, (для стали 40) [1];

$[n]$ – запас прочности, принимаем $[n]=1,1$ [1];

K_{HL} – коэффициент долговечности, учитывающий влияние срока службы и режима нагрузки передачи:

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{H0}}{N_{\Sigma}}}, \quad (15)$$

где N_{H0} – база контактных напряжений, $N_{H0}=10^7$ [1];

N_{Σ} – расчетное число циклов перемены напряжений при постоянном режиме нагрузки:

$$N_{\Sigma} = 600 \cdot \omega_3 \cdot t, \quad (16)$$

где t – суммарное время работы передачи, ч.:

$$t = 365 \cdot \kappa_{год} \cdot 24 \cdot \kappa_{см} = 365 \cdot 0,65 \cdot 24 \cdot 0,56 = 3190 \text{ ч.}$$

$$N_{\Sigma} = 600 \cdot 51 \cdot 3190 = 11,5 \cdot 10^6.$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{11,5 \cdot 10^6}} = 1,01.$$

$$[\sigma_H] = \frac{150}{1,1 \cdot 1,01} = 134 \text{ МПа.}$$

$$a_{\omega} \geq 495 \cdot (2,0 + 1) \sqrt[3]{\frac{193 \cdot 1,01 \cdot 2,0^2}{0,5 \cdot (134 \cdot 10^6)^2}} = 228 \text{ мм.}$$

Принимаем $a_{\omega} = 240$ мм.

2. Определяем ширину венца зубчатого колеса:

$$b_2 = \psi_{ba} a_{\omega} = 0,5 \cdot 240 = 120 \text{ мм.}$$

Назначаем ширину венца шестерни при твердости рабочих поверхностей зубьев менее HB 350 согласно [1]:

$$b_1 = b_2 + 5 = 120 + 5 = 125 \text{ мм.}$$

3. Определяем значение модуля (с некоторым запасом) из условия сопротивления изгибной усталости по формуле:

$$m = 3F_{t2} / (b_2 [\sigma_F]), \quad (17)$$

где $[\sigma_F]$ – допускаемое напряжение при расчете зубьев на изгибную выносливость, МПа, которое следует принимать в соответствии с формулой:

$$[\sigma_F] = (\sigma_{F0} / [n]) K_{FC} K_{FL}, \quad (18)$$

где σ_{F0} – предел выносливости зубьев по излому, определяемый экспериментально на основе кривых усталости, $\sigma_{F0} = 29,2$ МПа;

F_{t2} – окружная сила на зубчатом колесе:

$$F_{t2} = \frac{2000 \cdot M_4}{d_2}, \quad (19)$$

где d_2 – диаметр вала зубчатого колеса цилиндрической прямозубой передачи. Ориентировочно принимаем $d_2 = 30$ мм:

$$F_{t2} = \frac{2000 \cdot 73,2}{30} = 4,88 \text{ кН.}$$

K_{FC} – коэффициент, учитывающий влияние двустороннего приложения нагрузки, $K_{FC} = 1$, (при одностороннем приложении нагрузки);

K_{FL} – коэффициент долговечности:

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{\Sigma}}}, \quad (20)$$

где N_{FO} – база изгибных напряжений, $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$.

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{11,5 \cdot 10^6}} = 0,46.$$

При длительно работающей передаче ($K_{FL} \leq 1$) принимается $K_{FL} = 1$.

$$[\sigma_F] = \frac{29,2 \cdot 10^6}{1,1 \cdot 1,1} = 26,5 \text{ МПа.}$$

$$m = \frac{3 \cdot 4880}{120 \cdot 26,5 \cdot 10^3} = 4,6 \text{ мм.}$$

Принимаем $m = 5$ мм.

4. Определяем суммарное число зубьев z_{Σ} :

$$z_{\Sigma} = (2a_{\omega} / m) \cos \beta', \quad (21)$$

где β' – угол наклона линии зуба, $\beta' = 0^\circ$, $\cos 0^\circ = 1,0$ (для прямозубых передач).

$$z_\Sigma = \frac{2 \cdot 240}{5 \cdot 1,0} = 96. \text{ Необходимо сделать уточнения (} z_\Sigma = 90 \text{ – раздел 2.3).}$$

Число зубьев шестерни:

$$z_1 = \frac{z_\Sigma}{\frac{1}{i_1} + 1} = \frac{96}{2 + 1} = 32.$$

Принимаем $z_1 = 21$.

Число зубьев зубчатого колеса:

$$z_2 = z_\Sigma - z_1 = 96 - 32 = 64.$$

Проверяем значение межосевого расстояния:

$$a_\omega = \frac{z_1 + z_2}{2} m = \frac{32 + 64}{2} \cdot 5 = 240 \text{ мм.}$$

Условие выполнено.

Проверяем фактическое передаточное отношение:

$$i_{1\phi} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{32}{64} = 0,5.$$

Условие выполнено.

Число зубьев шестерни $z_1 \geq 17$. Условие выполнено [1].

5. Определяем делительные диаметры (d_1, d_2), диаметры вершин зубьев шестерни и колеса (d_{a1}, d_{a2}), диаметры впадин зубьев шестерни и колеса d_{f1}, d_{f2} , диаметры ступицы шестерни и колеса, длины ступицы шестерни и колеса, толщина обода шестерни и колеса:

$$d_1 = m z_1 = 5 \cdot 32 = 160 \text{ мм.},$$

$$d_2 = m z_2 = 5 \cdot 64 = 320 \text{ мм.},$$

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 160 + 2 \cdot 5 = 170 \text{ мм.},$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 320 + 2 \cdot 5 = 330 \text{ мм.},$$

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 160 - 2,5 \cdot 5 = 147,5 \text{ мм.},$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 320 - 2,5 \cdot 5 = 307,5 \text{ мм.}$$

$d_{cm1} = 1,5 \cdot d_{\epsilon1} = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ мм}$ ($d_{\epsilon1}$ – внутренний диаметр (диаметр вала I: $d_{\epsilon1} = 30 \text{ мм}$).

Принимаем $d_{cm1} = 45 \text{ мм}$.

$d_{cm} = 1,5 \cdot d_{\epsilon2} = 1,5 \cdot 35 = 52,5 \text{ мм}$ ($d_{\epsilon1}$ – внутренний диаметр (диаметр вала II: $d_{\epsilon1} = 35 \text{ мм}$).

Принимаем $d_{cm2} = 50 \text{ мм}$.

$$l_{cm1} = 0,8 \cdot d_{\epsilon1} = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ мм.}$$

$$l_{cm2} = 0,8 \cdot d_{\epsilon2} = 0,8 \cdot 35 = 28 \text{ мм.}$$

$$\delta_o = 2 \cdot m = 2 \cdot 5 = 10 \text{ мм.}$$

Шестерню и колесо изготавливаем из поковки, конструкция дисковая.

Толщина диска шестерни:

$$e_1 = 0,2 \cdot b_1 = 0,2 \cdot 125 = 25 \text{ мм.}$$

Толщина диска колеса:

$$e_2 = 0,2 \cdot b_2 = 0,2 \cdot 120 = 24 \text{ мм.}$$

Принимаем $e_1 = 25 \text{ мм}$, $e_2 = 24 \text{ мм}$.

Диаметр отверстий в дисках назначаем конструктивно [1]:

$$d_{\phi1} = d_{\phi2} = 20 \text{ мм.}$$

6. Определяем окружную скорость в зацеплении:

$$v = \omega_3 d_1 / (2 \cdot 1000) = 149 \cdot 160 / (2 \cdot 1000) = 11,9 \text{ м/с.}$$

Назначаем степень точности передачи 9 [1].

7. Определяем силы, действующие в зацеплении:

- окружная сила:

$$F_1 = F_2 = 2M_2 / d_2 = 2 \cdot 74,5 / 320 = 0,47 \text{ кН;}$$

- радиальная сила:

$$F_{r1} = F_{r2} = Ftg\alpha_o / \cos \beta = 0,47 \cdot tg 240^\circ / \cos 0^\circ = 1,2 \text{ кН;}$$

- осевая сила для цилиндрической прямозубой передачи не рассчитывается.

8. Выполняем проверочный расчет на контактную усталость рабочих поверхностей зубьев передачи по формуле:

$$\sigma_H = (z / a_w) \sqrt{M_4 K_H (u + 1)^3 / (b_2 u^2)} \leq [\sigma_H],$$

где $z = 10 \cdot 10^3$ – для прямозубых передач; (22)

K_H – коэффициент нагрузки:

$$K_H = K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv}, \quad (23)$$

где $K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки при расчете на контактную усталость между зубьями, $K_{H\alpha} = 1,13$ (для прямозубой передачи) [1];

$K_{H\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки при расчете на контактную усталость по ширине венца зубчатого колеса, связанной с деформацией валов и зубьев колес, $K_{H\beta} = 1,55$ [1];

K_{Hv} – коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку при расчете на контактную усталость, возникающую в зацеплении, $K_{Hv} = 1,05$ [1]:

$$K_H = 1,13 \cdot 1,55 \cdot 1,05 = 1,84.$$

$[\sigma_H]$ – допускаемая контактная прочность, МПа: $[\sigma_H] = 200$ МПа (для стали 40).

$$\sigma_H = \frac{10 \cdot 10^3}{450} \sqrt{\frac{193 \cdot 1,84 (3,8 + 1)^3}{200 \cdot 3,8^2}} = 88 \leq [\sigma_H] = 200 \text{ МПа.}$$

Условие выполнено.

9. Выполняем проверочный расчет зубьев колеса на изгибную усталость по условию:

$$\sigma_{F2} = M_4 K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} Y_{F2} Y_{\beta} (u + 1) / (b_2 m a_w u) \leq [\sigma_{F2}], \quad (24)$$

где $K_{F\alpha}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки при расчете на изгибную усталость между зубьями, $K_{F\alpha}=0,75$ (для коробок скоростей) [1];

$K_{F\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки при расчете на изгибную усталость по ширине венца зубчатого колеса, связанной с деформацией валов и зубьев колес, $K_{F\beta}=1,35$ [1];

K_{Fv} – коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку при расчете на изгибную усталость, возникающую в зацеплении, $K_{Fv}=1,3$ [1];

Y_{F2} – коэффициент формы зуба, $Y_{F2}=4,28$ [1];

Y_{β} – коэффициент наклона линии зуба:

$$Y_{\beta} = 1 - \frac{\beta}{140^{\circ}} = 1 - \frac{0^{\circ}}{140^{\circ}} = 1,0.$$

$[\sigma_F]$ – допускаемая контактная прочность, МПа: $[\sigma_F]=80$ МПа (для стали 40).

$$\sigma_{F2} = 193 \cdot 0,75 \cdot 1,35 \cdot 1,3 \cdot 4,28 \cdot 0,93 \frac{3,8+1}{230 \cdot 9 \cdot 450 \cdot 3,8} = 24 \leq [\sigma_F] = 80 \text{ МПа}.$$

Условие выполнено.

Литература

1. Чернилевский Д. В. Курсовое проектирование деталей машин и механизмов: Учебное пособие. — М.: Высшая школа, 1980. — 238 с.
2. Жданович В. В. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Металлорежущие станки». Специальность 2-360103-01 «Технологическое оборудование машиностроительного производства (производственная деятельность)»: Методические указания. — Минск: Филиал БНТУ «МГМК», 2022. — 48 с.

3. Детали и механизмы металлорежущих станков. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – 520 с.

4. Колев, Н.С. Металлорежущие станки: учеб. пособие для вузов по спец. «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / Колев, Н.С., Красниченко, Л.В., Никулин, Н.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.

5. Кочергин, А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.