

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА**

МДК 01.01 Технологическое оборудование цехов обработки металлов давлением

для обучающихся специальности
22.02.11 Обработка металлов давлением в металлургическом производстве

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	3
2 Методические указания	4
Лабораторное занятие 1	4
Лабораторное занятие 2	5
Лабораторное занятие 3	6
Лабораторное занятие 4	7
Лабораторное занятие 5	7
Лабораторное занятие 6	10
Лабораторное занятие 7	14
Лабораторное занятие 8	15
Практическое занятие 1	16
Практическое занятие 2	18
Практическое занятие 3	22
Практическое занятие 4	24
Лабораторное занятие 9	25
Лабораторное занятие 10	26
Лабораторное занятие 11	27
Лабораторное занятие 12	31
Лабораторное занятие 13	33
Лабораторное занятие 14	36
Практическое занятие 5	38
Практическое занятие 6	40
Практическое занятие 7	43
Практическое занятие 8	45
Практическое занятие 9	47
Практическое занятие 10	50
Практическое занятие 11	53
Практическое занятие 12	55
Практическое занятие 13	57
Практическое занятие 14	60

1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений (умений решать задачи по математике, физике, химии, информатике и др.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой профессионального модуля « ПМ 01 Обеспечение работоспособности технологического оборудования » предусмотрено проведение практических и/или лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

- проводить визуальный осмотр;
- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- устранять неисправности в обслуживаемом оборудовании самостоятельно или с привлечением ремонтных служб;
- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на освоение вида деятельности программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению ***профессиональными компетенциями:***

ПК 1.1 Определять готовность к работе основного и вспомогательного оборудования.

ПК 1.2 Подготавливать оборудование к выводу в ремонт.

ПК 1.3 Контролировать подачу энергоносителей на основное и вспомогательное оборудование.

А также формированию общих компетенций:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

Практические и лабораторные занятия проводятся в рамках соответствующей темы, после освоения дидактических единиц, которые обеспечивают наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Лабораторное занятие №1

Классификация прокатных клетей в мультимедийной обучающей программе «Стан 5000»

Цель: Сформировать у обучающихся системное понимание классификации рабочих клетей прокатных станов и научить идентифицировать их типы, конструктивные особенности и технологическое назначение на примере высокопроизводительного оборудования стана горячей прокатки «5000».

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: мультимедийная программа «Стан 5000».

Задание:

1. Усвоить принципы классификации прокатных клетей по ключевым признакам: по количеству и расположению валков (Дуо, Трио, Кварто), по назначению, по расположению в линии стана (черновая/чистовая группа).
2. Изучить конструктивные особенности рабочей клетки стана «5000». Обратить внимание на такие параметры, как усилие прокатки (до 12 000 тонн), габариты и роль в производстве толстолистного проката.
3. Научиться различать двухвалковые, четырехвалковые и универсальные клетки в интерфейсе мультимедийной программы.
4. Развить навыки работы с интерактивной 3D-графикой и мультимедийным контентом (анимация, схемы) для изучения сложного технологического оборудования.
5. Научить анализировать взаимосвязь между конструкцией клетки (количеством валков) и свойствами получаемого проката (толщина, точность, ширина листа).

Порядок выполнения работы:

1. Объяснение важности темы: «Почему оператор должен знать, какая клеть перед ним? Зависимость настроек стана от типа клетки». Знакомство с ПАО «ММК» как с лидерами отрасли.
2. Краткий обзор теоретического материала: повторение схем расположения валков (слайды или раздаточный материал).
3. Работа в мультимедийной программе «Стан 5000».
4. Модуль 1 (Теория): Просмотр интерактивного видео или анимации о прохождении раската через черновую и чистовую группы клетей.
5. Модуль 2 (Практика): Изучение 3D-модели четырехвалковой клетки (Кварто). Необходимо найти и указать на модели: рабочие валки, опорные валки (характерный признак листовых станов), станину, нажимное устройство.
6. Модуль 3 (Сравнение): Задание «Найди отличие» — сравнить универсальную клеть (с вертикальными валками для обжатия кромок) с классической четырехвалковой в составе стана 5000.
7. Тестирование

Форма представления результата: итоги компьютерного тестирования.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Лабораторное занятие №2

Конструкция главной линии прокатного стана 5000

Цель: Сформировать у обучающихся целостное представление о конструкции главной линии толстолистового стана «5000» как о единой кинематической системе, обеспечивающей передачу движения и усилия от двигателя к валкам, и научить идентифицировать основные узлы и их функциональное назначение в мультимедийной обучающей программе.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: мультимедийная программа «Стан 5000».

Задание:

1. Усвоить понятие «главная линия прокатного стана» и её ключевую роль в процессе прокатки — передачу вращающего момента от электродвигателя к валкам и восприятие усилий прокатки.

2. Изучить структурную схему главной линии: расположение, устройство и назначение каждого элемента в составе стана 5000 (рабочая клеть, шпиндели, шестеренная клеть, главный электродвигатель, нажимные и уравнивающие механизмы).

3. Научиться различать типы передаточных механизмов (универсальные шпиндели, шестеренные клетки) и объяснять, почему на стане 5000 может применяться индивидуальный привод валков или шестеренная клеть.

4. Научить анализировать взаимосвязь между конструкцией отдельных узлов главной линии (например, уравнивание шпинделей, жесткость станины) и стабильностью технологического процесса прокатки.

Порядок выполнения работы:

1. Изучение структурной схемы главной линии. Необходимо найти на схеме и назвать: главный двигатель → шестеренная клеть → шпиндели → рабочая клеть (валки). Обратить внимание на технические характеристики (мощность 2х560 кВт, крутящий момент до 3,82 МН·м).

2. Передаточные механизмы: Изучить 3D-модель универсального шпинделя и его головок. Объяснить назначение системы уравнивания шпинделей (гидравлические цилиндры) — для снижения динамических нагрузок и износа.

3. Нажимные устройства: Сравнить механическое (винтовое) и гидравлическое нажимные устройства. Изучить их расположение (внизу станины — особенность стана 5000) и параметры (усилие, ход).

4. Станина: Оценить масштаб (масса станины 547 тонн, высота 15,65 м) и её роль как основы, воспринимающей усилие прокатки.

5. «Собери главную линию» — из предложенных 3D-элементов (двигатель, шпиндель, шестеренная клеть, валки, станина) собрать кинематическую цепь в правильной последовательности.

6. Тестирование

Форма представления результата: итоги компьютерного тестирования.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Лабораторное занятие №3

Состав оборудования прокатной клетки стана 5000

Цель: Сформировать у обучающихся системное знание о полном составе оборудования прокатной клетки стана «5000» как совокупности взаимосвязанных узлов и механизмов, обеспечивающих процесс прокатки, и научить идентифицировать каждый элемент оборудования, его конструктивные особенности и функциональное назначение в мультимедийной обучающей программе.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: мультимедийная программа «Стан 5000».

Задание:

1. Усвоить понятие «состав оборудования прокатной клетки» как совокупности основного и вспомогательного оборудования, обеспечивающего деформацию металла, передачу усилия и транспортировку проката.

2. Изучить полный перечень оборудования прокатной клетки стана 5000.

3. Научиться классифицировать оборудование по функциональному признаку (основное, вспомогательное, транспортное) и идентифицировать его на 3D-моделях и схемах.

4.Развить навыки работы с интерактивными схемами и 3D-моделями для изучения состава и расположения оборудования прокатной клетки.

5.Научить анализировать взаимосвязь между отдельными элементами оборудования (например, между нажимным механизмом, валковой системой и рольгангами) и их влиянием на технологический процесс прокатки.

6.Сформировать умение работать с технической документацией (паспорта оборудования, инструкции по эксплуатации) для получения информации о характеристиках узлов и механизмов

Порядок выполнения работы:

1. Вводная беседа: «Почему оператор должен знать весь состав оборудования клетки, а не только её основные узлы? Отказ любого элемента — от рольганга до системы смазки — может остановить весь стан».

2. Демонстрация видеоролика работы стана 5000 с акцентом на работу различных механизмов (вращение валков, перемещение раската по рольгангам, срабатывание нажимных устройств).

3. Работа в мультимедийной программе «Стан 5000».

4. Изучение структурной схемы оборудования прокатной клетки с разделением на функциональные группы.

5. Рассмотреть расположение рабочих и опорных валков, подушек, механизмов осевой фиксации.

6. Тестирование.

Форма представления результата: итоги компьютерного тестирования.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Лабораторное занятие №4,5

Определение среднего давления металла на валки и полное усилие при горячей прокатке в клетки «кварто»

Определение среднего давления металла на валки и полное усилие при холодной прокатке в клетки «кварто»

Цель: Сформировать у обучающихся практические навыки расчета технологических параметров горячей и холодной прокатки (среднего удельного давления металла на валки и полного усилия прокатки) с использованием аналитических методов, а также научить интерпретировать полученные результаты для выбора рациональных режимов обжата и оценки загрузки оборудования.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется.

Задание:

1. Усвоить физическую сущность понятий «среднее давление металла на валки» и «полное усилие прокатки» как ключевых параметров, определяющих энергосиловые режимы работы клетки.

2. Изучить методику расчета среднего давления по формулам А.И. Целикова, Э. Зибеля или другим инженерным методам для условий горячей и холодной прокатки.

3. Научиться рассчитывать полное усилие прокатки через произведение среднего давления на площадь контакта металла с валками.

4. Развить навыки инженерных расчетов и анализа влияния технологических параметров (обжатие, температура, скорость, трение) на величину усилия прокатки.

Порядок выполнения работы:

1. Полное усилие прокатки (P) — сила, с которой металл давит на валки в процессе прокатки. Измеряется в ньютонах (Н), тонно-силах (тс) или меганьютонах (МН).

$$P = P_{\text{ср}} \cdot F_{\text{к}}$$

где: $P_{\text{ср}}$ — среднее удельное давление металла на валки, МПа;

F — площадь контакта металла с валками (проекция дуги захвата на горизонтальную плоскость), мм².

2. Расчет площади контакта (для клетки Кварто).

$$F_{\text{к}} = b \cdot l_{\text{д}}$$

$$l_{\text{д}} = \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

Где, b — ширина полосы после прокатки, мм;

$L_{\text{д}}$ — длина дуги захвата, мм;

R — радиус рабочего вала, мм;

$\Delta h = h_0 - h_1$ — абсолютное обжатие, мм;

h_0 — толщина полосы до прокатки, мм;

h_1 — толщина полосы после прокатки, мм.

3. Расчет среднего давления по методу А.И. Целикова

$$P_{\text{ср}} = n_{\sigma} \cdot \sigma_T \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot l_{\text{д}}}{h_{\text{ср}}} \right)$$

где, σ_m — предел текучести металла при температуре прокатки, МПа (зависит от марки стали и температуры);

μ — коэффициент трения;

$l_{\text{д}}$ — длина дуги захвата, мм;

$h_{\text{ср}} = (h_0 + h_1) / 2$ — средняя высота очага деформации, мм;

n_{σ} — коэффициент напряженного состояния, учитывающий влияние внешних зон (1,15 ÷ 1,25; $n_{\sigma} \approx 1,15 \div 1,25$).

4. Получить у преподавателя исходные данные для расчёта (вариант задания):

Марка стали (например: Ст3, 09Г2С, Х18Н10Т); Температура прокатки °С;

Исходная толщина раската h_0 , мм; Конечная толщина h_1 , мм;

Ширина полосы b , мм; Диаметр рабочего вала $D=2R$, мм; Скорость прокатки v , м/с;

Коэффициент трения μ (или условия смазки).

5. По формулам, приведенным в теоретической части, выполнить расчет.

6. Заполнить таблицу.

Таблица 1- Результаты расчета усилия прокатки

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Значение Р при холодной прокатке	Значение Р при горячей прокатке	Отклонение, %
Исходная толщина	h_0	мм			
Конечная толщина	h_1	мм			
Абсолютное обжатие	Δh	мм			
Ширина полосы	b	мм			
Радиус вала	R	мм			
Длина дуги захвата	l_d	мм			
Площадь контакта	F_k	мм ²			
Среднее давление	P_{cp}	МПа			
Полное усилие	P	МН			
Усилие, в тонно-силах	P	тс			

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет усилия прокатки по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Лабораторное занятие №6

Определение давления металла на валки при прокатке тонкой жести в натяжении

Цель: Сформировать у обучающихся практические навыки расчета контактного давления металла на валки при тонколистовой прокатке с учетом влияния переднего и заднего натяжения полосы, а также научить оценивать эффективность применения натяжения для снижения энергосиловых параметров процесса и улучшения качества проката.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется.

Задание:

1. Усвоить физическую сущность влияния продольного натяжения на напряженно-деформированное состояние металла в очаге деформации при прокатке тонких полос.

2. Изучить методику расчета среднего контактного давления с учетом натяжения, используя коэффициент напряженного состояния, модифицированный для условий прокатки с натяжением.

3. Развить навыки анализа влияния величины натяжения на контактные напряжения и длину очага деформации.

4. Научить определять оптимальные соотношения переднего и заднего натяжений для минимизации усилия прокатки и энергозатрат.

5. Сформировать умение оценивать граничные условия захвата полосы валками при наличии натяжения.

Порядок выполнения работы:

1. Роль натяжения при тонколистовой прокатке - При производстве тонкой жести (толщиной 0,2–0,5 мм) и других тонколистовых материалов прокатка без натяжения практически невозможна. Натяжение выполняет следующие функции.

2. Снижение давления металла на валки – за счет уменьшения сопротивления деформации металла.

3. Уменьшение длины очага деформации – вследствие упругого восстановления полосы.

4. Улучшение плоскостности полосы – предотвращение образования волн и коробоватости.

5. Стабилизация процесса – предотвращение петлеобразования и обрывов.

6. Натяжение полосы (T) – продольное усилие, прикладываемое к полосе со стороны намоточных устройств (переднее натяжение) или разматывателей (заднее натяжение), измеряется в Н или кН.

7. Относительное натяжение – отношение напряжения натяжения к пределу текучести металла:

$$q = \frac{\sigma_T}{\sigma_s}$$

σ_T – предел текучести металла при данной температуре и степени деформации, МПа.

8. Эффект снижения давления – при прокатке с двумя одинаковыми относительными натяжениями, равными 0,5, среднее контактное давление может уменьшаться в 2,0–2,5 раза по сравнению с прокаткой без натяжения.

9. Среднее давление прокатки определяется как произведение сопротивления деформации на коэффициент напряженного состояния:

$$P_{cp} = n_{\sigma} \cdot \sigma_s$$

где n_{σ} – коэффициент напряженного состояния, учитывающий влияние контактного трения, внешних зон и натяжения.

10. При наличии продольного натяжения коэффициент напряженного состояния модифицируется. Влияние натяжения можно учесть с помощью поправочного коэффициента kT :

$$n_{\sigma}^{нат} = n_{\sigma}^0 \cdot kT$$

где: n_{σ} – коэффициент напряженного состояния без учета натяжения (по Целикову);

kT – поправочный коэффициент, учитывающий снижение давления за счет натяжения.

11. Эмпирические значения снижения давления:

Схема натяжения	Относительное натяжение	Снижение P_{cp}	Снижение мощности
Одно переднее	0,4–0,5	~40–50%	–
Одно заднее	0,4–0,5	~40–50%	–
Два одинаковых	0,4–0,5	50–60%	22–27% (толстые) / 44–49% (тонкие)

12. При прокатке с передним натяжением происходит уменьшение длины очага деформации вследствие упругого восстановления полосы:

$$\frac{l_{\text{нат}}}{l_0} = f\left(\frac{q_1}{\beta \sigma_{s1}}\right)$$

При относительном переднем натяжении 0,4–0,5 уменьшение длины очага деформации может достигать 20–30%

13. Натяжение существенно влияет на условия захвата полосы валками. Заднее натяжение ухудшает захват, а переднее – облегчает. Условие захвата с учетом натяжения:

$$\alpha \leq \mu \pm \frac{\Delta \sigma_{\pm}}{2p_{\text{ср}}}$$

$\Delta \sigma$ – разность переднего и заднего напряжений натяжения.

14. В четырехвалковой клети рабочие валки воспринимают лишь 2,5% от общего давления металла, остальные 97,5% передаются на опорные валки. Натяжение влияет на распределение нагрузки между валками через изменение изгибающих моментов:

$$M_T = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_1 - T_0}{4} \left(a - \frac{\epsilon}{2}\right)$$

где, T_1 и T_0 – переднее и заднее натяжение;

a – расстояние между осями нажимных винтов;

ϵ – ширина подушки вала

15. Получить у преподавателя исходные данные для расчета (вариант задания): Марка стали (например: 08кп, 08Ю); Исходная толщина жести h_0 , мм (обычно 0,5–0,8 мм); Конечная толщина h_1 , мм (0,2–0,35 мм); Ширина полосы b , мм (700–1500 мм); Диаметр рабочего вала D , мм; Температура прокатки (холодная: 20°C); Коэффициент трения μ (с учетом смазки). Варианты натяжения (переднее, заднее, комбинированное).

16. По стандартной методике выполнить расчет усилия прокатки без учета натяжения:

Абсолютное обжатие: $\Delta h = h_0 - h_1$

Длина дуги захвата: $l_d = R \cdot \Delta h$

Средняя высота очага деформации: $h_{\text{ср}} = h_0 + h_1 / 2$

Коэффициент напряженного состояния (по Целикову): $n\sigma = \mu \cdot l_d / 2h_{\text{ср}}$

Среднее давление без натяжения: $p_{\text{ср}} = n\sigma \cdot \sigma_s$

Площадь контакта: $F_k = b \cdot l_d$.

17. Определение поправочного коэффициента k_T :

$$k_T = \frac{p_{\text{ср}}^{\text{нат}}}{p_{\text{ср}}^0} = 1 - a \cdot q_0 - b \cdot q_1$$

Коэффициенты a и b зависят от геометрии очага деформации и условий трения.

Рекомендуемые значения для тонкой жести ($h < 0,5$ мм) :

Для переднего натяжения: $k_T \approx 1 - 0,7q_1$

Для заднего натяжения: $k_T \approx 1 - 0,5q_0$

Для двух натяжений: $k_T \approx 1 - 0,9\max(q_0, q_1)$

18. Заполнить таблицу:

Таблица 1 - Результаты расчета усилия прокатки при различных режимах натяжения

Режим натяжения	q_0	q_1	нат l , мм	$P_{\text{ср}}$ нат, МПа	$P_{\text{нат}}$, МН	$/P_0$	Примечание
Без натяжения	0	0				1,0	Базовый
Заднее натяжение	0,3	0					
Заднее натяжение	0,5	0					
Переднее натяжение	0	0,3					
Переднее натяжение	0	0,5					
Комбинированное	0,3	0,3					
Комбинированное	0,5	0,5					
Оптимальный режим							

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет давления металла на валки при холодной прокатке по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Лабораторное занятие №7

Определение давления металла на валки при холодной прокатке жести с учётом сплющивания валков

Цель: Сформировать у обучающихся практические навыки определения давления металла на валки с учётом упругого сплющивания валков.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется.

Задание:

1. Изучить влияние сплющивания валков на контактное давление при холодной прокатке тонких полос (жести).
2. Освоить метод последовательных приближений для определения приведённого радиуса валков и удельного давления.
3. Выполнить расчёт давления на валки для заданной марки жести.

Порядок выполнения работы:

1. При холодной прокатке тонкой жести (толщина $h \leq 0,5$ мм) контактные напряжения очень высоки, что вызывает упругое сплющивание валков. Радиус валка в зоне деформации увеличивается $\rightarrow$ длина очага деформации возрастает $\rightarrow$ давление перераспределяется.

2. Радиус валка определяется по формуле:

$$R' = R \left[1 + \frac{C \cdot P}{b \cdot (h_0 - h_1)} \right]$$

Где, R' — сплюснутый радиус, мм;

R — начальный радиус валка, мм;

P — полное усилие прокатки, Н;

b — ширина полосы, мм;

h_0, h_1 — начальная и конечная толщина, мм;

3. Среднее удельное давление с учётом сплющивания:

$$p_{\text{ср}} = K \cdot \frac{e^{\mu} - 1}{\mu}$$

где, $K=1,15\sigma_t$ — сопротивление деформации (с учётом упрочнения);

μ — коэффициент трения (для холодной прокатки стали 0,05–0,10).

3. Полное усилие прокатки определяется по формуле:

$$P = p_{\text{ср}} \cdot b \cdot l_d, \quad l_d = \sqrt{R'(h_0 - h_1)}$$

Таблица 1 - Исходные данные

Вариант	Марка стали	h_0 , мм	h_1 , мм	b , мм	R , мм	μ	σ_T , МПа
1	08кп	0,40	0,25	800	150	0,07	210
2	10кп	0,45	0,28	800	150	0,08	230
3	Сталь 20	0,35	0,20	1000	200	0,06	260

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Лабораторное занятие №8

Состав оборудования прокатной клетки стана 2000

Цель: Сформировать у обучающихся системное знание о полном составе оборудования прокатной клетки стана «2000» как совокупности взаимосвязанных узлов и механизмов, обеспечивающих процесс прокатки, и научить идентифицировать каждый элемент оборудования, его конструктивные особенности и функциональное назначение в мультимедийной обучающей программе.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: мультимедийная программа «Стан 2000».

Задание:

1. Усвоить понятие «состав оборудования прокатной клетки» как совокупности основного и вспомогательного оборудования, обеспечивающего деформацию металла, передачу усилия и транспортировку проката.

2. Изучить полный перечень оборудования прокатной клетки стана 2000.
3. Научиться классифицировать оборудование по функциональному признаку (основное, вспомогательное, транспортное) и идентифицировать его на 3D-моделях и схемах.
4. Развить навыки работы с интерактивными схемами и 3D-моделями для изучения состава и расположения оборудования прокатной клетки.
5. Научить анализировать взаимосвязь между отдельными элементами оборудования (например, между нажимным механизмом, валковой системой и рольгангами) и их влиянием на технологический процесс прокатки.
6. Сформировать умение работать с технической документацией (паспорта оборудования, инструкции по эксплуатации) для получения информации о характеристиках узлов и механизмов

Порядок выполнения работы:

1. Вводная беседа: «Почему оператор должен знать весь состав оборудования клетки, а не только её основные узлы? Отказ любого элемента — от рольганга до системы смазки — может остановить весь стан».
2. Демонстрация видеоролика работы стана 2000 с акцентом на работу различных механизмов (вращение валков, перемещение раската по рольгангам, срабатывание нажимных устройств).
3. Работа в мультимедийной программе «Стан 2000».
4. Изучение структурной схемы оборудования прокатной клетки с разделением на функциональные группы.
5. Рассмотреть расположение рабочих и опорных валков, подушек, механизмов осевой фиксации.
6. Тестирование.

Форма представления результата: итоги компьютерного тестирования.

Критерии оценки:

- «5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;
- «4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;
- «3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;
- «2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Практическое занятие №1

Расчёт на прочность прокатных валков

Цель: Рассчитать статистическую прочность валков. Научится определять прочность прокатных валков, и осуществлять выбор прокатных валков для того или иного технологического процесса прокатки

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Рассчитать статическую прочность валков.
3. Сравнить полученные данные с допустимым значением.
4. Подготовить устную защиту практической работы.

Порядок выполнения работы:

1. Напряжение изгиба в бочке валка определяется по формуле:
- 2.

$$\sigma_{\text{изг.б}} = \frac{M_{\text{изг}}}{\omega_{\text{б}}} = \frac{M_{\text{изг}}}{0,1d_{\text{б}}^3} \quad [\text{МПа}],$$

где $M_{\text{изг}}$ - изгибающий момент, действующий в рассматриваемом сечении бочки валка, Н*М;
 $\omega_{\text{б}}$ - момент сопротивления поперечного сечения бочки валка на изгиб, Н*М.

Для листовых двухвалковых станов максимально изгибающий момент будет в середине бочки валка.

$$M_{\text{изг}} = \frac{P}{2} * \frac{a}{2} - \frac{P}{2} * \frac{b}{4} = \frac{P}{4} \left(a - \frac{b}{2} \right), \text{ где}$$

P - максимальное усилие при прокатке, Н;

$P = m * g$,

Где m – масса валка, т; (см. технические характеристики заданного валка);

g – ускорение свободного падения ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

a - расстояние между опорами, м;

b - ширина полосы, м. (1 МПа = Кн\м²)

2. Шейку листового валка рассчитывают на изгиб по следующей формуле:

$$\sigma_{\text{изг.ш}} = \frac{M_{\text{изг.ш}}}{W_{\text{изг.ш}}} = \frac{\frac{P}{2} * \frac{l}{2}}{0,1d_{\text{ш}}^3} = \frac{Pl}{0,4d_{\text{ш}}^3},$$

Где l - длинна шейки валка;

$d_{\text{ш}}$ - диаметр шейки валка.

Кручение шейки листового валка рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{T}{W_{\text{ед.ш}}} = \frac{\dot{\phi}}{0,2d_{\text{ш}}^3}$$

T - крутящий момент, прикладываемый к валку со стороны привода(полярный момент сопротивления).

$P = T * \omega$, где

P - мощность, Вт. (принимая мощность равную 90 кВт)

ω - скорость вращения, об/мин. (скорость вращения 90 об/мин)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

3. Результирующее напряжение определяется по формуле для стальных валков.

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma_{\text{изг.ш}}^2 + 3\tau^2}$$

Результирующее напряжение не должно превышать допустимое для данных валков.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет валков на прочность. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Практическое занятие №2

Сравнительная характеристика подшипников различного типа

Цель: Систематизировать знания об устройстве, преимуществах и недостатках подшипников качения и скольжения.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Научиться обоснованно выбирать тип подшипника для узлов прокатного стана (рабочие и опорные валки).
2. Освоить методику сравнительной оценки по технико-экономическим критериям.

Порядок выполнения работы:

1. В современных клетях применяют подшипники трех видов:

Вид	Конструкция	Где применяется
Шариковые радиальные	Шарики между кольцами, сепаратор	Вспомогательные узлы, малые нагрузки, высокие обороты
Роликовые конические	Конические ролики, воспринимают осевую и радиальную нагрузку	Рабочие валки (клетки кварто), шестеренные клетки
Подшипники жидкостного трения (ПЖТ)	Вал вращается в тонком слое масла, без металлического контакта	Опорные валки (большие нагрузки, низкие обороты)

2.Ключевые параметры: грузоподъёмность (динамическая и статическая), допустимая частота вращения, долговечность (ресурс в часах), стоимость изготовления и обслуживания, чувствительность к перекосам и загрязнениям., габаритная ширина (влияет на жёсткость клетки).

3.Представьте, что вы — конструктор прокатного стана. Вам нужно выбрать подшипники для клетки кварто 2000 (горячая прокатка или холодная — по варианту).Выберите тип подшипника для опорного вала и обоснуйте.

вариант	Тип стана	Нагрузка на валок, кН	Частота вращения, об/мин	Условия работы	Критический фактор
1	Холодная прокатка жести	2500	300	Высокая точность, чистая среда	Жёсткость узла
2	Горячая прокатка толстого листа	8000	60	Тепловое излучение, окалина	Надёжность при перекосах
3	Среднесортный стан	1500	500	Умеренная нагрузка, есть вода	Ремонтопригодность

4.Заполните таблицу для трёх типов подшипников (на основе лекций и справочников):

Параметр	Шариковый радиальный	Роликовый конический	ПЖТ (жидкостный)
1. Конструктивная сложность			
2. Способность воспринимать осевую нагрузку			
3. Диапазон рабочих скоростей			
4. Чувствительность к ударам			

Параметр	Шариковый радиальный	Роликовый конический	ПЖТ (жидкостный)
5. Потребность в смазке (расход)			
6. Ресурс (средний), тыс. ч			
7. Относительная стоимость (1 – дешёвый, 3 – дорогой)			
8. Влияние на жёсткость валковой системы			

5. Для заполнения используйте данные:

- Шариковый: $n_{\max} \approx 3000$ об/мин, ресурс 20–30 тыс. ч, осевая — слабая.
- Роликовый конический: $n_{\max} \approx 1500$ об/мин, ресурс 40–60 тыс. ч, осевая — хорошая.
- ПЖТ: $n_{\max} \approx 300$ об/мин, ресурс >100 тыс. ч, осевая — зависит от конструкции, очень жёсткий.

7. Расчет приведенной стоимости: Для объективного сравнения используем формулу эксплуатационных затрат за 5 лет:

$$Z = C_{\text{покуп}} + C_{\text{монт}} + \sum_{t=1}^5 \left(C_{\text{смазка}} + \frac{C_{\text{покуп}}}{T_{\text{службы}}} \right)$$

8. Исходные данные (учебные):

Тип	Цена, у.е.	Стоимость обслуживания в год, у.е.	Ресурс, тыс. ч
Шариковый	50	10	25
Роликовый конический	200	15	50
ПЖТ	5000	200	150

9. Рассчитать: удельную стоимость для каждого типа. Для выбора используем метод взвешенных оценок:

- Задайте веса критериев (сумма = 1):
- Надёжность/ресурс — 0,5
- Стоимость — 0,3
- Ремонтопригодность — 0,2

Оцените каждый тип по 5-балльной шкале для заданного варианта (пример для варианта 1 — холодная прокатка):

Критерий	Шариковый	Конический	ПЖТ
Надёжность	3	4	5
Стоимость	5	4	2
Ремонтопригодность	5	4	3

Взвешенная оценка = $\frac{\sum(\text{оценка} \times \text{вес})}{\sum \text{вес}}$. Рассчитайте и определите победителя для своего варианта.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Практическое занятие №3

Расчет на прочность нажимного винта и гайки

Цель: Научиться выполнять проверочные расчеты винтовой пары (винт–гайка) на сжатие, кручение и смятие резьбы. Освоить методику подбора основных геометрических параметров резьбы по условию износостойкости. Оценить запас прочности нажимного винта при заданном усилии прокатки.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;

- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Обучающийся получает индивидуальное задание:

Вариант	Усилие прокатки P , кН	Материал винта	Материал гайки	Высота гайки H , мм	Наружный диаметр резьбы d , мм	Шаг резьбы t , мм
1	2000	Сталь 40Х	БрОФ10-1	120	120	12
2	3000	Сталь 45	БрА9Ж3	140	140	14
3	1500	Сталь 40ХН	Чугун СЧ20	100	100	10

Дополнительные данные (общие для всех): Резьба упорная (трапецеидальная), Коэффициент трения в резьбе $f=0,12$, Длина винта (расчетная) $l_{расч}=600$ мм. Способ закрепления: нижний конец защемлен, верхний шарнирно оперт (коэффициент приведения длины $\mu=0,7$).

Исходными данными являются усилие прокатки и скорость перемещения винтов.

2. Диаметр нажимного винта определяют в зависимости от условия, действующего на него при прокатке.

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4Y}{\pi \cdot [\sigma]}} = 1,13 \sqrt{\frac{Y}{[\sigma]}}$$

$d_{вн}$ - внутренний диаметр нарезки винта, мм.

Y - максимальное усилие, действующее на винт при прокатке, кН.

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение на сжатие винта, МПа

Допускаемое напряжение на сжатие материала можно принимать равным 120-150 МПа

2.Нажимные винты изготавливают из кованной стали марок Ст5,40Х,40ХН с пределом прочности $\sigma_B=600-700$ МПа.

3.Диаметр нажимной гайки $D_г$ и ее высоту $H_г$ определяют из следующих соотношений:

$$D_г.=(1,5 \div 1,8) \cdot d_{нар}$$

$$H_г.=(0,95 \div 1,1) \cdot D_г,$$

$d_{нар}$ - наружный диаметр резьбы нажимного винта.

Так как на нажимную гайку и на шейку валка действует одно и тоже усилие, наружный диаметр нажимного винта можно определить из зависимости:

$$d_{\text{нар}} = (0,55-0,62)d_{\text{ш}},$$

4.Проверка винта на сжатие и кручение по формуле:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{4P}{\pi \cdot d_1^2} \quad (\text{МПа})$$

5.Проверка гайки на смятие по формуле:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4P}{\pi(d^2 - d_1^2) \cdot z} \quad (\text{МПа})$$

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет . Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо):выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.1 Машины и механизмы главной линии прокатного стана

Практическое занятие №4

Расчет шестеренной клетки на опрокидывание

Цель: Освоить методику определения опрокидывающего момента, действующего на шестеренную клетку, в различных режимах работы.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

Вариант	Тип клет и	$M_{пр}$, кН·м	Схема распределения моментов	G (вес клет), кН	L (расстоян ие между лапами), м	H (расстоя ние от болтов до шестерен), м
1	Дуо	120	$M_1=M_2=M_{пр}$	150	2.0	1.2
2	Дуо	180	$M_1=M_{пр}, M_2=0$ (авари я)	200	2.5	1.5
3	Трио	200	$M_1=M_2=M_3=2/3 M_{пр}$	250	2.8	1.6
4	Трио	220	$M_2=0$ (авария, средний шпindel сломан)	280	3.0	1.8

2. Расчет опрокидывающего момента $M_{опр}$

2.1 Обычная работа (оба шпинделя исправны):

$$M_{опр} = M_{пр} + M_1 - M_2 = M_{пр} + M_{пр} - M_{пр}$$

Опрокидывающий момент равен движущему моменту .

2.1 Авария (сломался нижний шпиндель, $M_2=0$):

$$M_{опр} = M_{пр} + M_1 = M_{пр} + M_{пр} = 2M_{пр}$$

2.2 Прокатка в одной паре валков (обычный режим):

$$M_{опр} = M_{про}$$

2.3 Аварийный режим (поломка среднего шпинделя, $M_2=0$):

$$M_{опр} = M_{пр} + M_1 + M_3 = 2M_{пр}$$

3. Определение усилия, отрывающего лапы клетки от фундамента

P_o — окружное усилие в зацеплении шестеренных валков .

H_u — расстояние от опорной плиты до нижней шестерни.

H_a — расстояние от опорной плиты до верхней шестерни.

L — расстояние между лапами (опорами) клетки.

G — вес клетки.

4. Для клетки дуо сила R_A , отрывающая болты одной стороны, определяется по формуле:

$$R_A = \frac{P_o \cdot (H_o - H_u) + 0,5G \cdot L}{L}$$

7. Расчет усилия на фундаментный болт. Диаметр болта d_b определяют из условия прочности на растяжение:

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q_{\text{зат}}}{\pi \cdot d_b^2} \leq [\sigma]$$

Форма представления результата:

Отчёт о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчёт. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Лабораторное занятие № 9.

Конструкция моталки на стане 2000 ЛПЦ-10

Цель: сформировать знания о назначении, устройстве и принципе работы барабанной моталки стана 2000 горячей прокатки

Выполнив работу, вы будете уметь:

-использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: мультимедийная программа «Стан 2000».

Задание:

- 1.Изучить назначение, устройство и принцип работы моталок стана 2000.
- 2.Изучить кинематическую схему моталки, конструкцию барабана и рольгангов.

Порядок проведения работы:

1.Изучение технологической схемы- рассмотрите схему расположения оборудования на участке моталок (рисунок в методическом пособии или на плакате). Определите:

- Место моталок в технологической цепочке стана 2000.
- Состав оборудования перед моталками (рольганги, линейки, система охлаждения).
- Количество моталок и их расположение по группам.

2. Изучение кинематической схемы моталки:

- Передаточные механизмы (редукторы, муфты).
- Тип электродвигателя привода.
- Схему передачи вращения на барабан.
- Расположение тянущих и формирующих роликов.

3. Изучение конструкции барабана моталки: параметры, заправочная скорость, участие формирующих роликов, особенности управления натяжением.

4. Пройдите тестирование.

Форма представления результата: итоги компьютерного тестирования.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Лабораторное занятие № 10

Конструкция правильных машин на стане 5000

Цель: сформировать знания о назначении, устройстве и принципе работы правильной машины толстолистового стана 5000.

Выполнив работу, вы будете уметь:

-использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: мультимедийная программа «Стан 5000»

Задание:

1.Изучить назначение, устройство и принцип работы роликотправильных машин (листоотправильных машин) в линии стана 5000 горячей прокатки.

2.Освоить работу в мультимедийной обучающей системе "ЛПЦ-9 СТАН 5000" для наглядного изучения конструкции оборудования.

3.Изучить конструктивные особенности правильных машин горячей и холодной правки.

4.Изучить технологическую схему расположения правильных машин на стане 5000.

Порядок выполнения работы:

1.Рассмотрите схему расположения оборудования стана 5000 (рисунок в программе).

2.Определите место каждой из трех правильных машин в технологической линии и ответьте на вопросы:

3.Почему после рабочей клетки установлена машина горячей правки?

4. В чем отличие задач машин горячей и холодной правки?
5. Сколько правильных машин установлено на стане 5000?
6. Изучите роlikоправильную машину №2 (после УКО). Обратите внимание на отличия в конструкции от машины №1 (если таковые имеются).
7. Изучите роlikоправильную машину №3 (холодной правки) на участке отделки. Обратите внимание на особенности конструкции для холодной правки (меньший шаг роликов, большее число роликов).

Форма представления результата: итоги компьютерного тестирования.

Критерии оценки:

- «5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;
- «4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;
- «3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;
- «2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Лабораторное занятие № 11

Определение основных технических характеристик 17- роlikовой правильной машины

Цель: Сформировать умения определять основные технические характеристики роlikоправильных машин.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Изучить конструктивные особенности и технические характеристики 17-роlikовой листоправильной машины.
3. Освоить методику расчета технологических возможностей машины по диапазону толщин и пределу текучести выправляемого металла.
3. Научиться определять скоростные и силовые параметры работы машины.

Порядок выполнения работы:

1. Паспортные данные машины 17×150×2500 (общие для всех вариантов) :

Параметр	Значение
Количество рабочих роликов	17 (9 верхних, 8 нижних)

Параметр	Значение
Диаметр рабочих роликов	150 мм
Шаг роликов	100 мм
Длина бочки роликов	2500 мм
Количество рядов опорных роликов	3
Диаметр опорных роликов	150 мм
Длина бочки опорных роликов	420 мм
Паспортная толщина правки	1–8 мм
Паспортная ширина правки	до 2350 мм
Паспортный предел текучести стали	300 МПа (сталь 08кп)

2. Индивидуальные данные для расчета (по вариантам):

Вариант	Толщина листа h , мм	Ширина листа B , мм	Предел текучести стали σ_s , МПа	Марка стали
1	2,0	1500	280	08кп
2	3,0	1800	320	Ст3
3	4,0	2000	350	10кп
4	5,0	2200	400	20кп

Вариант	Толщина листа h , мм	Ширина листа B , мм	Предел текучести стали σ_s , МПа	Марка стали
5	6,0	2300	450	09Г2С
6	7,0	2350	500	14Г2

3. Определение максимального усилия правки по формуле:

$$P_{\max} = 2\sigma_s \cdot B \cdot h \cdot k \quad (\text{Н})$$

σ_s — предел текучести материала, МПа;

B — ширина листа, мм;

h — толщина листа, мм;

k — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по роликам.

4. Определение допустимой толщины при изменении предела текучести:

$$h_i = h_0 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{s0} \cdot B_0}{\sigma_{si} \cdot B_i}} \cdot k_0 / k_i$$

$h_0=8$ мм — паспортная максимальная толщина;

$\sigma_{s0}=300$ МПа — паспортный предел текучести;

$B_0=2350$ мм — паспортная ширина.

5. Скорость правки выбирается в зависимости от толщины листа :

Диапазон толщин, мм	Рекомендуемая скорость, м/с
0,5 – 4	6,0 – 0,5
4 – 8	0,5 – 1,5
8 – 16 (холодная)	0,5 – 0,1
горячая правка	1,0 – 0,3

6. Для расчета моментов используются коэффициенты из таблицы :

№ ролика	k_n	$k_{уп}$	Усилие на верхний ролик, кН	Усилие на нижний ролик, кН
1	—	—	140	—

№ ролика	k _n	k _{уп}	Усилие на верхний ролик, кН	Усилие на нижний ролик, кН
2	0,7	0,97	—	411
3	0,65	0,96	536	—
4	0,6	0,95	—	529
...	...	...	...	...
17	—	0,67	95	—

6. Заполните итоговую таблицу.

Параметр	Значение
Модель машины	17×150×2500
Количество роликов	17
Диаметр роликов, мм	150
Шаг роликов, мм	100
Длина бочки, мм	2500
Количество опорных роликов в ряду	57
Диаметр опорных роликов, мм	150
Паспортная толщина, мм	8
Паспортная ширина, мм	2350

Параметр	Значение
Паспортный предел текучести, МПа	300
Заданная толщина, мм	(по варианту)
Заданная ширина, мм	(по варианту)
Заданный предел текучести, МПа	(по варианту)

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Лабораторное занятие № 12

Определение усилия на ролики и мощность двигателя 6-ти роликовой правильной машины

Цель: Сформировать умения определять усилие и мощность роlikоправильных машин.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Изучить методику определения усилий на ролики и расчета мощности привода 6-роликовой листопрямительной машины.
2. Научиться выполнять проверочные расчеты для конкретного сортамента.
3. Проанализировать влияние настройки машины на силовые параметры.

Порядок выполнения работы:

1.Паспортные данные 6-роликовой машины (базовые):

Параметр	Значение
Диаметр рабочих роликов D	150 мм
Шаг роликов t	170 мм (1,1D)
Длина бочки роликов L	2000 мм
Макс. толщина листа h_{max}	20 мм
Предел текучести σ_s (паспортный)	300 МПа
КПД привода η	0,85

2.Индивидуальные данные по вариантам:

Вариант	Толщина листа h , мм	Ширина листа B , мм	Предел текучести σ_s , МПа	Марка стали
1	10	1500	280	Ст3
2	12	1600	320	10кп
3	14	1800	360	20кп
4	16	1900	400	09Г2С
5	18	2000	450	14Г2

3.Определение максимального усилия правки:

$$P_i = \sigma_s \cdot B \cdot h \cdot k_i \quad (\text{Н})$$

σ_s — предел текучести, МПа;

B — ширина листа, мм;

h — толщина листа, мм;

ki — коэффициент, зависящий от номера ролика и настройки машины.

4. Проверка сбалансированности настройки. Для качественной правки необходимо, чтобы усилия в каждой группе из трех роликов были уравновешены

Условие для группы роликов 1-2-3: $P_1 - P_2 + P_3 \approx 0$

Условие для группы роликов 4-5-6: $P_4 - P_5 + P_6 \approx 0$

Подберите корректирующие коэффициенты к усилиям на ролики 1, 3, 4, 6 так, чтобы условия выполнялись, и запишите скорректированные значения.

5. Определение изгибающих моментов и мощности

$$N_{\text{изг}} = \frac{\sum M_i \cdot \omega}{1000} \quad (\text{кВт})$$

6. Скорость правки определяется по формуле:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (\text{м/с})$$

7. Мощность, затрачиваемая на трение в подшипниках роликов, может составлять 10–15% от общей мощности. Для учебного расчета учитывается через КПД привода $\eta = 0,85$.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Лабораторное занятие № 13

Определение усилия и мощности холодной правки круглой стали

Цель: Сформировать умения определять усилие и мощность холодной правки круглой стали

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;

- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Изучить методику определения усилия правки для круглого проката на ротационных правильных машинах.
2. Научиться рассчитывать мощность привода машины для заданного сортамента.
3. Научиться оценивать технологические возможности оборудования.

Порядок выполнения работы:

1. Усилие правки для круглого сечения рассчитывается как усилие изгиба на трехопорной схеме (вал на двух опорах, нагруженный посередине):

$$P = \frac{6,8 \cdot \sigma_T \cdot d^3}{10^3 \cdot l} \quad (\text{кН})$$

2. В ротационной правильной машине усилие распределяется между несколькими роликами. Обычно в машине 4–8 роликов. Суммарное усилие, действующее на привод:

$$P_{\Sigma} = P \cdot k_{\text{дин}}$$

3. Мощность двигателя определяется по формуле:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \omega}{1000 \cdot \eta} \quad (\text{кВт})$$

4. Крутящий момент определяется по формуле:

$$M_{\text{кр}} = P_{\Sigma} \cdot R_{\text{бар}} \cdot f$$

где, $R_{\text{бар}}$ - радиус барабана;

f - коэффициент трения качения

5. Паспортные данные ротационной правильной машины:

Параметр	Значение
Диаметр прутка (паспортный), мм	до 60
Шаг между опорными роликами l , мм	300
Радиус барабана $R_{\text{бар}}$, м	0,4
Частота вращения барабана n , об/мин	300
КПД привода η	0,85

6.Индивидуальные данные по вариантам:

Вариант	Диаметр прутка d , мм	Марка стали	σ_t , МПа	Длина прутка, м
1	20	Ст3	240	2,5
2	25	10кп	210	3,0
3	30	20	250	3,0
4	35	45	360	3,5
5	40	40X	750	3,5
6	45	Ст3	240	4,0
7	50	20	250	4,0
8	55	45	360	4,5

Форма представления результата: Отчёт о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчёт по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент чётко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент чётко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Лабораторное занятие № 14

Определение технических параметров моталки стана 2500 холодной прокатки

Цель: Сформировать умения определять технические параметры моталки стана 2500 холодной прокатки

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Изучить конструкцию и принцип работы моталки непрерывного стана 2500 холодной прокатки.

2. Освоить методику определения основных технических параметров моталки (геометрические, силовые, скоростные).

3. Научиться рассчитывать энергосиловые параметры процесса намотки полосы.

Порядок выполнения работы:

1. Определение диапазона регулирования скорости моталки. Угловая скорость моталки должна изменяться обратно пропорционально радиусу рулона:

$$\frac{\omega_0}{\omega} = \frac{R}{R_0}$$

2. Требуемый диапазон регулирования скорости

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \frac{R_{\max}}{R_0} = \frac{900}{400} = 2,25$$

3. Момент на валу барабана при намотке определяется усилием натяжения:

$$M = T \cdot R$$

4. Мощность на валу моталки определяется по формуле:

$$N = M \cdot \omega$$

где ω — угловая скорость барабана, рад/с.

5. Момент инерции рулона:

$$J_{\text{рул}} = \frac{\pi \cdot (R_p^4 - R_0^4)}{2} \cdot B \cdot \rho$$

6. Текущий радиус рулона определяется по формуле:

$$R_p = \sqrt{R_0^2 + \frac{h \cdot v \cdot t}{\pi}}$$

7. Варианты заданий:

Вариант	Толщина полосы h, мм	Ширина полосы B, мм	Марка стали	σ_t , МПа	Удельное натяжение (доля σ_t)
1	0,6	1250	08кп	210	0,6
2	0,8	1400	08кп	210	0,5
3	1,0	1500	Ст3	240	0,4
4	1,2	1600	Ст3	240	0,3
5	1,5	1800	10кп	230	0,25
6	2,0	2000	10кп	230	0,2
7	2,5	2200	20	250	0,15
8	0,7	1300	08кп	210	0,55

Форма представления результата: Отчёт о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчёт по индивидуальным данным. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выполнены все задания лабораторной работы, студент чётко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы;

«4» (хорошо): выполнены все задания лабораторной работы, студент чётко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«3» (удовлетворительно): выполнены все задания лабораторной работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями;

«2» (неудовлетворительно): студент не выполнил или выполнил неправильно задания лабораторной работы; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 5
Выбор типа и конструкции рольганга

Цель: Выбор оптимальной кинематической схемы и конструкции рольганга, обеспечивающей минимальные энергозатраты, высокий ресурс работы и безопасность персонала при перемещении груза.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Определить тип рольганга.
2. Определить тип привода.
3. Выбрать тип роликов.

Порядок выполнения работы:

1. Выбор типа рольганга: приводной или не приводной

Характеристика	Приводной рольганг	Не приводной (гравитационный) рольганг
Принцип движения	Ролики вращаются принудительно от двигателя, а груз движется за счет силы трения	Груз движется под действием силы тяжести (на наклонной плоскости) или от толчка рукой
Область применения	Горизонтальные трассы, подъемы, заданный темп подачи, высокая производительность, реверсивное движение (например, в прокатных станах)	Перемещение грузов под уклон (угол 1.5–11°), простые и недорогие системы, накопители
Ключевые особенности	Стабильная скорость, возможность управления, более сложная и дорогая конструкция	Простая конструкция (часто без электродвигателя), но требует перепада высот и не позволяет точно контролировать скорость

2. Выбор конструкции привода.

Если ваш выбор пал на приводной рольганг, следующим шагом будет определение типа привода.

Групповой привод: Один двигатель приводит в движение все ролики (или их секции) с помощью цепи, ремня или общего вала.

Плюсы: Более простая и дешевая конструкция для роликовых конвейеров с малой и средней нагрузкой.

Минусы: Большая масса, высокие нагрузки при реверсивной работе, сложность ремонта (остановка всей линии).

Индивидуальный (или полуиндивидуальный) привод: Каждый ролик (или пара роликов) оснащается отдельным двигателем (часто мотор-редуктором).

Плюсы: Высокая надёжность, простота обслуживания (замена одного элемента без остановки всей линии), лучше подходит для тяжёлых условий и реверсивных режимов, например, на прокатных станах.

Минусы: Более высокая стоимость оборудования.

Современной тенденцией является переход на приводы на основе мотор-редукторов и карданных валов, что повышает надёжность и упрощает обслуживание.

3. Выбор конструкции роликов.

Конструкция ролика напрямую зависит от перемещаемого груза и условий работы .

По геометрии:

Цилиндрические: Самый распространенный тип для перемещения грузов с плоским дном.

Конусные: Используются для изменения направления движения или поворота листовых материалов .

Двухконусные и ребристые: Предназначены для транспортировки труб, прутков и других длинномерных грузов .

По материалу и исполнению:

Цельнокованные: Для тяжелых заготовок, где возможны ударные нагрузки .

Составные (из труб с приварными цапфами): Более легкие и дешевые, для менее тяжелых условий .

С бандажами: Из чугуна или жаропрочной стали для защиты поверхности проката или самого ролика от высоких температур .

С полимерным или резиновым покрытием: Для снижения шума и предотвращения повреждения поверхности холодных профилей .

4. При проектировании или выборе рольганга учитывайте следующие правила:

Опора груза: Груз или поддон должен опираться как минимум на три ролика. Это предотвращает заклинивание и обеспечивает устойчивость.

Шаг роликов и диаметр: Эти параметры (расстояние между роликами и их диаметр) должны подбираться с учетом размера и веса груза. Для небольших грузов, которые не могут разместиться на роликах, используют поддоны или ящики.

Безопасность: Оградите движущиеся части привода (цепи, ремни, валы), а на поворотах установите защитные реборды или направляющие рейки для предотвращения падения груза.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; выбор рольганга по индивидуальным данным.. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

- «3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.
- «2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 6

Расчёт мощности привода рольганга

Цель: Приобрести навыки инженерного расчета мощности электродвигателя для привода роликового конвейера (рольганга), научиться учитывать статические и динамические нагрузки, а также обоснованно выбирать тип двигателя.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Рассчитать мощность рольганга.
2. Вычертить кинематическую схему рольганга.

Порядок выполнения работы:

1. Мощность привода рольганга складывается из двух составляющих:

Статическая мощность — затрачивается на преодоление сил сопротивления движению груза и роликов.

Динамическая мощность — затрачивается на разгон (пуск) системы с заданным ускорением.

2. Основные усилия, действующие на рольганг:

Вид сопротивления	Причина возникновения
Трение качения груза по роликам	Деформация в зоне контакта груза с роликом
Трение в цапфах (подшипниках) роликов	Сопротивление вращению вала в опорах
Инерционные нагрузки	Разгон и торможение массы груза и вращающихся деталей
Буксование	Проскальзывание груза относительно роликов при пуске

3. Расчет мощности и момента рольганга суммируется из 3-х факторов.

3.1 Потери на трение в подшипниках при движении металла

$$M_{\text{тр}} = (Q_m + n_p G_p) \mu_n * \frac{d_n}{2}, (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Где, Q_m - вес транспортируемого металла.

n_p - число роликов, приводимого от одного электродвигателя.

G_p - вес самого ролика.

$$V_{\text{цил.}} = \frac{\pi d^2}{4} * h$$

μ_n - коэффициент трения в подшипниках ролика ($\mu_n=0,005-0,008$)

d_n - диаметр круга трения в подшипниковых опорах ролика.

3.2 Возможность буксования роликов по металлу при случайном упоре металла в препятствие.

$$M_{\text{бук}} = Q_i * \mu_{\text{дог}} * \frac{d}{2}, \text{ где}$$

$\mu_{\text{бук}}$ - коэффициент трения ролика при буксовании (0,3- по горячему металлу, 0,15-0,2- по холодному металлу)

d - диаметр бочки ролика

Эти моменты составляют статическую нагрузку привода.

$$M_{\text{ст.р}} = M_{\text{тр.р}} + M_{\text{бук}}$$

3.3 Возможность транспортирования металла с ускорением, для чего к роликам необходимо приложить динамический момент.

$$M_{\text{дин.}} = J * \omega = J \frac{d\omega}{dt}, \text{ где}$$

J - момент инерции масс, вращающихся с ускорением ω

$d\omega/dt$ - угловое ускорение вращающейся массы, рад/с

$$J = G_{\delta} * R i^2 = G_{\delta} * \frac{D i^2}{4}, \text{ где}$$

$D i$ - диаметр ширины вращения детали, для деталей имеющим форму цилиндра $R i = 0,7r$
 $D i = 1,4r$

где r - наружный радиус цилиндра

$$d\omega = \frac{j}{r},$$

где j — поступательное ускорение для горячего металла $= 3,0 \text{ м/с}^2$

r - наружный радиус

$$M_{\text{рол.}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}$$

3.4 Мощность, требуемая для вращения роликов, кВт

$$N_{\text{рол}} = M_{\text{рол}} * \omega_p$$

$$M_{\partial\partial} = \frac{N_{\text{рол}}}{\eta}$$

4. Исходные данные

Параметр	Значение
Масса заготовки m_{Γ}	7000 кг
Диаметр ролика D	0,4 м
Диаметр цапфы $d_{\text{ц}}$	0,1 м
Скорость v	0,4 м/с
Количество роликов N	15
Козф. трения в подшипниках $\mu_{\text{п}}$	0,017
Козф. трения качения f	0,005 м
Допустимое ускорение a	1 м/с ²

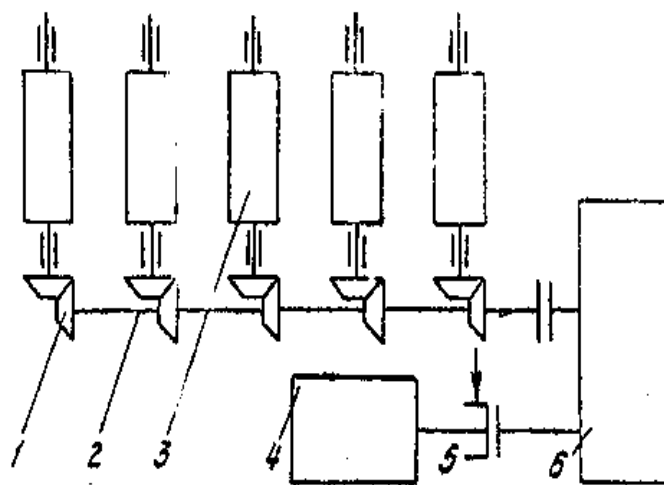


Рисунок 1 -Кинематическая схема рольганга

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 7

Расчёт привода транспортёра

Цель: Освоить методику кинематического и энергетического расчета привода транспортера, научиться выбирать электродвигатель по мощности и частоте вращения, определять передаточные числа элементов привода и рассчитывать силовые параметры на валах.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Определить требуемую мощность двигателя с учетом КПД всех элементов привода.
2. Выбрать двигатель по мощности.
3. Определить общее передаточное число и разбить его по ступеням.
4. Рассчитать частоты вращения, угловые скорости и крутящие моменты на всех валах привода.
- 5.

Порядок выполнения работы:

1. Привод транспортера представляет собой совокупность механизмов, передающих движение от двигателя к рабочему органу (барабану, звездочке, шнеку). Типовая схема привода включает:

Электродвигатель → Муфта → Редуктор → Муфта → Рабочий орган

В некоторых случаях между редуктором и рабочим органом устанавливается дополнительная открытая передача (цепная или ременная) для обеспечения требуемого передаточного числа.

2. Определение исходных данных. Соберите данные по транспортеру: тяговое усилие на приводном органе F (Н),

скорость перемещения груза v (м/с),
диаметр приводного барабана D (м) (или делительный диаметр звездочки для цепного транспортера).

3. Расчёт выходной мощности и КПД. Определите:

$$P_{\text{вых}} = F \cdot v.$$

4. Примите ориентировочное значение общего КПД привода в интервале 0,85...0,90 или рассчитайте точно по формуле как произведение КПД всех передач в кинематической схеме

5. Выбор электродвигателя. Определите требуемую мощность двигателя с учетом коэффициента запаса:

$$P_{\text{дв}} \geq \frac{P_{\text{вых}} \cdot k_z}{\eta_{\text{пр}}}$$

6. Рассчитайте частоту вращения рабочего органа. Для каждого варианта двигателя определите общее передаточное число:

$$u_{\text{общ}} = n_{\text{ном}} / n_{\text{вых}}$$

Выберите двигатель, для которого передаточное число привода попадает в рекомендованный диапазон и позволяет оптимально разбить его между редуктором и открытой передачей (обычно для редукторов 4...63, для открытых передач 2...5).

7. Примите передаточное число редуктора (для стандартных редукторов или по рекомендациям), тогда передаточное число открытой передачи:

$$u_{\text{откр}} = u_{\text{общ}} / u_{\text{ред}}$$

Проверьте, чтобы $u_{\text{откр}}$ находилось в допустимых пределах (цепная: 2...5, ременная: 2...4).

8. Расчет силовых и кинематических параметров. Заполните таблицу для всех валов привода:

Вал	Мощность P , кВт	Частота n , об/мин	Угловая скорость ω , с ⁻¹	Момент T , Н·м
Двигателя				
Быстроходный редуктора				
Тихоходный редуктора				
Рабочего органа				

9. Для обеспечения пуска транспортера с грузом проверяется условие:

$$\frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{ном}}} \geq \frac{T_{\text{ст}} + T_{\text{дин}}}{T_{\text{ном}}}$$

где $T_{\text{ст}}$ — статический момент, $T_{\text{дин}}$ — динамический момент при разгоне.
Значение $T_{\text{пуск}}/T_{\text{ном}}$ для выбранного двигателя берётся из каталога (обычно 1,8...2,2).

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 8

Расчёт привода конвейера

Цель: Освоить методику выбора электродвигателя и выполнения кинематического и силового расчета привода конвейера, научиться определять основные параметры (мощность, частоту вращения, крутящий момент) на всех валах привода

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Определить требуемую мощность электродвигателя с учетом КПД привода.
2. Выбрать двигатель по мощности.
3. Определить общее передаточное число и разбить его по ступеням.
4. Рассчитать частоты вращения, угловые скорости, мощности и крутящие моменты на всех

валах

Порядок выполнения работы:

1. Привод конвейера обычно состоит из следующих элементов:

- Электродвигатель – источник механической энергии;
- Муфта – соединяет вал двигателя с редуктором;
- Редуктор – понижает частоту вращения до требуемой;

-Открытая передача (цепная или ременная) – дополнительное понижение частоты вращения;

-Рабочий орган – приводной барабан (для ленточного конвейера) или звездочка (для цепного).

3. Исходные данные для расчета:

-Тяговое усилие на барабане F_t , кН;

-Скорость ленты v , м/с;

-Диаметр приводного барабана D , м;

-Тип привода (закрытый редуктор, открытая передача).

4. Расчет выходной мощности и КПД

$$\bullet \quad P_{\text{вых}} = F_t \cdot v$$

По кинематической схеме привода определите количество и тип передач, затем рассчитайте общий КПД:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{зп}} \cdot \eta_{\text{цп}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{пк}}^n$$

4. Требуемая мощность электродвигателя:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{вых}} \cdot k_3}{\eta_{\text{общ}}}$$

Рекомендуется рассматривать двигатели с синхронными частотами вращения 1500 или 1000 об/мин. Двигатели с частотой 3000 об/мин имеют меньший ресурс, а с частотой 750 об/мин – большие габариты и массу.

5. Определение общего передаточного числа. Частота вращения приводного барабана:

$$n_6 = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D}$$

Общее передаточное число:

$$u_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_6}$$

Предварительно принимаются передаточные числа отдельных передач согласно рекомендуемым диапазонам:

-Для зубчатых передач: $u=2,0 \dots 6,3$ (по стандартному ряду);

-Для цепных передач: $u=2 \dots 5$;

-Для ременных передач: $u=2 \dots 4$.

При выборе редуктора стандартного типа (например, двухступенчатый цилиндрический) его передаточное число можно определить по формуле:

$$u_{\text{ред}} = \frac{u_{\text{общ}}}{u_{\text{откр}}}$$

6. Расчет силовых и кинематических параметров. Расчет ведется последовательно от вала двигателя к выходному валу:

Вал	Формулы для расчета
Вал двигателя	$P_{дв}, n_{дв}, \omega_{дв} = \pi n_{дв}/30, T_{дв} = 9550 P_{дв}/n_{дв}$
Входной вал редуктора	$P_1 = P_{дв} \cdot \eta_m \cdot \eta_{пк}, n_1 = n_{дв}, T_1 = 9550 P_1/n_1$
Выходной вал редуктора	$P_2 = P_1 \cdot \eta_{зп}, n_2 = n_1/u_{ред}, T_2 = 9550 P_2/n_2$
Вал рабочего органа	$P_3 = P_2 \cdot \eta_{откр} \cdot \eta_{пк}, n_3 = n_2/u_{откр}, T_3 = 9550 P_3/n_3$

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 9

Расчёт механизма подъёма стола

Цель: Освоить методику инженерного расчета механизма подъема стола: научиться определять требуемое усилие привода, рассчитывать основные параметры конструкции, подбирать тип привода и проверять элементы на прочность и устойчивость.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Определить расчетную нагрузку.
2. Провести расчет гидравлического привода.
3. Рассчитать винтовой механизм.
4. Рассчитать мощность привода.
5. Привести расчет ножничного подъемника.

Порядок выполнения работы:

1. Механизмы подъема стола широко применяются в складских комплексах, прокатных производствах, на строительных площадках и в различных подъемно-транспортных устройствах. Основные типы конструкций:

Тип механизма	Принцип работы	Область применения
Винтовой домкрат	Вращение винта перемещает гайку с платформой	Точное позиционирование, малые скорости (10–35 мм/мин)
Гидравлический цилиндр	Давление жидкости выдвигает шток, поднимая платформу	Большие усилия, плавный ход, высокая нагрузка (5–10 МПа)
Ножничный механизм	Система рычагов, складывающихся по принципу ножниц	Компактность в сложенном состоянии, большой ход
Качающийся/подъемный рычаг	Поворот рычага вокруг оси поднимает платформу с грузом	Тяжелые грузы, прокатные станы

2. Фактическая нагрузка на механизм почти всегда превышает просто вес груза

$$F_{\text{расч}} = (m_{\text{груза}} + m_{\text{оснастки}}) \cdot g \cdot K_{\text{зап}} \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{дин}}$$

$M_{\text{груза}}$ — масса поднимаемого груза, кг;

$M_{\text{оснастки}}$ — масса тары, паллеты, платформы, кг;

$K_{\text{зап}}=1,15\dots1,50$ — коэффициент запаса;

$K_{\text{см}}=1,10\dots1,60$ — коэффициент смещения центра масс;

$K_{\text{дин}}=1,10\dots1,40$ — коэффициент динамичности

3. Для гидроцилиндра требуемое усилие определяется по площади поршня и давлению жидкости

$$F_{\text{ус}} = p \cdot S$$

Где p — давление в системе (обычно 5–10 МПа), S — площадь поршня, мм².

Диаметр цилиндра из условия создания требуемого усилия:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{т}}}{\pi \cdot p}}$$

Диаметр штока ориентировочно принимается:

$$d_{\text{шт}} = (0,2\dots0,3) \cdot D_{\text{ц}}$$

Усилие с учётом потерь на трение определяется по формуле:

$$F_{\tau} = F_{yc} \cdot K_{\tau p}$$

4. Для винтового домкрата расчет ведется по резьбе. Сила сжатия винта:

$$F_a = m \cdot g$$

Средний диаметр резьбы из условия износостойкости:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{F_a}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot [p]_{изн}}}$$

Угол подъема резьбы:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{z \cdot p}{\pi \cdot d_2}$$

5. Усилие привода для ножничного механизма сильно зависит от высоты подъема и схемы расположения привода. Для предварительного расчета можно использовать приближенную зависимость, но точные значения требуют итерационных расчетов с учетом сил трения в шарнирах. Влияние трения в шарнирах на расчетное усилие может достигать 15–23%

6. Мощность двигателя для подъема определяется по формуле:

$$P = \frac{F_{расч} \cdot v}{\eta_{пр}} \cdot K_{зап}$$

7. Момент на валу привода для винтового механизма:

$$M_c = \frac{F_a \cdot r_{винта}}{i \cdot \eta}$$

Варианты заданий

Вариант	Тип механизма	М груза, кг	Н подъема, м	v, м/мин	Примечание
1	Гидравлический	2000	1,0	5	Паллетная операция
2	Винтовой	500	0,3	0,5	Точное позиционирование
3	Ножничный	1500	1,5	3	Складской комплекс
4	Гидравлический	5000	0,8	2	Тяжелая зона

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 10

Расчёт усилия на линейках манипулятора

Цель: Освоить методику определения усилий, действующих на линейные направляющие (линейки) манипулятора, включая статические нагрузки, динамические составляющие и проверку на отсутствие заклинивания.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Определить массу подвижных частей;
2. Рассчитать силу тяжести и статический момент;
3. Рассчитать динамические нагрузки (при наличии ускорений);
4. Определить реакции в опорах;
5. Рассчитать силу трения и проверить на заклинивание;
6. Провести проверку по допустимой нагрузке направляющих.

Порядок выполнения работы:

1. Расчётное усилие на линейках — это ключевой параметр для выбора направляющих качения или скольжения, расчета их ресурса и подбора привода. Усилие определяется как сумма статических (сила тяжести) и динамических (силы инерции при разгонах и торможениях) составляющих. Метод кинетостатики применяется для силового расчета манипуляторов: механизм рассматривается статично в некоторой точке движения (конфигурации), а к звеньям прикладываются активные силы (вес) и силы инерции.

2. Суммарная сила тяжести подвижных частей:

$$F_{\text{тяж}} = (m_{\text{звена}} + m_{\text{груза}} + m_{\text{оснастки}}) \cdot g$$

3. При смещении центра тяжести относительно точки опоры:

$$M_f = F_{\text{тяж}} \cdot L$$

4. Сила инерции при разгоне/торможении. При движении с ускорением a :

$$F_{ин} = m \cdot a$$

6. При расчёте схемы с двумя опорами, реакции определяются из уравнений равновесия:

$$R_a = \frac{G \cdot b + q \cdot \frac{(a+h)^2}{2}}{a} + \frac{P \cdot L}{a}$$

$$R_b = G + q \cdot (a + h) - R_a$$

G — вес подвижных частей с грузом, Н;

q — распределенная нагрузка от веса направляющей, Н/м;

a — расстояние между опорами, м;

h — длина консольной части, м;

P — движущая сила, Н;

L — плечо приложения силы, м

7. Сила трения в направляющих для поступательного движения:

$$P \cdot L > (R_a + R_b) \cdot \mu \cdot a$$

8. Общая формула динамического момента:

$$M_{pitch} = (m_L \cdot g + m_L \cdot a) \cdot L_{CG}$$

9. Проверка по допустимому моменту (для выбора направляющей):

$$\frac{M_{pitch}}{M_{доп,pitch}} + \frac{M_{yaw}}{M_{доп,yaw}} + \frac{M_{roll}}{M_{доп,roll}} < 1$$

10. Заполнить таблицу

Параметр	Обозначение	Значение
Масса подвижного звена (линейки)	m_1	кг
Масса груза с захватом	m_{Γ}	кг
Длина направляющей (ход)	L	м
Расстояние между каретками (опорами)	a	м
Вылет консольной части	h	м
Максимальная скорость движения	V_{max}	м/с
Время разгона	t_p	с
Коэффициент трения в направляющих	μ	—

Исходные данные

Параметр	Значение
Масса вертикальной стрелы	2 кг
Масса груза	5 кг
Масса двигателя	2,1 кг
Плечо силы тяжести (вылет)	0,025 м
Расстояние между каретками	0,06 м
Длина консоли	0,3 м

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо):выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 11

Расчёт привода листоправильной машины

Цель:Освоить методику энергосилового расчета привода листоправильной машины: научиться определять изгибающие моменты при правке листа, рассчитывать суммарную потребляемую мощность электродвигателя с учетом статических и динамических нагрузок, а также обоснованно выбирать мощность главного привода.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

- 1.Рассчитать относительную деформацию по роликам;
- 2.Рассчитать суммарный изгибающий момент;
- 3.Рассчитать мощность правки;
- 4.Рассчитать мощность трения качения;
- 5.Рассчитать мощность трения в опорных роликах;
- 6.Рассчитать динамическую мощность (при наличии данных);

Порядок выполнения работы:

Листоправильная машина (роликовая правильная машина, РПМ) предназначена для устранения дефектов формы стальных листов методом знакопеременного изгиба. Правка осуществляется при прохождении листа между рядами рабочих роликов, которые создают многократные перегибы, постепенно уменьшающиеся по ходу движения .

Расчет привода листоправильной машины базируется на определении изгибающих моментов, возникающих при пластической деформации листа, и суммарной мощности электродвигателя, необходимой для преодоления всех видов сопротивления

Таблица 1 - Исходные данные

Параметр	Обозначение	Значение
Толщина листа	h	м
Ширина листа	B	м

Параметр	Обозначение	Значение
Предел текучести стали	σ	МПа
Модуль упругости	E	МПа
Диаметр рабочих роликов	D	м
Шаг между роликами	t	м
Скорость правки	v	м/с
Число роликов	n	7, 9, 11, 13, 17
КПД привода	η	0,85...0,90

1. Определите относительную деформацию Δi для каждого ролика и суммарную деформацию Δc .

2. Расчет изгибающего момента

$$M_p = \frac{\sigma_s^2 \cdot B \cdot h \cdot D_p}{4 \cdot E} \cdot \Delta_c$$

3. Расчёт мощности правки

$$N_p = \frac{1}{\eta} \cdot \sum M_p \cdot \frac{v}{D_p}$$

4. Расчёт мощности трения качения:

$$N_{т.к} = P_{\Sigma} \cdot f_{т.к} \cdot \left(\frac{2v}{D_p} \right)$$

5. Расчёт мощности трения в опорных роликах:

$$N_{ш.о} = f_o \cdot \varphi \cdot P_{\Sigma} \cdot \frac{d_o}{2} \cdot \frac{2v}{D_o}$$

6. Расчет динамической мощности. Приведите моменты инерции всех вращающихся деталей к валу двигателя и определите $N_{дин}$.

7. Определение общей мощности двигателя:

$$N_{де} = N_p + N_{т.к} + N_{ш.о} + N_{дин}$$

Таблица 2 - Варианты заданий

Вариант	σ_s , МПа	B , м	h , мм	D_p , мм	v , м/с	n роликов
1	250	1,8	20	360	0,25	7
2	300	2,0	25	300	0,30	9
3	350	1,5	15	250	0,20	11
4	200	2,2	30	400	0,15	13

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 12

Расчет привода моталки

Цель: Освоить методику энергосилового расчета привода моталки прокатного стана

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Определить требуемую мощность электродвигателя.
2. Рассчитать диапазон угловых скоростей барабана моталки.
3. Подобрать передаточное число редуктора.
4. Проверить выбранный двигатель на возможность пуска под нагрузкой.

5. Сделать вывод о соответствии выбранного оборудования заданным условиям.

Порядок выполнения работы:

Моталка — ключевое оборудование прокатного стана, предназначенное для сматывания полосы в рулоны. Привод моталки работает в режиме поддержания постоянного натяжения полосы при непрерывно возрастающем радиусе рулона. Это определяет основную сложность расчета: момент на валу двигателя растет по мере увеличения радиуса рулона, а скорость вращения, наоборот, падает при постоянной линейной скорости намотки.

1. Частота вращения барабана (n) зависит от текущего диаметра рулона (D) и линейной скорости смотки ($V_{св}$) и определяется из формулы окружной скорости:

$$V_{св} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

2. Передаточное число (i) выбирается так, чтобы обеспечить максимальную рабочую скорость при номинальной частоте вращения двигателя:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{max}}$$

Примечание: В данном расчете предполагается использование асинхронного двигателя с постоянной частотой. Для обеспечения всего диапазона скоростей потребуется либо двухскоростной двигатель, либо частотно-регулируемый привод (ЧРП).

4. Требуемая мощность (P) рассчитывается по максимальному натяжению и скорости смотки с учетом потерь в передаче:

$$P = \frac{T_{max} \cdot V_{св}}{\eta}$$

5. Необходимо убедиться, что двигатель сможет провернуть тяжелый рулон максимального диаметра. Статический момент сопротивления на валу барабана:

$$M_{ст} = T_{max} \cdot \frac{D_{max}}{2}$$

6. Приведенный статический момент к валу двигателя:

$$M_{пр} = \frac{M_{ст}}{i \cdot \eta}$$

Условие успешного пуска: Пусковой момент двигателя ($M_{пуск}$) должен быть больше приведенного статического момента ($M_{пр}$). Как правило, для асинхронных двигателей прямого пуска $M_{пуск} \approx (1.2 \dots 2.0) \cdot M_{ном\{пуск\}}$ ($1.2 \dots 2.0$).

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.2 Машины и агрегаты поточных технологических линий

Практическое занятие № 13

Расчет привода разматывателя

Цель: Освоить методику энергосилового расчета привода разматывателя прокатного стана: научиться определять статический момент, создаваемый натяжением полосы, рассчитывать динамические составляющие, обусловленные изменением радиуса рулона и момента инерции, и обоснованно выбирать мощность электродвигателя

Выполнив работу, вы будете уметь:

- проверять неисправности оборудования;
- выявлять износ, дефекты рабочих поверхностей валков, калибров;
- анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля.

Материальное обеспечение: не требуется

Задание:

1. Рассчитать усилие натяжения;
2. Рассчитать максимальный и минимальный статические моменты;
3. Рассчитать частоту вращения;
4. Провести расчёт динамических моментов (при наличии данных);
5. Провести расчет требуемой мощности и выбор двигателя по каталогу.

Порядок выполнения работы:

1. Разматыватель — оборудование, предназначенное для размотки рулона полосы и подачи ее в прокатную клеть с заданным натяжением. В отличие от моталки, где радиус рулона увеличивается, при размотке радиус уменьшается, что создает зеркальную, но не идентичную, задачу для расчета привода.

Ключевая особенность расчета: привод разматывателя должен работать в режиме генераторного торможения, создавая тормозной момент, необходимый для поддержания заднего натяжения полосы. При этом по мере уменьшения радиуса рулона частота вращения вала растет, а требуемый момент падает.

Составляющие момента на валу разматывателя:

Полезный момент $M_{\text{пол}}$ — для создания требуемого натяжения полосы;

Момент потерь $M_{\text{пот}}$ — на трение в механизмах;

Динамический момент $M_{\text{дин}}$ — на разгон/торможение при изменении скорости и радиуса рулона;

Момент деформации $M_{\text{деф}}$ — на изгиб полосы при размотке (обычно мал для тонкой полосы).

Таблица 1 - исходные данные

Параметр	Обозначение	Значение
Ширина полосы	b	м
Толщина полосы	h	м
Начальный радиус рулона	R	м
Радиус барабана (конечный радиус)	R	м
Заданное натяжение	G	кг или Н
Скорость размотки	v	м/с
Передаточное число редуктора	i	—
КПД редуктора	η	0,92...0,95
Плотность металла	ρ	7800 кг/м ³
Момент инерции двигателя (приведенный)	J	кг·м ²

2.Расчёт усилия натяжения:

$$F = g \cdot G$$

3.Определение максимального и минимального моментов натяжения.

При максимальном радиусе (начало размотки):

$$M_{\text{max}} = F \cdot R_{\text{max}}$$

При минимальном радиусе (конец размотки):

$$M_{\text{min}} = F \cdot R_{\text{min}}$$

5. Максимальная частота вращения — при минимальном радиусе:

$$\omega_{max} = \frac{v}{R_{min}}$$

6. Минимальная частота — при максимальном радиусе:

$$\omega_{min} = \frac{v}{R_{max}}$$

6. Для каждого режима определите момент на валу и мощность. Выберите наибольшее значение.

$$P_{дв} = \frac{M \cdot \omega}{\eta} \cdot k_3$$

7. Согласно методике для прокатных станов, расчёт двигателя всегда является проверочным. Двигатель предварительно выбирается по ориентировочной мощности. Строятся графики скоростей и нагрузочные диаграммы моментов за цикл работы. Двигатель проверяется по нагреву (по эквивалентному моменту). Двигатель проверяется по перегрузочной способности: $M \geq M$.

Таблица 2 - Исходные данные

Параметр	Значение
Ширина полосы b	1,25 м
Толщина полосы h	2,0 мм
Начальный радиус рулона R_{max}	0,85 м
Радиус барабана R_{min}	0,30 м
Заданное натяжение G	3160 кг
Скорость размотки v	1,0 м/с
КПД редуктора η	0,92
Коэффициент запаса k_3	1,3

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчет. Выводы предоставить в письменной форме.

Критерии оценки:

«5» (отлично): выставляется студенту, если расчетная и графическая часть выполнены в полном объеме, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«4» (хорошо): выставляется студенту, если при выполнении задания допущены незначительные ошибки, решение оформлено с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач.

«3» (удовлетворительно): выставляется студенту, если задание выполнено с «грубыми» ошибками, решение оформлено без соблюдения установленных правил.

«2» (неудовлетворительно): выставляется студенту, если работа не выполнена.

Тема 1.3 Контроль подачи энергоносителей на основное и вспомогательное оборудование

Практическое занятие № 14

Использование программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами в целях оптимизации расхода энергоносителей

Цель: Освоить применение ПО АСУТП для анализа и оптимизации расхода энергоносителей на примере прокатных и волочильных станов; сформировать навыки работы с реальными данными промышленного предприятия, выявления резервов энергосбережения и разработки предложений по снижению энергопотребления без потери производительности.

Выполнив работу, вы будете уметь:

- использовать программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами
 - анализировать информацию о ходе технологического процесса и результатах контроля
- Уо 01.02

Материальное обеспечение:

Тренажер Оператор ГПУ АПР №2 ЛПЦ-4

Тренажер Стан 170

Принципы работы оборудования линии листоотделки стана 5000 ЛПЦ-9

Тренажер. Оператор-технолог черновой группы плетей. Вальцовщик черновой группы клетей

"Тренажер. Стан 2000-Оператор моталок

Учебно-методический комплекс "Сортовая прокатка"

Тренажер-эмулятор "Волочильный стан

Виртуальный учебный комплекс PROLAB

(Печь с шагающими балками, непрерывный стан, линия резки заготовки)

Для различных вариантов оборудования предложены соответствующие цели, задания.

1. Тренажер «Оператор ГПУ АПР №2 ЛПЦ-4»

Цель: освоить управление газоподогревательной установкой (ГПУ) с целью минимизации расхода природного газа при обеспечении требуемых параметров нагрева.

Задание:

1. Проанализировать работу ГПУ в различных режимах.
2. Выявить факторы, влияющие на расход газа.
3. Оптимизировать настройки системы управления для снижения энергопотребления.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями о принципах работы ГПУ (учебное пособие «Теплотехника в металлургии», ЭБС «Юрайт», раздел 5.3, стр. 120–135).
2. Ответьте на вопросы:
 - Какие параметры нагрева контролируются в ГПУ?
 - Как влияет неравномерность нагрева на расход газа?
 - Какие датчики используются для контроля процесса?
3. Запустите тренажёр, выберите режим «Нормальная работа».
4. Зафиксируйте начальные показатели расхода газа, температуры нагрева, КПД установки.
5. Поэкспериментируйте с настройками подачи газа и воздуха, отслеживая изменения температуры и расхода.
6. Найдите оптимальный режим, обеспечивающий требуемую температуру при минимальном расходе газа.
7. Запишите параметры оптимального режима.

Форма представления результата: таблица с тремя колонками: «Параметр», «Исходное значение», «Оптимизированное значение»; краткий отчёт с выводами (1–2 абзаца).

Критерии оценки:

- «Отлично» — все параметры оптимизированы, экономия газа ≥ 15 %, отчёт оформлен грамотно.
- «Хорошо» — экономия газа 10–14 %, в отчёте есть небольшие недочёты.
- «Удовлетворительно» — экономия газа 5–9 %, отчёт неполный.
- «Неудовлетворительно» — экономия < 5 % или её нет, отчёт отсутствует/нечитаем.

2. Тренажёр «Стан 170»

Цель: изучить влияние режимов прокатки на расход электроэнергии и научиться оптимизировать его с помощью АСУТП.

Задание:

1. Исследовать зависимость расхода электроэнергии от скорости прокатки и толщины заготовки.
2. Настроить параметры стана для минимизации энергопотребления.

Порядок выполнения работы:

1. Изучите теоретический материал о энергопотреблении при прокатке (учебник «Прокатное производство», ЭБС «Лань», глава 7, стр. 210–225).
2. Ответьте на вопросы:
 - Как скорость прокатки влияет на расход электроэнергии?
 - Какие узлы стана потребляют больше всего энергии?
 - Какие алгоритмы АСУТП помогают экономить электроэнергию?
3. Запустите тренажёр, установите режим «Прокатка полосы 4×100 мм».
4. Зафиксируйте расход электроэнергии за цикл при стандартных настройках.
5. Измените скорость прокатки и натяжение полосы, отслеживая изменение энергопотребления.
6. Найдите комбинацию параметров, дающую минимальный расход энергии при сохранении качества продукции.
7. Сравните результаты с исходными данными.

Форма представления результата: график зависимости расхода электроэнергии от скорости прокатки; таблица сравнения исходных и оптимизированных параметров; краткий анализ (1 страница).

Критерии оценки:

- «Отлично» — расход снижен на $\geq 12\%$, график и таблица оформлены правильно, анализ полный.
- «Хорошо» — снижение на 8–11 %, небольшие ошибки в оформлении.
- «Удовлетворительно» — снижение на 4–7 %, неполный анализ.
- «Неудовлетворительно» — снижение $< 4\%$ или его нет, работа не оформлена.

3. Принципы работы оборудования линии листоотделки стана 5000 ЛПЦ-9

Цель: понять взаимосвязь между работой оборудования линии листоотделки и расходом энергоносителей, научиться выявлять и устранять неэффективные режимы.

Задание:

1. Изучить работу агрегатов линии листоотделки.
2. Определить основные источники энергопотребления.
3. Разработать рекомендации по снижению расхода энергоресурсов.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с описанием оборудования линии листоотделки (техническая документация ПАО ММК, раздел «ЛПЦ-9»).
2. Ответьте на вопросы:
 - Какие агрегаты линии потребляют больше всего энергии?
 - Как влияет качество заготовки на энергопотребление?
 - Какие режимы работы считаются неэффективными?
3. Промоделируйте работу линии в тренажёре при разных параметрах.
4. Зафиксируйте расход электроэнергии, сжатого воздуха и воды для каждого режима.
5. Выявите режимы с избыточным потреблением.
6. Предложите меры по оптимизации (например, корректировка скорости рольгангов, оптимизация работы ножниц).
7. Рассчитайте потенциальную экономию.

Форма представления результата: схема линии листоотделки с указанием точек учёта энергоресурсов; таблица расхода энергоносителей по режимам; список рекомендаций по оптимизации (5–7 пунктов).

Критерии оценки:

- «Отлично» — выявлены все неэффективные режимы, экономия $\geq 10\%$, рекомендации детализированы.
- «Хорошо» — экономия 7–9 %, рекомендации есть, но не все обоснованы.
- «Удовлетворительно» — экономия 3–6 %, рекомендации поверхностны.
- «Неудовлетворительно» — экономия $< 3\%$ или её нет, рекомендации отсутствуют.

4. Тренажёр «Оператор-технолог черновой группы клетей. Вальцовщик черновой группы клетей»

Цель: научиться управлять черновой группой клетей с учётом минимизации расхода электроэнергии и износа оборудования.

Задание:

1. Отработать навыки управления клетями в различных режимах.
2. Оптимизировать параметры прокатки для снижения энергопотребления.

Порядок выполнения работы:

1. Изучите принципы работы черновой группы клетей (учебник «Обработка металлов давлением», ЭБС «Знаниум», раздел 6.2, стр. 180–195).
2. Ответьте на вопросы:
 - Как усилие прокатки влияет на расход энергии?
 - Какие факторы вызывают повышенный износ валков?
 - Как АСУТП помогает контролировать энергопотребление?

3. Запустите тренажёр, выберите режим «Прокатка сляба 250 × 1200 мм».
4. Зафиксируйте расход электроэнергии и усилие прокатки при стандартных настройках.
5. Измените обжатие и скорость прокатки, отслеживая энергопотребление и усилие.
6. Найдите режим с минимальным расходом энергии при допустимом усилии.
7. Оцените влияние оптимизации на износ валков.

Форма представления результата: таблица параметров прокатки (обжатие, скорость, усилие, расход энергии); график зависимости расхода энергии от обжатия; выводы по износу валков (0,5 страницы).

Критерии оценки:

- «Отлично» — расход энергии снижен на $\geq 10\%$, износ валков не увеличен, графики и таблицы корректны.
- «Хорошо» — снижение на 7–9 %, небольшие погрешности в расчётах.
- «Удовлетворительно» — снижение на 3–6 %, выводы неполные.
- «Неудовлетворительно» — снижение $< 3\%$ или его нет, работа не оформлена.

5. Тренажёр «Стан 2000 — Оператор моталок»

Цель: освоить управление моталками стана 2000 для снижения энергопотребления при намотке полосы.

Задание:

1. Изучить влияние скорости намотки и натяжения на расход электроэнергии.
2. Оптимизировать режимы работы моталок.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с принципами работы моталок (учебник «Прокатные станы», ЭБС «Концепт», раздел 8.4, стр. 250–265).
2. Ответьте на вопросы:
 - Как натяжение полосы влияет на энергопотребление моталки?
 - Какие неисправности моталок приводят к перерасходу энергии?
 - Как АСУТП контролирует процесс намотки?
3. Запустите тренажёр, выберите режим «Намотка полосы 3 × 1500 мм».
4. Зафиксируйте расход энергии при стандартной скорости и натяжении.
5. Измените параметры намотки, отслеживая энергопотребление.
6. Найдите оптимальный режим с минимальным расходом энергии.
7. Проанализируйте влияние оптимизации на качество намотки.

Форма представления результата: таблица режимов намотки (скорость, натяжение, расход энергии); график энергопотребления; выводы о качестве намотки (0,5 страницы).

Критерии оценки:

- «Отлично» — экономия энергии $\geq 10\%$, качество намотки не ухудшилось, графики и таблицы оформлены правильно.
- «Хорошо» — экономия 7–9 %, небольшие недочёты в анализе.
- «Удовлетворительно» — экономия 3–6 %, выводы поверхностны.
- «Неудовлетворительно» — снижение $< 3\%$ или его нет, работа не оформлена.

6. Учебно-методический комплекс «Сортовая прокатка»

Цель: изучить особенности энергопотребления при сортовой прокатке и освоить методы его оптимизации с использованием АСУТП.

Задание:

1. Проанализировать распределение энергопотребления по этапам сортовой прокатки.
2. Выявить технологические операции с наибольшим энергопотреблением.
3. Разработать комплекс мер по снижению энергозатрат без ухудшения качества продукции.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями о технологии сортовой прокатки (учебник «Теория и технология сортовой прокатки», ЭБС «Знаниум», раздел 4.1–4.3, стр. 110–145).
2. Ответьте на вопросы:
 - Какие этапы сортовой прокатки наиболее энергозатратны?
 - Как температура заготовки влияет на энергопотребление?
 - Какие параметры АСУТП позволяют контролировать и регулировать энергопотребление?
3. Запустите учебно-методический комплекс, выберите режим «Прокатка арматурного профиля № 12».
4. Зафиксируйте расход электроэнергии на каждом этапе процесса (нагрев, черновая прокатка, чистовая прокатка).
5. Измените параметры нагрева и обжата в черновой клети, отслеживая изменения энергопотребления.
6. Найдите комбинацию параметров, обеспечивающую минимальный суммарный расход энергии при соблюдении требований к качеству профиля.
7. Оцените влияние оптимизации на производительность линии.

Форма представления результата:

- таблица распределения энергопотребления по этапам прокатки (исходные и оптимизированные данные);
- график зависимости энергопотребления от температуры заготовки;
- перечень мер по оптимизации энергопотребления (5–6 пунктов) с указанием ожидаемой экономии;
- краткий анализ влияния оптимизации на производительность (0,5–1 страница).

Критерии оценки:

- **«Отлично»** — экономия энергии $\geq 15\%$, все этапы проанализированы, меры оптимизации обоснованы и детализированы, графики и таблицы оформлены корректно.
- **«Хорошо»** — экономия 10–14 %, небольшие недочёты в анализе или оформлении, меры оптимизации представлены, но не все обоснованы.
- **«Удовлетворительно»** — экономия 5–9 %, анализ неполный, меры оптимизации поверхностны, выводы недостаточно аргументированы.
- **«Неудовлетворительно»** — экономия $< 5\%$ или её нет, работа не оформлена, выводы отсутствуют.

7. Тренажёр-эмулятор «Волоочильный стан»

Цель: освоить управление волоочильным станом с целью снижения энергопотребления при сохранении качества продукции.

Задание:

1. Изучить влияние скорости волочения и коэффициента обжата на расход электроэнергии.
2. Оптимизировать режимы работы стана для минимизации энергозатрат.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с принципами работы волоочильного стана (учебник «Обработка металлов давлением», ЭБС «Лань», раздел 9.2, стр. 300–315).
2. Ответьте на вопросы:
 - Как скорость волочения влияет на энергопотребление?
 - Какие факторы вызывают повышенный износ волок?
 - Как АСУТП контролирует процесс волочения?
3. Запустите тренажёр, выберите режим «Волочение проволоки Ø 8 мм».
4. Зафиксируйте расход энергии при стандартных настройках скорости и обжата.
5. Поэкспериментируйте с изменением скорости волочения и величины обжата, отслеживая энергопотребление и усилие волочения.

6. Найдите оптимальный режим, обеспечивающий минимальный расход энергии при допустимом усилии и качестве поверхности проволоки.
7. Проанализируйте влияние оптимизации на износ волок.

Форма представления результата:

- таблица режимов волочения (скорость, обжатие, усилие, расход энергии);
- график зависимости расхода энергии от скорости волочения;
- выводы о влиянии оптимизации на износ волок и качество поверхности (0,5 страницы).

Критерии оценки:

- «Отлично» — экономия энергии ≥ 12 %, износ волок не увеличен, качество поверхности соответствует нормам, графики и таблицы корректны.
- «Хорошо» — экономия 8–11 %, небольшие погрешности в расчётах, выводы в целом аргументированы.
- «Удовлетворительно» — экономия 4–7 %, анализ поверхностный, выводы неполные.
- «Неудовлетворительно» — экономия < 4 % или её нет, работа не оформлена, выводы отсутствуют.

8. Виртуальный учебный комплекс PROLAB (Печь с шагающими балками, непрерывный стан, линия резки заготовки)

Цель: изучить комплексное энергопотребление участка нагрева и прокатки, освоить методы оптимизации с использованием АСУТП.

Задание:

1. Проанализировать расход энергоносителей на участке (газ для печи, электроэнергия для стана и линии резки).
2. Выявить взаимосвязи между режимами работы оборудования и общим энергопотреблением.
3. Разработать рекомендации по комплексной оптимизации энергопотребления.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с описанием комплекса PROLAB (руководство пользователя, раздел 3 «Энергопотребление технологических участков»).
2. Ответьте на вопросы:
 - Какие энергоносители используются на участке?
 - Как температура нагрева заготовки влияет на энергопотребление стана?
 - Какие алгоритмы АСУТП позволяют координировать работу печи и стана для снижения энергозатрат?
3. Запустите комплекс, выберите сценарий «Прокатка заготовки 150 × 150 мм».
4. Зафиксируйте расход газа в печи, электроэнергии в стане и на линии резки при стандартных настройках.
5. Измените температуру нагрева и скорость прокатки, отслеживая общее энергопотребление участка.
6. Найдите режим, обеспечивающий минимальную суммарную энергозатрату при соблюдении требований к производительности и качеству.
7. Рассчитайте потенциальную экономию и оцените влияние оптимизации на работу всего участка.

Форма представления результата:

- сводная таблица энергопотребления по участкам (печь, стан, линия резки) — исходные и оптимизированные данные;
- график общего энергопотребления участка в зависимости от температуры нагрева;
- рекомендации по комплексной оптимизации (4–5 пунктов) с указанием ожидаемой экономии по каждому энергоносителю;
- краткий анализ влияния оптимизации на производительность и качество продукции (0,5–1 страница).

Критерии оценки:

- **«Отлично»** — общая экономия энергоресурсов $\geq 15\%$, рекомендации детализированы и обоснованы, графики и таблицы оформлены правильно.
- **«Хорошо»** — экономия 10–14 %, небольшие недочёты в анализе, рекомендации представлены, но не все подкреплены расчётами.
- **«Удовлетворительно»** — экономия 5–9 %, анализ неполный, рекомендации поверхностны.
- **«Неудовлетворительно»** — экономия $< 5\%$ или её нет, работа не оформлена, рекомендации отсутствуют.

