

УДК 621.771

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ ДИНАМИКИ И НАДЕЖНОСТИ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»****Мальцев Андрей Анатольевич,**  
доцент кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана,  
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Аннотация**

Определено и структурировано по модулям содержание дисциплины «Основы динамики и надежности металлургического оборудования» для студентов кафедры «Оборудование и технологии прокатки», осваивающих специальность «Проектирование технологических машин и комплексов».

**Ключевые слова:** динамика, надежность, металлургия, дисциплина.

**FEATURES OF THE DISCIPLINE "FUNDAMENTALS OF DYNAMICS AND  
RELIABILITY OF METALLURGICAL EQUIPMENT" CURRICULUM  
DEVELOPMENT****Andrey A. Maltsev,**  
associate professor of BMSTU ФН-7 department,  
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**ABSTRACT**

The content of the discipline "Fundamentals of dynamics and reliability of metallurgical equipment" for students of the Department of Rolling Equipment and Technologies who master the specialty "Design of technological machines and complexes" is defined and structured by modules".

**Keywords:** dynamics, reliability, metallurgy, discipline.

Разработка программы учебной дисциплины «Основы динамики и надежности металлургического оборудования» предполагает формулировку цели, структурирование и проектирование содержания этой дисциплины.

Цель изучения дисциплины была сформулирована мною так: «освоение принципов оптимизации конструкций металлургических машин по критерию минимизации динамических нагрузок, а также методов вероятностного прогнозирования циклического

ресурса деталей оборудования, на примере проектируемого электропривода рабочих валков прокатного стана».

Дисциплина построена мною по модульному принципу: первый модуль учебной дисциплины, получивший название «Динамика металлургических машин», включает в себя четыре лекции (первую, вторую, третью и четвертую), четыре семинара (первый, второй, третий и четвертый), две лабораторные работы (первую и вторую) и первое домашнее задание; второй модуль называется «Надежность металлургических машин» и включает в себя четыре лекции (пятую, шестую, седьмую и восьмую), четыре семинара (пятый, шестой, седьмой и восьмой), две лабораторные работы (третью и четвертую) и второе домашнее задание.

На первой (вводной) лекции целесообразно будет подробно рассмотреть основы рационального проектирования металлургических машин с учетом динамических нагрузок, обязательно привести примеры негативного влияния механических (прежде всего крутильных) колебаний на работу оборудования доменных, сталеплавильных и прокатных цехов, а также на качество выпускаемой металлопродукции [1].

Вторая лекция будет посвящена экспериментальному исследованию динамических нагрузок в металлургических машинах, анализу осциллограмм крутильных колебаний приводов, полученных в производственных условиях при различных режимах эксплуатации [2].

В третьей лекции будут изложены основы теории динамического асимметричного нагружения прокатных станов, рассмотрены переходные процессы в очаге деформации, в линии привода и в рабочей клетке [3].

В четвертой лекции должен быть приведен систематизированный материал о направлениях и апробированных в промышленности способах ограничения динамических нагрузок в металлургических машинах [4].

Задача пятой лекции сводится к изучению материалов ГОСТ 27.002 - 2015 «Надежность в технике. Термины и определения». Тут нужно будет внимательно рассмотреть все показатели надежности элементов (деталей и узлов) металлургического оборудования, дать определение его безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Шестая лекция будет посвящена изучению статистической теории подобия усталостного разрушения элементов металлургических машин, рассмотрению методики расчёта на прочность при напряжениях, переменных во времени [5].

В седьмой лекции будут проанализированы разные виды изнашивания элементов металлургических машин: абразивное, адгезионное, усталостное, коррозионное, кавитационное и эрозионное. Кроме того, будут приведены основные сведения о методах расчета на износ, основанных на рассмотрении микропроцессов (метод И.В. Крагельского) и макропроцессов (метод А.С. Проникова), происходящих на плоских, конусных и шаровых поверхностях трения некоторых узлов прокатных станов [6].

Задача восьмой лекции сведётся к изучению материалов ГОСТ Р 51901.14 - 2005 «Менеджмент риска. Метод структурной схемы надёжности» применительно к металлургическому оборудованию. Тут целесообразно привести примеры использования Булевых таблиц для оценки вероятности безотказной работы моделей разных прокатных станов с последовательным, параллельным и смешанным расположением блоков.

На первом семинаре преподаватель поставит перед студентами учебную задачу оптимизации конструкции сортопрокатной клетки проектируемого мобильного металлургического комплекса железнодорожного базирования по критерию минимизации динамических нагрузок [7].

На втором семинаре студенты будут заняты построением в программной среде Simulink блочной крутильно-колебательной модели электропривода рабочих валков прокатного стана на основании уравнений Лагранжа 2 рода, а также идентификацией параметров построенной модели по эскизам и чертежам.

На третьем семинаре студенты в программной среде Multisim скомпонуют виртуальную электротензометрическую аппаратуру, состоящую из моста Уитстона с фольговыми тензодатчиками, усилительного каскада на операционном усилителе, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифрового осциллографа для симуляции измерения крутящего момента на валу электропривода рабочих валков прокатного стана.

Четвертый семинар будет посвящен обработке производственной осциллограммы крутильных колебаний методами экстремумов, максимумов, минимумов, размахов, полных циклов и методом «дождя», в соответствии с ГОСТ 25.101 – 83 «Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов».

Пятый семинар связан с изучением материалов ГОСТ 25.504 – 82 «Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта характеристик сопротивления усталости», с вычислением значения коэффициента снижения предела выносливости предохранительного шпинделя прокатного стана в области его опасного сечения (радиусной кольцевой проточки), а также с построением кривой усталости (диаграммы Вёллера) в логарифмических координатах.

На шестом семинаре преподаватель предложит студентам решить в программной среде MathCAD (путем многократного розыгрыша по методу Монте-Карло корректирующего коэффициента, входящего в расчетную формулу Когаева-Серенсена) задачу вероятностного прогнозирования циклического ресурса предохранительного шпинделя, выраженного количеством прокатанных заготовок до разрушения вала шпинделя в его опасном сечении.

Седьмой семинар будет посвящен расчету на износ подшипников качения, зубчатых передач, шарниров шпинделей, винтовых механизмов, прокатных валков.

На восьмом семинаре с использованием программной среды Multisim студентами будет решена задача разработки комбинационного логического устройства на интегральных микросхемах для оценки риска срыва лабораторной работы по теории прокатки [8].

Первая лабораторная работа названа мною «Исследование крутильных колебаний в электроприводе рабочей клетки прокатного стана дуо-160», она будет выполнена студентами для приобретения навыков программирования в программной среде MathCAD модели и получения графиков с целью изучения крутильно-колебательного переходного процесса в трансмиссии, вызванного ударом при захвате заготовки рабочими валками.

Вторая лабораторная работа «Обработка осциллограммы крутильных колебаний с выявлением амплитудных и средних значений циклов нагрузки» привьет студентам навыки обработки осциллограммы крутильных колебаний, полученной в результате электротензометрического эксперимента на стане дуо-160, однопараметрическими и двухпараметрическими методами в соответствии с ГОСТ 25.101-83 «Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов» с использованием MathCAD.

Третья лабораторная работа «Исследование в среде MathCAD влияния различных факторов на предел выносливости ступенчатого вала с галтелью при кручении» включает исследование влияния радиуса закругления галтели на теоретический коэффициент концентрации напряжений в области галтели, исследование влияния параметра шероховатости поверхности галтели на коэффициент снижения предела выносливости

ступенчатого вала в области галтели, исследование влияния коэффициента упрочнения поверхности галтели на предел выносливости ступенчатого вала в области галтели.

Четвертую лабораторную работу «Вероятностное прогнозирование в среде MathCAD ресурса ступенчатого вала с галтелью при циклическом кручении» студенты выполняют для приобретения навыка построения левого наклонного участка диаграммы Вёллера для ступенчатого вала с кольцевой галтелью, навыка статистического моделирования методом Монте-Карло циклического ресурса кольцевой галтели и навыка построения гистограммы распределения случайной величины циклического ресурса кольцевой галтели.

Целью выполнения первого домашнего задания, которому дано название «Динамический расчёт привода пятой клетки НШС 2000 НЛМК» и которое разрабатывается мною в настоящее время, является закрепление знаний, умений и навыков, приобретенных студентами во время аудиторных занятий первого модуля. Также разрабатывается второе домашнее задание на тему «Расчёт опасного сечения рабочего вала на циклическую прочность», относящееся к внеаудиторной самостоятельной работе второго модуля.

Заключение: структурированное по модулям содержание дисциплины «Основы динамики и надежности металлургического оборудования», дополненное указанием количества академических часов, отведенных на аудиторную и самостоятельную работу, будет востребовано для актуализации как самой рабочей программы этой учебной дисциплины, так и фонда оценочных средств к ней. Кроме того, результат настоящей научной статьи (структурированное содержание дисциплины) пригодится в ближайшем будущем для разработки электронного учебника по этой дисциплине.

#### **Список литературы:**

1. Адамия Р.Ш., Лобода В.М. Основы рационального проектирования металлургических машин. — Москва: Металлургия, 1984. — 128 с.
2. Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин. — Москва: Металлургия, 1983. — 295 с.
3. Яковлев Р.А. Асимметричное нагружение прокатных станов: учебное пособие. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. — 84 с.
4. Яковлев Р.А. Ограничение динамических нагрузок в металлургических машинах: учебное пособие по курсу «Основы динамики металлургических машин» — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. — 36 с.
5. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. — Москва: Машиностроение, 1993. — 364 с.
6. Яковлев Р.А. Расчет на износ узлов трения прокатных станов: учебное пособие. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 52 с.
7. Мальцев А.А. Ролевая игра «Разработка концепции ЛПК-25 ЖБ» // Научный альманах, 2017. №1 - 2 (27). — С. 147 - 150.
8. Соболев В.А., Соловьёв В.А. Проектирование дискретного комбинационного цифрового устройства на интегральных микросхемах: учебно-методическое пособие. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. — 70 с.

#### **References:**

1. Adamiya R.S., Loboda V.M. Fundamentals of rational design of metallurgical machines. — Moscow: Metallurgiya Publ., 1984. — 128 p.

2. Ivanchenko F.K., Krasnoshapka V.A. Dynamics of metallurgical machines. – Moscow: Metallurgiya Publ., 1983. – 295 p.
3. Yakovlev R.A. Asymmetric loading of rolling mills: a textbook. – Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2001. – 84 p.
4. Yakovlev R.A. Limitation of dynamic loads in metallurgical machines: a textbook on the course "Fundamentals of dynamics of metallurgical machines" – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 1990. – 36 p.
5. Kogaev V.P. Calculations for strength under stresses, variable in time. – Moscow: Mashinostroenie Publ., 1993. – 364 p.
6. Yakovlev R.A. Calculation of wear on friction units of rolling mills: a textbook. – Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2004. – 52 p.
7. Maltsev A.A. Roleplay "Development of ЛПК-25 ЖБ concept" // Scientific Almanac, 2017. №1 – 2 (27). – Pp. 147 – 150.
8. Sobolev V.A., Solovyov V.A. Designing a discrete combinational digital device on integrated circuits: an educational and methodical manual. – Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2022. – 70 p.