

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
В ОБЛАСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Сборник материалов
21-й Международной научно-технической конференции
«Наука – образованию, производству, экономике»*

Электронное научное издание

Минск
БНТУ
2024

Составители:
*А.А. Калина, О.Н. Протасеня, В.В. Бирич,
И.В. Швец*

В сборник включены материалы докладов 21-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», 76 научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава (секции «Проектирование мобильных машин и технологического оборудования», «Машиностроительные технологии и материалы», «Диагностика мобильных машин и технологического оборудования», «Теория и практика технического образования в машиностроении»).

© Белорусский национальный
технический университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА РОТОРА С ПОМОЩЬЮ ВИБРОАНАЛИЗАТОРА	4
ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММЫ «ДЕТАЛИ МАШИН» ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	15
РАСЧЕТ ДВУХОПОРНЫХ И ТРЕХОПОРНЫХ ВАЛОВ НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ ..	20
ДЕМОНСТРАЦИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЦЕПИ В ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧЕ	35
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ	44
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	52
КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ	59
ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАМКНУТЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ	68
ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКИ ПОСОБИЙ ПО ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ ДЛЯ ИНОСТРАННЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ	76
КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭУМК ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ "ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБУЧЕНИЕ" ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПЕДАГОГОВ-ИНЖЕНЕРОВ В БНТУ	82
АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ДВИЖЕНИЙ СТУДЕНТА ВО ВРЕМЯ ОНЛАЙН ТЕСТИРОВАНИЯ	87
РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ	92
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ	96
INFLUENCE OF TEMPERATURE-TIME PARAMETERS OF DIFFUSION SATURATION ON THE LEVEL OF STRESS IN THE SURFACE LAYER	96
СОВРЕМЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ	100
АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ИХ УПРОЧНЕНИЯ	106
ANALYSIS OF WEAR KINETICS OF STRUCTURAL STEEL AT DIFFERENT METHODS OF THEIR HARDENING	106
ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ НА 3-D ПРИНТЕРЕ	111
ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ В ANSYS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМАНДНОГО ФАЙЛА ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ	117
ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НАД ПРОЕКТАМИ	124
ПЛАНИРОВЩИК ЗАДАЧ ДЛЯ СТУДЕНТОВ	129

ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА РОТОРА С ПОМОЩЬЮ ВИБРОАНАЛИЗАТОРА

В.В. Кудин – к.т.н., доцент

А.Т. Скойбеда – д.т.н., профессор, кафедры «МиДМ»

А.М. Авсиевич – к.т.н., доцент, декан ФИТР

Е.М. Дубовская – к.т.н., доцент кафедры «МиДМ»

Е.М. Робилко – магистрант, заведующий лабораторией кафедры «ТФ»

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: mparts@bntu.by

DYNAMIC ROTOR BALANCING USING A VIBRATION ANALYZER

Dubouskaya A.M.

Аннотация: Одним из возможных способов при проведении динамической балансировки ротора является использование виброанализатора СД-21. Использование в лабораторной работе цифрового виброанализатора позволит не только продемонстрировать принципы балансировки, но и привить обучающимся навыки работы на современном оборудовании. Показана эффективность использования универсального вибродиагностического оборудования для выполнения операции балансировки.

Ключевые слова: балансировка ротора, вибродиагностика, виброанализатор, измерения, лабораторная работа.

Abstract: One of the possible methods for dynamic rotor balancing is the use of a vibration analyzer SD-21. The use of a digital vibration analyzer in laboratory work will not only demonstrate the principles of balancing, but also instill in students the skills of working with modern equipment. The effectiveness of using universal vibration diagnostic equipment for performing balancing operations is shown.

Key words: rotor balancing, vibration diagnostics, vibration analyzer, measurements, practical studying.

Введение

В соответствии с ГОСТ 19534-74 ротором называется тело, которое при вращении удерживается своими несущими поверхностями в опорах. В машинах это может быть маховик, ротор электродвигателя, шкив и т.д. [1]. Несущими являются поверхности цапф или поверхности, их заменяющие. Ось ротора – прямая, соединяющая центры тяжести контуров поперечных сечений средин несущих поверхностей. По числу опор роторы бывают двух

и многоопорные. Элементарные силы инерции F_i точечных масс ротора, образующих пространственную систему сил, приводятся к главному вектору центробежных сил инерции \vec{F}_u , приложенному к центру масс “S” ротора, и к главному моменту сил инерции M_u , действующих в разных плоскостях

$$\vec{F}_u = \Sigma \vec{F}_i = \omega^2 \cdot \Sigma m_i \vec{r}_i = \omega^2 \vec{D}^2, \quad (1)$$

$$M_u = \omega^2 \cdot \sqrt{I_{xz}^2 + I_{yz}^2} = \omega^2 M_D, \quad (2)$$

где m_i, \vec{r}_i - неуравновешенная точечная масса и её эксцентриситет;

$D = \Sigma m_i r_i = m_p \rho_s$ - главный вектор дисбаланса ротора;

m_p, ρ_s - соответственно масса и эксцентриситет ротора;

I_{xz}, I_{yz} - центробежные моменты инерции ротора;

$$I_{xz} = \Sigma m_i x_i z_i, I_{yz} = \Sigma m_i y_i z_i;$$

$M_D = \sqrt{I_{xz}^2 + I_{yz}^2}$ - главный момент дисбалансов ротора.

Векторы \vec{F}_u и M_u центробежных сил инерции вызывают динамические реакции в подшипниках ротора, которые передаются станине машины и фундаменту, причем \vec{F}_u и M_u вращаются вместе с ротором. В следствие этого возникают механические колебания в опорах ротора и станине, что увеличивает износ подшипников и потери энергии на трение.

Не подверженный воздействию внешних сил ротор, вращающийся с постоянной угловой скоростью, находится в состоянии динамического равновесия, характеризующего равенством главного вектора \vec{F}_u и главного момента M_u сил инерции, т.е.

$$\vec{F}_u = \omega^2 \vec{D} = 0, \quad (3)$$

$$M_u = \omega^2 M_D = 0. \quad (4)$$

Для выполнения условия (3) необходимо и достаточно, чтобы центр масс S ротора находился на оси вращения, т.е. $\rho_s = 0$.

Для выполнения условия (4) необходимо и достаточно, чтобы одна из центробежных осей инерции совпадала с осью вращения ротора ($I_{xz} = 0, I_{yz} = 0$).

Ротор полностью уравновешен тогда, когда ось вращения является главной центральной осью инерции, то он является неуравновешенным. Неуравновешенность является естественным свойством любого вращающегося тела и имеется всегда. Поэтому в технике различают допустимый дисбаланс, при котором эксплуатация машин возможна, а

повышенный дисбаланс, под воздействием которого в машине образуется и быстро развиваются дефекты, которые могут привести к аварии.

Процесс уменьшения дисбаланса ротора до допустимых значений называется балансировкой. Наличие дисбаланса ротора характеризуется большой составляющей вибрации машины на частоте ее вращения. Часто одной из причин появления повышенной вибрации на частоте вращения машины является «излом» линии ротора или несоосность осей валов. Одноплоскостная неуравновешенность ротора обычно называется статической неуравновешенностью. Многоплоскостная неуравновешенность (динамическая), может не проявляться в станине, но вызывает достаточно сильную вибрацию.

Так как неуравновешенность проявляется – вызывает вибрации механической системы, в которую включен ротор, эффективным средством проведения балансировки с использованием универсального виброизмерительного оборудования.

Теоретические основы балансировки с использованием виброанализатора.

При применении виброанализаторов для расчета балансировочных масс эффективен метод коэффициентов влияния. Рассчитываются чувствительности машины на вибрации во всех точках её измерения при установке пробных масс сначала в первой плоскости установки массы, затем во второй и т.д. Таким образом учитывается влияние каждой плоскости установки массы на вибрацию во всех контрольных точках. Расчет коэффициентов влияния производится после проведения начального пуска машины (без установочных пробных масс) и пробных пусков (с установочными пробными массами). Коэффициенты влияния являются комплексными величинами, поэтому выводятся на экран два числа (действительная и мнимая части). [2].

Последовательность операций при балансировке с помощью виброанализатора СД-21.

При проведении балансировки при помощи встроенной программы прибора СД необходимо провести измерения параметров исходной вибрации (до установки пробных масс) во всех выбранных точках контроля и по величине дисперсии (среднеквадратичного отклонения) сигналов определить возможность проведения балансировки данного ротора машины. Если дисперсия велика (60% и более), балансировка практически невозможна. Нормальная величина дисперсии 5-15%. Далее установить первую пробную массу, провести измерения параметров вибрации во всех контрольных точках контроля и расчет корректирующих масс.

По расчетной вибрации после установки корректирующих масс (в данной программе рассчитывается максимальная величина вибрации во всех точках измерения) принять решение об установке следующей пробной массы, если рассчитанная вибрация больше требуемой, или об окончании пусков с пробными массами и переходу к установке корректирующих масс. При продолжении пробных пусков – установить очередную (следующую) пробную массу и повторить весь цикл работ для нее. После установки пробных масс во всех возможных (не более трех) плоскостях установки или при достижении требуемой расчетной величины вибрации необходимо установить рассчитанные корректирующие массы. Провести контрольное измерение параметров вибрации во всех контрольных точках. По его результатам программа автоматически рассчитывает параметры дополнительных корректирующих масс и величину вибрации при их установке. На основании результатов этого расчета нужно принять решение об окончании балансировки. Если ожидаемая эффективность достаточна большая (уменьшение вибрации в полтора и более раза), можно установить рассчитанные массы и повторить контрольное измерение и расчет корректирующих масс и эффективность. [3].

Обзор установок для балансировки на виброанализаторе СД-21 компании ВАСТ.

Запуск встроенной программы балансировки осуществляется из «Основное Меню». В меню установок задают количество точек измерения – не более 8-ми, единицы измерения амплитуды, тип детектора, который будет использован для представления амплитуды вибрации: СКЗ (среднее квадратическое значение); ПИК (амплитудное значение); Пик-Пик (двойной размах).

Скорость вращения – единицы представления скорости (частоты) вращения ротора (об/мин, об/с, Гц) и могут быть изменены клавишами <Влево> и <Вправо>.

Контроль тахометра – всегда автоматический. В случае обнаружения погрешностей в этом сигнале, в нижней строке экрана «Измерение вибраций» появляется одно из следующих сообщений: 1) Вне диапазона (меньше 60 об/мин или больше 100000 об/мин); 2) Нет синхронизации (отсутствует питание тахометра или нет сигнала от отметки на роторе); 3) Нестабильная синхронизация (имеется случайный сигнал или несколько сигналов за оборот); 4) Достигнута заданная точность измерения.

Угол установки массы – необходимо выбрать одно из двух направлений возрастания угла установки пробных и корректирующих масс (по вращению или против вращения ротора).

Поправка по фазе – для согласования измеряемых данных с данными приборов, имеющих сдвиг по фазе. [4].

Измерение вибрации.

Это один из основных экранов программы балансировки. Он предназначен для измерения параметров вибрации (амплитуды и фазы вибрации на частоте вращения ротора) и величины скорости вращения (рис.1):

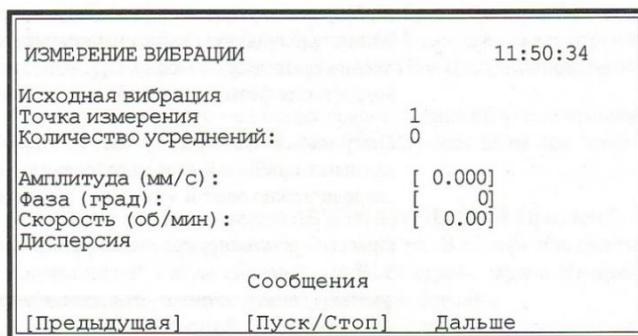


Рис. 1. Измерение вибрации

На экране указывается этап балансировки – «Исходная вибрация» или «Пробная масса N» (где N – номер плоскости установок массы), или «Измерение вибрации K» (где K – номер контрольного измерения, и номер точки измерения).

Измеряемые величины представим значениям амплитуды, фазы и текущими значениям скорости вращения. Количество усреднений показано в соответствующей строке. Кнопки внизу экрана, выбираемые при помощи клавиш <Влево> и <Вправо>, позволяют провести следующие операции:

ПУСК/СТОП – запускается процесс измерения или прерывания его нажатии кнопки <Ввод>;

ПРЕДЫДУЩАЯ – позволяет перейти к предыдущему экрану «Измерение вибрации»;

ДАЛЬШЕ – переход к следующему экрану измерений или к экранам для продолжения работы.

Установка пробных и корректирующих масс при балансировке

Во встроенной программе балансировки сборщика данных допускается два вида установки пробных масс – со снятием предыдущей пробной массы перед установкой следующей, а также без её снятия. Допускается снятие любой пробной массы. Необходимо обратить особое внимание на то, что в этой программе рассчитываются корректирующие массы, которые

обеспечивают балансировку ротора только при снятии всех пробных масс перед установкой корректирующих.

Порядок работы с использованием встроенной в прибор программы балансировки.

Из основного меню, выбрав команду «Прикладные программы» и в меню «Прикладные программы» выбрать команду «Балансировка» При выборе команды «Дальше» выводится экран «Точка канал». При заполнении экрана допускается использование одного канала для разных точек измерения вибрации.

Процедура балансировки. При нажатии кнопки «Дальше», появится экран «Измерение исходной вибрации» (рис. 2)

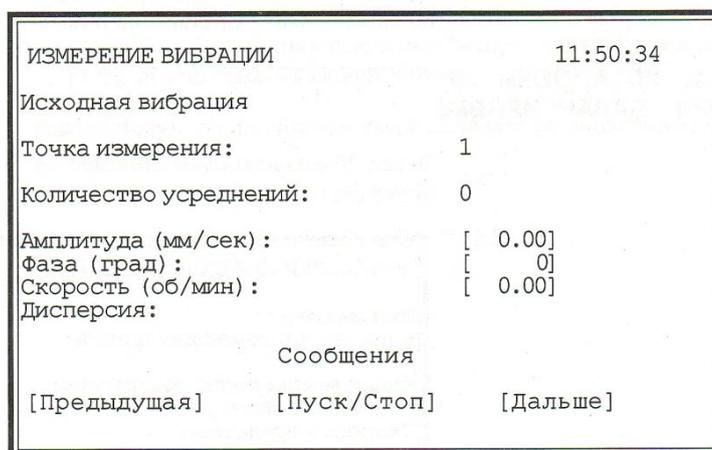


Рис. 2. Измерение вибрации

После того, как измерения автоматически будут остановлены (при отсутствии сообщений об ошибках или неточностях в измерении), нужно нажать кнопку «Дальше». Появится такой же экран для измерения следующей точки. После проведения всех измерений исходной вибрации появляется экран «Результаты измерений» (рис. 3), на котором представлены все результаты измерения параметров исходной вибрации.

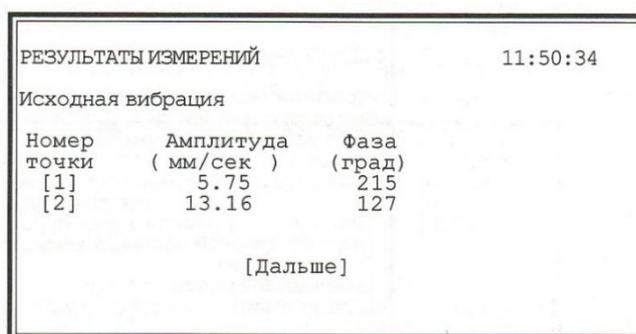


Рис. 3. Результаты измерений

При нажатии кнопки «Дальше» появляется экран «Вид балансировки». Необходимо выбрать «Продолжение работы», тогда появляется экран «Установка пробной массы» (рис. 4).

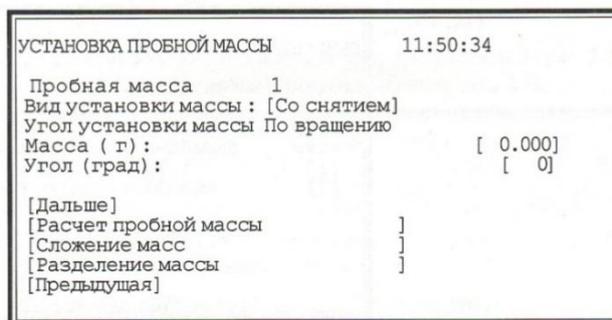


Рис. 4. Установка пробной массы

Следует остановить установку (машину) и закрепить пробную массу и перейти к шагу «Измерения вибрации с пробной массой» (рис. 5). После нажатия кнопки «Дальше» появится следующий аналогичный экран для следующей точки (2) измерения. После последнего измерения появится экран «Результаты измерения вибраций» (рис. 6)

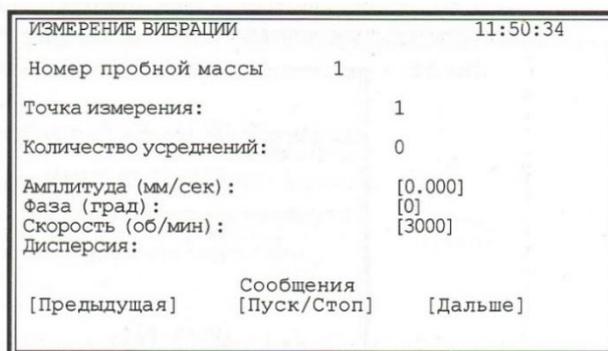


Рис. 5. Измерения вибрации с пробной массы

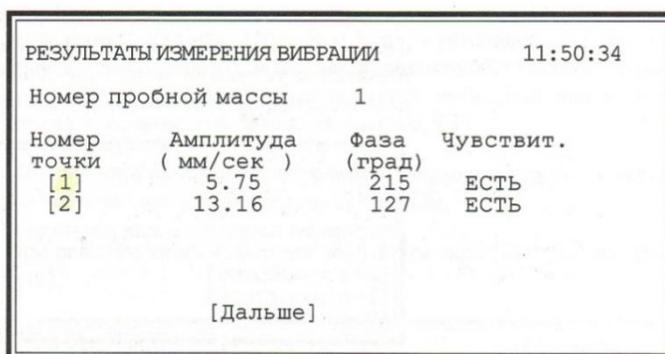


Рис. 6. Результаты измерения вибраций

В столбце «Чувствительность» приведены данные о наличии чувствительности вибрации во всех точках измерения к пробной массе. Если чувствительности нет во всех точках, то при нажатии кнопки «Дальше» появляется экран «Малая чувствительность» (рис. 7).

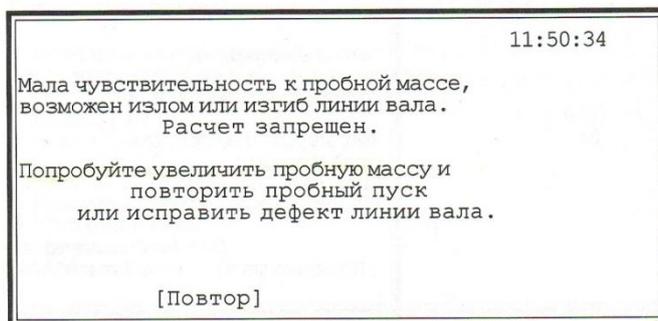


Рис. 7. Малая чувствительность

Далее, после установки пробной массы во вторую плоскость, производится проверка на наличие эквивалентных плоскостей установки масс. При обнаружении таких плоскостей появляется экран «Эквивалентные плоскости» (рис. 8)

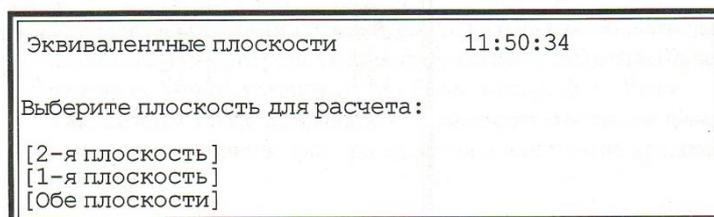


Рис. 8. Эквивалентные плоскости

Выбираем для расчета «Обе плоскости» и нажимаем клавишу <Ввод>. Программа перейдет к следующему экрану (рис. 9). На нем указаны результаты расчета максимальной величины вибрации во всех точках её измерения при установке рассчитанных корректирующих масс, а также параметров корректирующих масс – «Масса» и «Угол» её установки относительно начала отсчета этого угла для данной плоскости. [5].

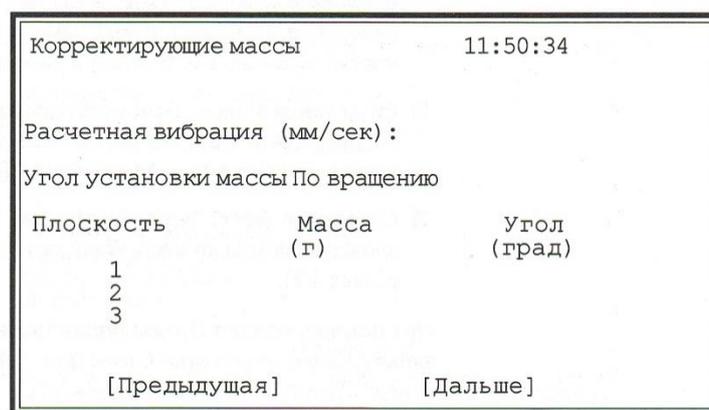


Рис. 9. Корректирующие массы

При нажатии кнопки «Дальше» появится экран «Вид работы». Этот экран позволяет выбрать вид дальнейшей работы из следующего списка:

- Следующая пробная масса – переходим к экрану «Установка пробной массы» для ввода параметров следующей пробной массы и продолжения балансировки.

- Контрольное измерение – переход к экрану «Ввод установочных масс». При этом необходимо установить корректирующие массы максимально близкие к расчетным. [6].

Если выбрана команда «Контрольное измерение», появляется экран (рис. 10).

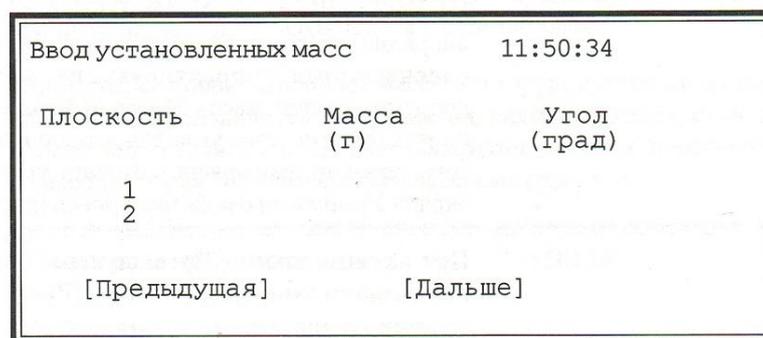


Рис. 10. Ввод установленных масс

При помощи этого экрана необходимо с клавиатуры ввести действительные значения, закрепленных корректирующих масс, которые по техническим причинам могут отличаться от рассчитанных.

При нажатии кнопки «Дальше» появится экран «Контрольное измерение вибрации» и начнется процесс измерения (рис. 11)

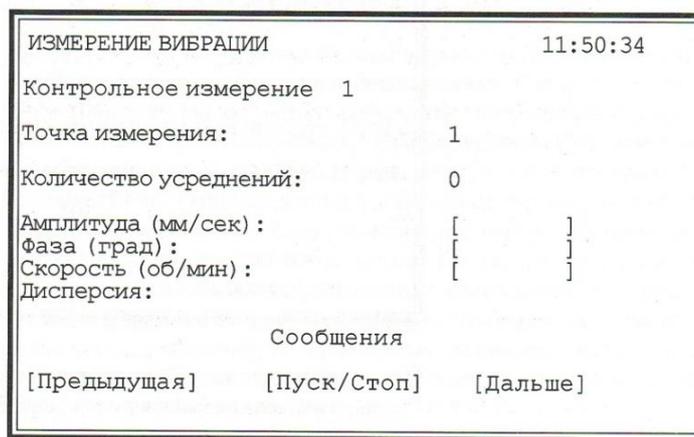


Рис. 11. Контрольное измерение вибрации

На экране указаны результаты измерения параметров вибрации с установленными корректирующими массами.

По окончании измерений появится экран «Результаты измерения вибрации» (рис. 12)

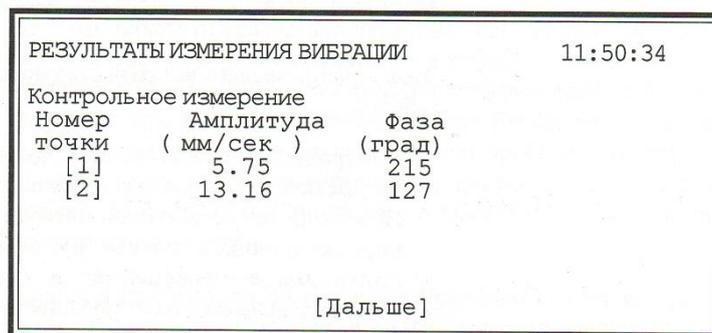


Рис. 12. Результаты измерения вибрации

При нажатии кнопки «Дальше» программа автоматически рассчитывает параметры дополнительных корректирующих масс и величину вибрации при их установке и показывает результаты расчета на экране (рис. 13).

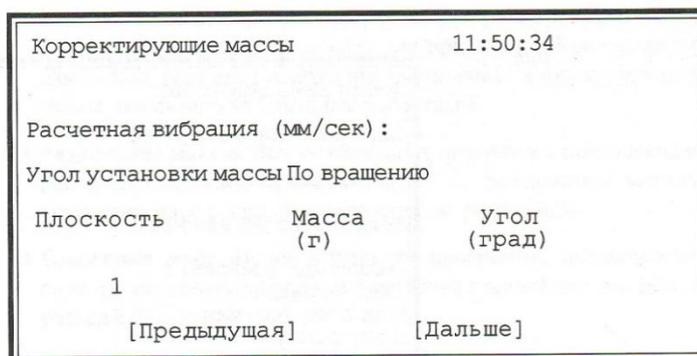


Рис. 13. Корректирующие массы

Затем программа снова переходит к выбору вид дальнейшей работы:

1. Контрольные измерения. Если заданный эффект балансировки не достигнут, его можно увеличить, выбрав эту команду.
2. Окончание. Окончание и оформление результатов балансировки. Программа перейдет к экрану «Протокол балансировки». [7].

Окончание балансировки.

Выбрав команду «Окончание» экрана «Вид работы» можно перейти к просмотру «Протокола балансировки». В протоколе приведены все данные измерений параметров вибрации, рассчитанные и установленные массы. Массы, рассчитанные по результатам последнего контрольного измерения и не установленные на роторе, приводятся в протоколе для того, чтобы дать пользователю возможность рассчитать примерные величины остаточных дисбалансов. Для этого достаточно умножить величину этих масс на радиусы их установки на роторе.

Кроме того, приводятся рассчитанные коэффициенты влияния в полярной форме (модуль/фаза).

Данные в протоколе расположены по страницам. Листание страниц осуществляется кнопками «Дальше» и «Предыдущая». Кнопка «Дальше» на последней странице вызывает экран «Конец протокола». [8].

Выводы

Описанная методика позволяет провести с высокой точностью балансировку широкой номенклатуры роторов с различными конструктивными параметрами без применения специального балансировочного оборудования.

Литература

1. ГОСТ 19534-74 Балансировка вращающихся тел [Термины] – Введ. 01.01.1975 – Москва: Государственный комитет стандартов, 1975. – 49 с.
2. Анципорович П.П., Кудин В.В., Дубовская Е.М.– Балансировка вращающихся масс: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов» 4-е изд., испр. – Минск: БНТУ, 2012. – 26 с.
3. Кудин В.В., Авсиевич А.М. – Балансировка ротора при помощи виброанализатора СД-21: Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2018. – Т. 2. – 427 с.
4. Астахов, Э.И., Кудин, В.В. Колебания в машинах и методы их устранения: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей. – Мн.: БГПА, 1997. – 130 с.

5. Вибрации в технике: справочник. В 6 т. Т.6. Защита от вибраций и ударов / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.

6. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний: учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.

7. Колебания в машинах: Лабораторные работы для студентов специальностей 1–36 01 01 «Технология машиностроения» и 1–36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Сост.: Э.И. Астахов, В.В. Кудин, М.В. Кудин. – Мн.: БНТУ, 2005 – 95 с.

8. Виброанализатор СД-21. Руководство по эксплуатации / ООО Ассоциация ВАСТ: СПб, 2012. – 113 с.

УДК 681.3.06

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММЫ «ДЕТАЛИ МАШИН» ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В. Д. Василёнок, к.т.н, доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь,

email: mparts@bntu.by

FEATURES OF THE “MACHINE PARTS” PROGRAM FOR INSTRUMENT-MAKING SPECIALTIES

V. D. Vasilyonok

Associate Professor, Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic of Belarus, email: mparts@bntu.by

Аннотация. На основании академических нормативных материалов показан единый подход к составлению программ курсов дисциплин деталей машин и приборных деталей машин. На примере зубчатых передач показано, как миниатюризация исходных параметров влияет на коэффициенты, учитывающие форму зуба (величину относительных напряжений).

Ключевые слова: машина, механизм, приборные детали машин, прочность при изгибе, коэффициент формы зуба.

Abstract. Based on academic regulatory materials, a unified approach to compiling course programs for the disciplines of machine parts and instrument parts of machines is shown. Shown using the example of gears, how miniaturization of the initial parameters affects the coefficients that take into account the shape of the tooth (the magnitude of the relative stresses).

Key words: machine, mechanism, instrument parts of machines, bending strength, coefficient taking into account the shape of the tooth.

Комитет научно-технической терминологии СССР в 1945 г. разработал стандарт «Основные буквенные обозначения», позже пересмотрел его в серии «Сборники рекомендуемых терминов». В ходе работы комиссия (под руководством члена-корреспондента АН СССР Сретенского Л.Н. в составе Потапкина В.С., Павлихина М.А., Юрьнева К.В., Коршунова С.И., Кузнецова Т.С., Секерж-Зеньковича Я.И.) анализировала практику использования буквенных обозначений и соответствующих им терминов. Упорядочение системы обозначений должно обеспечивать: 1. преемственность; 2. сопоставимость терминов со смежными разделами науки; 3. взаимоднородность соответствующих терминов и буквенных обозначений, не допускающих многозначных и синонимических обозначений [1-8].

По мере развития техники содержание термина «машина» изменялось. Определение действующему термину было дано в 20-и минутном докладе академика Артоболевского И.И. и профессора Левитского Н.И., посвященному лишь одному термину - «машина» [9].

Машина есть устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены и (или) облегчения физического и умственного труда человека [6, 9].

В этом определении под материалами понимаются обрабатываемые предметы, перемещаемые грузы и другие объекты труда. В зависимости от основного назначения различают энергетические, технологические, транспортные и информационные машины.

Механизм есть система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других тел [6, 9].

Механизм состоит из многих деталей, т.е. отдельно изготавливаемых частей.

Например, колесо автомобиля состоит из нескольких деталей: обода ступицы, крышки, болтов и гаек; или механизм поворота аттенюатора состоит из корпуса отлитого из магниевом сплава, подшипников, червячного колеса $z=48$, $m=1$ мм, насаженного на наружную поверхность подвижного посеребренного волновода, шкалы, закрепленной на оси 4-х заходного червяка и поглощающих пластин из слюды 0.25 мм, покрытых слоем графита, поглощающих шайб и стопорных колец.

В курсе приборных деталей машин должны быть изложены методы расчета и рационального конструирования деталей и сборочных единиц

(узлов) общего применения, т.е. присущих любой машине независимо от ее назначения. Цель изучения общетехнической дисциплины «Приборные детали машин» – дать студенту знания и навыки по выполнению расчетов и конструированию приборных деталей машин, необходимые при последующем изучении специальных дисциплин, а также в его профессиональной деятельности.

Научными основами дисциплины являются математика, физика и теоретическая механика. Существенное значение для проектирования деталей машин имеет курсы теоретической механики, теории механизмов и машин, сопротивления материалов, технологии конструкционных материалов. Основу курса составляют типовые детали, широко применяемые в приборостроении, а в ряде случаев приводятся данные о деталях, свойственных машиностроению. Это представляется целесообразным, так как некоторые приборные средства управления испытывают достаточно мощные силовые нагрузки.

Отличительными особенностями курса от курса приборных деталей машин, является углубленное изучение подразделов, таких как:

1. В теме «Резьбовые (винтовые) соединения»: Ниппельные соединения, соединения эластичных труб. Соединения коническими кольцами и другие фрикционные соединения.

2. В теме «Клиновые соединения»: Разновидность клиновых соединений. Конструирование клиновых соединений. Области применения. Силы в клиновых соединениях. Условия самоторможения. Расчеты на прочность. Конические штифты как разновидность клиновых соединений. Просеченные штифты.

3. В теме «Зубчатые передачи»: Цилиндрические зубчатые передачи. Стандартные параметры мелко модульных зубчатых передач и передач с модулем больше единицы эвольвентного и циклоидального зацеплений. Развитие раздела цилиндрические зубчатые передачи. Стандартные параметры мелко модульных зубчатых передач с модулем меньше единицы. Особенности проектирования передач, работающих в условиях вакуума, без смазки. Ограничители вращения.

4. В тему «Червячные передачи»: Стандартные параметры мелко модульных червячные передач и передач с модулем больше единицы.

5. В теме «Валы и оси»: Схемы расчета многоопорных валов. Особенности расчета гибких валов.

6. В теме «Направляющие и опоры для вращательного и поступательного движения»: Шарикоподшипники специального назначения

– миниатюрные, чашечные, особых габаритов, скоростные, чувствительные к моменту трения. Направляющие с трением скольжения.

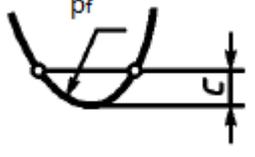
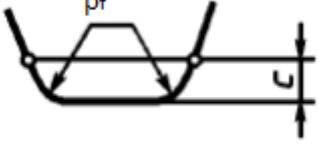
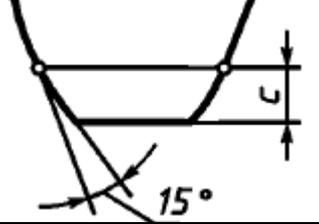
7. В теме «Разъемные соединения»: Штыковые (байонентные) соединения. Зажимы.

8. В теме сосуда высокого давления – сильфоны.

В развитии раздела цилиндрические зубчатые передачи при расчете зубьев на прочность при изгибе следует исходить из стандартных и допустимых параметров мелко модульных зубчатых передач с модулем меньше единицы, задаваемых ГОСТ 9587- 81.

Рекомендуемые параметры мелко модульных зубчатых передач по ГОСТ 9587- 81

Таблица 1

$m_n, мм$	h_a^*	c^*	$r_{f, мм}$	Форма впадины
$0,1 \leq m_n < 1$	1,0	0,3	$0,44 m_n$	
		0,25	$0,38 m_n$	
$0,1 \leq m_n \leq 0,5$	1,1	0,4	-	
$0,5 < m_n < 1$		0,25	-	
Допустимые значения		0,25— 0,40.		

Тогда, например, графики для определения коэффициентов, учитывающих форму зуба и радиус переходной кривой (черт. 10-12 б, 31 ГОСТ 21354-87) будут неприменимы.

Следует придерживаться ГОСТ 9587- 81 и вытекающих из него возможно допустимых параметров производящей рейки (ПР) (табл.2).

Возможные параметры производящей мелко модульной рейки

Таблица 2

$m_n, мм$	h^*_a	c^*	$p_{f, мм}$	h^*_l
$0,1 \leq m_n < 1$	1,0	0,3	$0,446m_n \dots$	2.00659-2.3
		0,25	$0,38m_n \dots$	1.93949-2.25
$0,1 \leq m_n \leq 0,5$	1,1	0,4	$0.41994m_n \dots$	2.37500-2.6
$0,5 < m_n < 1$		0,25	$0.34196m_n \dots$	2.17369=2.35

Тогда графики для определения коэффициентов, учитывающих форму зуба и радиуса переходной кривой (черт. 10-12 б, 31 ГОСТ 21354-87) будут неприменимы. Следует в таком случае проводить дополнительный расчет коэффициентов Y_F (величин относительных напряжений изгиба) согласно методу расчета, аналогичному ГОСТ 21354-87. График отличается от стандартных значений, приведенных в ГОСТ 21354-87 черт. 10. И это надо учитывать.

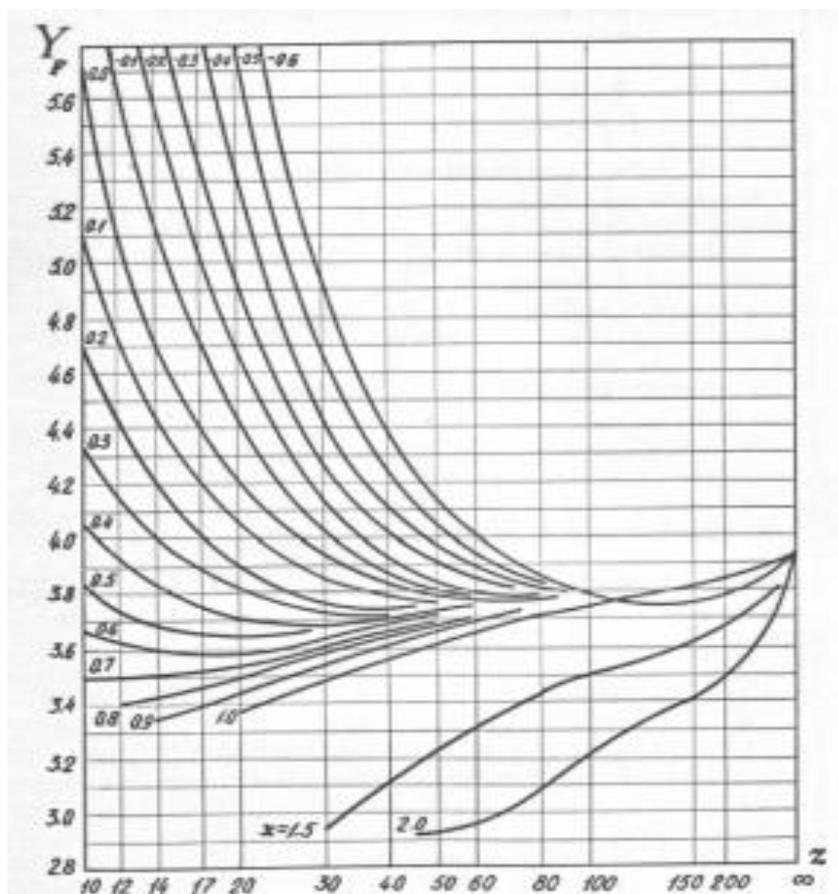


Рис.1. Значения коэффициентов, учитывающих форму зуба Y_F , $c^*=0.35$, $h^*_l=2.1$, $\beta=0^\circ$

ЛИТЕРАТУРА

1. Лотте Д. С. Основы построения научно-технической терминологии. М., Наука, 1961.

2. Лотте Д. С. Краткое методическое пособие по разработке и упорядочению научно-технической терминологии. М., Наука, 1979.
3. Теория механизмов, Основные понятия. Терминология. Отв. Ред. Левитский Н.И., вып. 68, М., Наука, 1965, 24 с.
4. Строительная механика. Терминология, вып. 82, М., Наука, 1970, 48 с.
5. Теоретическая механика, Общие понятия. Кинематика (Статика и динамика). Терминология. Ишлинский А.Ю., М., Наука, 1977, 44 с. (Институт проблем механики).
6. Теория механизмов и машин. Структура механизмов. Кинематический анализ механизмов. Динамический анализ механизмов. Синтез механизмов. Основы теории машин. Терминология Левитский Н.И., вып. 93, М., Наука, 1978, 32 с.
7. Теоретическая механика. Буквенные обозначения величин. Ишлинский А.Б., вып. 97, М., Наука, 1980, 16 с.
8. Теория механизмов и машин. Буквенные обозначения величин. Левитский Н.И., вып. 98, М., Наука, 1980, 18 с.
9. Доклад Артоболовского И.И., Левитского Н.И. Термин «Машина». Материалы конференции «Проблемы упорядочения и стандартизации терминологии в области машиностроения». М., 1977 г.
10. Доклад Андожского В.Д., Василенка В.Д., О некоторых ошибках в стандартах, в разделах, посвященных зубчатым передачам. Материалы конференции «Проблемы упорядочения и стандартизации терминологии в области машиностроения. М., 1977 г.

УДК 681.3(075.8):.621.833

РАСЧЕТ ДВУХОПОРНЫХ И ТРЕХОПОРНЫХ ВАЛОВ НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

В. Д. Василёнок, к.т.н, доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь,

email: mparts@bntu.by

CALCULATION OF TWO-BEARING AND THREE-BEARING SHAFTS ON ROLLING BEARINGS

V. D. Vasilenok

Associate Professor, Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic of Belarus, email: mparts@bntu.by

Аннотация. Приводится описание общей программы расчета двухопорных валов при любой комбинации нагрузок расчета, в том числе и коробок перемены передач. Программа позволяет рационально размещать ведущие и ведомые зубчатые колеса на длине вала и в плане. Выполнен расчет на выносливость трехопорного вала трамвайной тележки немецкого производства.

Ключевые слова: Вал двухопорный, трехопорный трамвайный вал, программа, подшипник качения, расчет на выносливость, коэффициент запаса прочности.

Annotation. A description is given of the general program for calculating double-support shafts for any combination of calculation loads, including gearboxes. The program allows you to rationally place driving and driven gears along the shaft length and in plan. A calculation has been made for the endurance of the three-bearing shaft of a German tram bogie.

Keywords: Double-bearing shaft, three-bearing tram shaft, program, rolling bearing, endurance calculation, safety factor.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВАЛАХ И ОСЯХ

Применение полых валов и осей [1,2] позволяет существенно снизить их вес, т.к. отношение $d / d_0 = \beta$ изменяет площади сечения (вес) полого и сплошного вала пропорционально $(1 - \beta^2)$, а снижение жесткости и прочности (моментов инерции и сопротивления) - пропорционально только $(1 - \beta^4)$. При равной прочности сплошного и полого вала с отношением $\beta = 0,5 \dots 0,7$ вес полого вала будет меньше соответственно на 22,3 и 39% [2].

МАТЕРИАЛ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Для изготовления валов и осей применяется чаще всего прокатная сталь углеродистая или легированная (табл. 1). В отдельных случаях валы изготавливаются из стального литья и литья из чугуна с шаровидным графитом. С повышением процентного содержания углерода возрастает прочность стали, но при этом снижается ее вязкость. Легированные стали применяют для высоконапряженных валов и повышения местной прочности.

Основными видами термической обработки валов являются улучшение и закалка (объемная и закалка ТВЧ). При термической обработке изменяются твердость и механические свойства материала, находящиеся в прямой зависимости от твердости. Однако, с повышением твердости и механических

свойств материала происходит снижение его вязкости. Не рекомендуется применение для валов и осей термической обработки, при которой удлинение при разрыве составляет $\delta < 4 \dots 5\%$.

Твердость поверхностных слоев металла изделия после термической обработки будет максимальная. По мере удаления от поверхности твердость уменьшается. Это характеризует прокаливаемость стали. Специально вводимые легирующие примеси увеличивают глубину прокаливаемости. По своему влиянию на прокаливаемость легирующие элементы можно расположить в последовательности: $M_o - V - Ti - Mn - Cr - Ni - C_o - S_i$.

Большое влияние на механические свойства материала вала оказывает диаметр заготовки (см. табл. 2). Размеры сечения заготовки определяют скорость охлаждения при закалке, а следовательно, и твердость материала изделия. С целью повышения износостойкости и срока эксплуатации (усталостной прочности) валы подвергаются химико-термической обработке – цементации, азотированию, цианированию. В результате цементации и последующей закалки происходит увеличение твердости поверхностного слоя детали при сохранении вязкости сердцевины. В результате цементации одновременно повышается предел усталости. Азотированию подвергаются стали, содержащие в себе элементы (н-р A_l, Cr, Mo), легко вступающие в химические соединения с азотом. Азотирование и цианирование распространены гораздо меньше, чем цементация и закалка ТВЧ, так как, с одной стороны, требуют более тонкой технологии, а с другой стороны, создают на поверхности вала очень твердый и высоконапряженный слой, весьма чувствительный к ударам, забоинам, царапинам, сколам.

Таблица 1

Основные характеристики механической прочности

Марка	Диаметр заготовки не менее	Твёрдость НВ не меньше	Механические характеристики в МПа (Н/мм ²)					Ψ_{σ}	Ψ_{τ}
			σ_T	σ_B	τ_T	σ_{-1}	τ_{-1}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ст.5	любой	190	280	520	150	220	130	0	0
Сталь 45	любой	200	280	560	150	250	150	0	0
	120 80	240 270	550 650	800 900	300 390	350 380	210 230	0,1 0,1	0 0,05
Сталь 40X	любой	200	500	730	280	320	200		
	200 120	240 270	650 750	800 900	390 450	360 410	210 240	0,1	0,05

Сталь 40ХН	любой 200	240 270	650 750	820 920	390 450	360 420	210 250		
20	60	145	240	400	120	170	100	0	0
20Х	120	197	400	650	240	300	160	0,05	0
12ХН3А	120	260	700	950	490	420	210	0,1	0,05
12Х2Н4А	120	300	850	1100	590	500	250	0,15	0,1
18ХГТ	60	330	950	1150	665	520	280	0,15	0,1
30ХГТ	любой	270	750	950	520	450	260	0,1	0,05
	120	320	950	115	665	520	310	0,15	0,1
	60	415	1200	1500	840	650	330	0,2	0,1
25Х2ГНТ	200	360	1200	1500	840	650	330	0,2	0,1

РАСЧЕТ ВАЛОВ

Проектировочный (предварительный) расчет валов

Расчет и проектирование валов обычно ведут по трехэтапной схеме. На первом этапе (предварительный расчет) при отсутствии данных об изгибающих моментах диаметр вала d , мм, приближенно можно определить по величине вращающего момента T , Н•м, из условия прочности по заниженным значениям допускаемых напряжений при кручении

$$\tau_{кр} = 12 \dots 20 \text{ МПа}, \quad d = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi [\tau_{кр}]}} = (150 \dots 130) \sqrt[3]{\frac{P}{n}},$$

где P - передаваемая мощность, кВт; n - частота вращения вала, мин^{-1} .

Иногда на этом этапе диаметр конца вала принимают конструктивно, равным $0,8 \dots 1,0$ диаметра вала приводного двигателя, и округляют в соответствии с ГОСТ 12080-66. На втором этапе разрабатывают конструкцию вала, обеспечивая технологичность изготовления и сборки. Диаметры валов, на которых установлены зубчатые колеса, шкивы и прочее, должны соответствовать ГОСТ 6636-69: 10, 10,5, 2, 2,5, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 60, 63, 65, 70, 75; 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160.

d	l		r	c	d	l		r	c
	исполнения					исполнения			
	1	2				1	2		
18	40	28	1	0,6	40, 45	110	82	2	1,6
20	50	36	1,6	1	50, 55	110	82	2,5	2
22	50	30	1,6	1	60, 70	140	105	2,5	2
25, 28	60	42	1,6	1	80, 90	170	130	3	2,5
32, 36	80	58	2	1,6	100, 110	210	165	3	2,5

ГОСТ 8338-75 (с.168) заплечики для установки подшипников качения.

На третьем этапе производят проверочные расчеты на статическую прочность, сопротивление усталости и жесткость.

Проверочный расчет валов на прочность

Расчет валов на статическую прочность ведется по наибольшей кратковременной нагрузке.

Запас прочности по статической несущей способности определяется

$$S_T = \frac{S_{T\sigma} \cdot S_{T\tau}}{\sqrt{S_{T\sigma}^2 + S_{T\tau}^2}} \geq [S_T],$$

где коэффициенты запасов прочности по нормальным напряжениям - $S_{T\sigma} = \sigma_T / \sigma$, по касательным напряжениям - $S_{T\tau} = \tau_T / \tau$.

Величины запасов прочности $[S_T]$ не должны быть менее величин: 1,1...1,3 - при повышенной пластичности ($\sigma_T / \sigma_B < 0,6$), 1,3...1,5 - при $\sigma_T / \sigma_B = 0,6 \dots 0,8$, 1,5...2 - при умеренной пластичности $\sigma_T / \sigma_B = 0,8 \dots 0,9$, 2...3 - для валов из материалов, склонных к хрупкому разрушению, и литых валов.

Расчет вала на сопротивление усталости ведут по наибольшей длительно действующей нагрузке с учетом режима нагружения.

При совместном действии напряжений кручения и изгиба запас сопротивления усталости определяется

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S] \approx 1,5.$$

где $S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a \cdot k_{\sigma D} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m}$, $S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_a \cdot k_{\tau D} + \psi_\tau \cdot \tau_m}$ - запасы сопротивления усталости по изгибу и кручению.

Здесь σ_{-1} , τ_{-1} - пределы выносливости, $\psi_{\sigma, \tau}$ - коэффициенты, корректирующие влияние постоянной составляющей цикла напряжений на сопротивление усталости (табл. 2);

$\sigma_{a,m}$, $\tau_{a,m}$ - амплитуда и среднее напряжение цикла. При переменном режиме длительных нагрузок для расчета используются приведение (по долговечности), амплитуды напряжений

$$(\sigma_a)_{пр} = (\sigma_a)_{наиб} \cdot K_{долг}^\sigma, \quad (\tau_a)_{пр} = (\tau_a)_{наиб} \cdot K_{долг}^\tau,$$

где $(\sigma_a)_{наиб}$, $(\tau_a)_{наиб}$ - амплитуды напряжений циклов от действия наибольшей, длительно действующей нагрузки

$$K_{\text{долг}}^{\sigma} = \sqrt[9]{\sum \frac{n_i}{N_0} \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \text{ наиб}}} \right)^9}, \quad K_{\text{долг}}^{\tau} = \sqrt[9]{\sum \frac{n_i}{aN_0} \left(\frac{\tau_{ai}}{\tau_{a \text{ наиб}}} \right)^9} \quad - \text{ коэффициенты}$$

долговечности по нормальным и касательным напряжениям. Здесь n_i -общее число циклов нагружений, σ_{ai}, τ_{ai} - амплитуды циклов, 9 - показатель степени уравнения кривой усталости циклов, N_0 - соответствующее точке излома

$$K_{\sigma D, \tau D} = \left(\frac{K_{\sigma, \tau}}{K_{d\sigma, \tau}} + \frac{1}{K_{F\sigma, \tau}} - 1 \right) \frac{1}{K_v} \text{ - коэффициенты концентрации напряжений}$$

для данного сечения вала. $K_{\sigma, \tau}$ - эффективные коэффициенты концентрации напряжений определяем по значениям теоретических коэффициентов концентрации $\alpha_{\sigma, \tau}$ [II] с учетом $q_{\sigma, \tau}$ - коэффициента чувствительности, [2].

$$K_{\sigma, \tau} = 1 + q_{\sigma, \tau} (\alpha_{\sigma, \tau} - 1),$$

$K_{d\sigma, \tau}$ - коэффициенты влияния абсолютных размеров [2];

$K_{F\sigma, \tau}$ - коэффициенты, учитывающие состояние поверхности.

Таблица 2

Вид обработки	σ_B сердцевина, МПа	$K_{F\sigma} = K_{F\tau}$		
		гладких	при $\alpha_{\sigma}=1,5$	при $\alpha_{\sigma}=1,8...2$
Точение Шлифование	800 - 1200	1,1...1,2		
Закалка ТВЧ	600-800	1,5...1,7	1,6...1,7	2,4...2,8
	800-1200	1,3...1,5	-	-
Азотирование	900-1200	1,1...1,25	1,5...1,7	1,7...2,1
Цементация	700-800	1,4...1,5	-	-
	1000-1200	1,2...1,3	2	-
Обдувка дробью	600-1500	1,1...1,25	1,5...1,6	1,7...2,1
Обкатка роликом	600-1500	1,2...1,3	1,5...1,6	1,8...2,0

K_v - коэффициент влияния поверхностного упрочнения

Вид ТО	σ_B , МПа	K_v	
		$K^{\sigma} \leq 1,5$	$K^{\tau} = 1,8...2$
Закалка ТВЧ	600...800	1,6...1,7	2,4...2,6
Накалка роликом	-	1,3...1,5	1,6...2,0
Дробеструйный наклёп	600...1500	1,5...1,6	1,7...2,1

Подбор подшипников качения по динамической грузоподъёмности, [3].

Базовая долговечность подшипника L_{10h} , млн.об., и динамическая грузоподъёмность связаны зависимостью [3]

$$L_{10h} = (C/P)^p,$$

где p - показатель степени ($p = 3$ - для шарикоподшипников, $p = 10/3$ - для роликоподшипников), P - эквивалентная динамическая нагрузка, определяемая с учетом циклограммы нагружения.

РАСЧЕТ ДВУХОПОРНЫХ ВАЛОВ НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ [1]

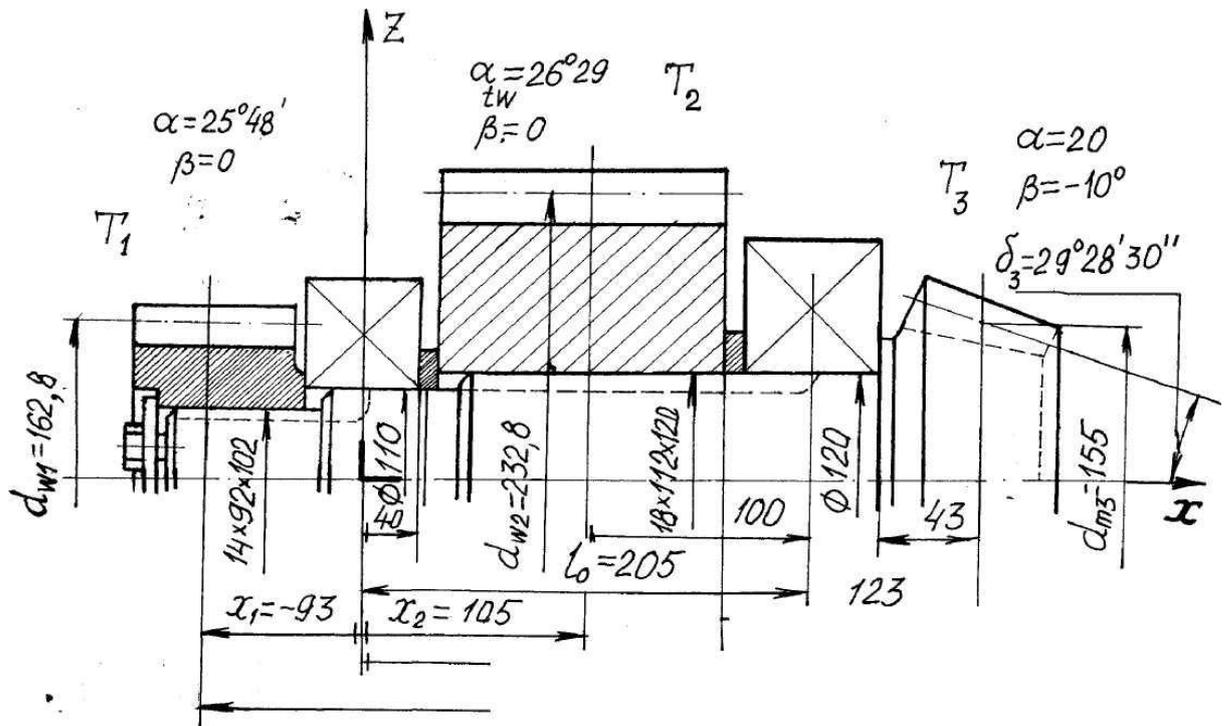


Рис. 1. Конструкция вала с зубчатыми колесами на подшипниках качения)

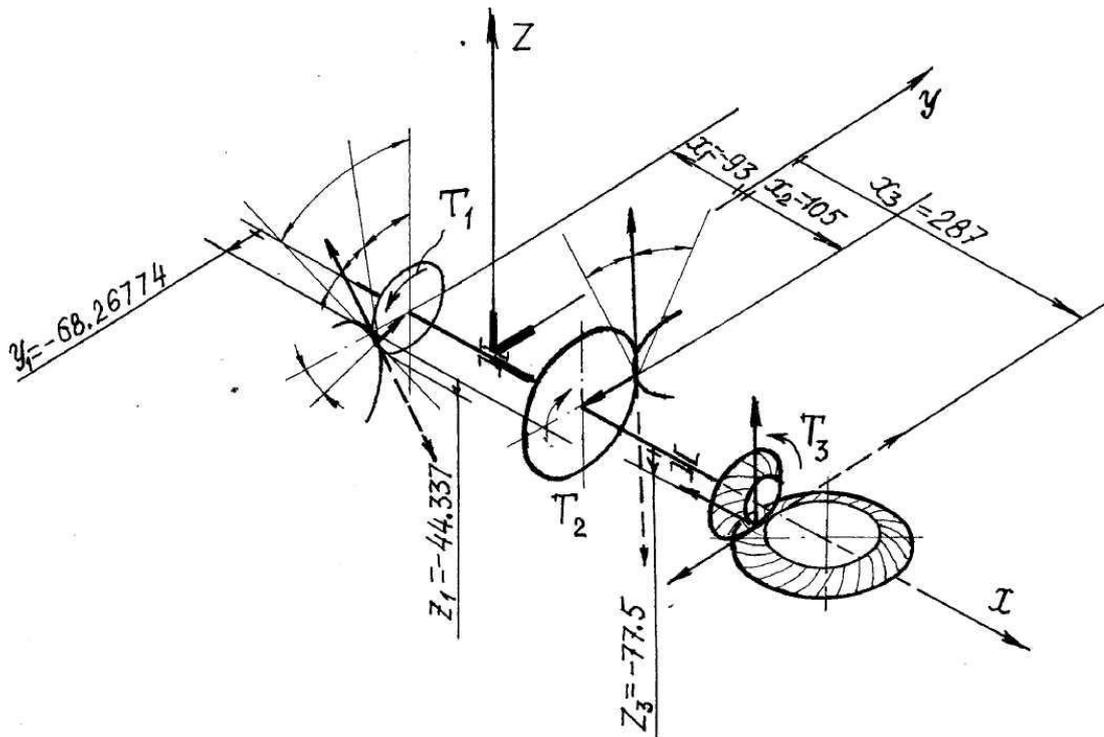


Рис. 2. Расчетная схема вала на подшипниках качения

Таблица 3

Исходные данные для расчета двухопорных валов на подшипниках качения

№ ПП	Наименование	Размерность	Обозначение	Идентификатор
1	Число передач на валу			I_{MAX}
2	Число режимов нагружения			J_{MAX}
3	Число расчётных сечений вала			J_{KM}
4	Управляющий параметр программы расчёта подшипников			J_{LAG}
5	Расстояние между опорами вала	мм	l	L_{NOL}
6	Тип передачи			J_P
7	Координаты сопряжённой детали, координаты точки приложения нагрузки нестандартной передачи в правой системе координат	мм мм мм	x y z	$X(IM)$ $Y(IM)$ $Z(IM)$
8	Диаметр начальной (расчётной) окружности	мм	$d_{(w)}$	DW_{IM}
9	Угол зацепления зубчатых червячных передач, угол обхвата шкива ременной передачи, косинус угла между осью вектором нагрузки нестандартной передачи	○ / //	α tw	$ALF1$ $ALF2$ $ALF3$
10	Угол наклона зуба (правый «+», левый «-») или угол подъёма винтовой линии червяка	○ / //		$BET1$ $BET2$ $BET3$
11	Угол делительного конического зубчатого колеса	○ / //		$DELT1$ $DELT2$ $DELT3$
12	Коэффициент трения червячной передачи, коэффициент ременной или цепной передачи (для ведущих червяков)		f	F

	(шкивов) «+», для ведомых «-»)			
13	Предварительное натяжение Н ремня	Н	E_0	SN
14	Число ремней ременной передачи		Z	NY
15	Продолжительность действия j-го режима нагружения	час	t_j	T(j)
16	Частота вращения вала на j-м режиме нагружения	об/мин	n_j	N(j)
17	Продолжительность цикла изменения крутящего момента	с	$t_{цj}$	TC(j)
18	Крутящие моменты, передаваемые передачами, находящимися на валу (моменты относительно оси OX), заполняются со своим знаком, при совпадении вектора M_{Xj} с осью OX «+»	Н*м	M_x	M_x
19	Предел выносливости по нормальным напряжениям	МПа	σ_{-1}	SI1
20	Предел выносливости по касательным напряжениям	МПа	τ_{-1}	TAY1
21	Предел текучести	МПа	σ_T	STAY
22	Предел текучести	МПа	τ_T	TAYT
23	Предел прочности	Мпа	σ_B	SB
24	Коэффициент, корректирующий влияние постоянной составляющей цикла напряжений на сопротивление усталости		Ψ_τ	FITA
25	Координата расчётного сечения вала	мм	x_k	XK(jk)
26	Тип концентратора (галтель, кольцевая проточка, сечение с поперечным	мм	Kerbe	KERBE(jk)

	отверстием, шпоночный паз, прямобочные шлицы, эвольвентные шлицы)			
27	Диаметр ступени вала больший	мм	D	D(jk)
28	Диаметр вала меньший	мм	d	DMAL(jk)
29	Диаметр продольного отверстия	мм	d ₀	DNUL(jk)
30	Ширина шпонки	мм	b	B(jk)
31	Высота шпонки	мм	n	H(jk)
32	Глубина шпоночного паза	мм	t	TSH(jk)
33	Расчётная длина шпонки	мм	l	LSCH(jk)
34	Число шпонок (шлицев)		z _w	ZSCH(jk)
35	Модуль шлицев	мм	m	M(jk)
36	Диаметр поперечного отверстия	мм	a	A(jk)
37	Радиус закругления галтели	мм	r	R(jk)
38	Коэффициенты, учитывающие состояние поверхности		k _F	KF(jk)
39	Коэффициент влияния поверхностного упрочнения		k _v	KV(jk)
40	Требуемый ресурс подшипников	час	L _{10h}	LH
41	Тип подшипника левой опоры		T _Л	TL
42	Тип подшипника правой опоры		T _П	TP
43	Признак восприятия осевой нагрузки		K _A	K _A
44	Признак схемы установки роликовых конических однорядных подшипников		K _x	KX
45	Номер подшипника левой опоры по каталогу		N _Л ⁰	NØL
46	Номер подшипника правой опоры по каталогу		N _П ⁰	NØP
47	Динамическая	Н	C _{гд}	CRL

	радиальная грузоподъёмность подшипника левой опоры			
48	Динамическая радиальная грузоподъёмность подшипника правой опоры	Н	$C_{гр}$	CRP
49	Статическая радиальная грузоподъёмность подшипника левой опоры	Н	$C_{огл}$	CØL
50	Статическая радиальная грузоподъёмность подшипника правой опоры	Н	$C_{огп}$	CØP
51	Предельное значение отношения, обуславливающее выбор коэффициентов X и Y подшипника левой опоры		e_l	EL
52	Предельное значение отношения, обуславливающее выбор коэффициентов X и Y подшипника правой опоры		e_p	EP
53	Коэффициент безопасности		$K_б$	KB
54	Температурный коэффициент		K_t	KT
55	Коэффициент вращения кольца		V	V

РАСЧЕТ ТРЕХОПОРНЫХ ВАЛОВ НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Расчет трехопорного вала показан на примере заявки УП “Минскгорэлектротранс”, для проведения исследований с целью установления причин разрушения валов трамвайных вагонов в процессе эксплуатации и разработке рекомендаций по повышению их срока службы.

- выполнялся анализ технической документации, определялись опасные сечения;
- проводился металлографический анализ образцов осей, включающий: фрактографический анализ поверхности излома оси в опасных

сечениях отечественного производства; макро- и микроисследования; определение структурных составляющих и химического состава материала образцов осей.

Результаты анализа технической документации

Поломка оси произошла по всему сечению в поперечном направлении по месту сопряжения сечений двух различных диаметров $\varnothing 110$ и $\varnothing 125$ мм (галтели). Вид излома свидетельствует об усталостном характере разрушения для случая циклического нагружения с кручением и изгибом. Поверхность излома неоднородная, в изломе четко наблюдаются три области усталостной поломки.

Расчетная схема 3-х опорного трамвайного вала рис.3



Рис. 3. Расчетная схема вала

Действующие усилия

Тангенциальная сила

$$F_t = \frac{2000 \cdot T}{d_2} = \frac{2000 \cdot 5232}{295.786} = 35376.927 \text{ Н, где } d_2 = \frac{mz}{\cos \beta} = \frac{7 \cdot 41}{\cos 14^\circ} = 295.786$$

Радиальная сила

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_{nv} = 35376.93 \cdot 0.3751123 = 13270.32 \text{ Н}$$

Осевая сила

$$F_x = F_t \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta_b}{\cos \alpha_{nv}} = F_t \cdot \frac{0.2334445}{0.936295} = 35376.927 \cdot 0.2493279 = 8820.45 \text{ Н}$$

$$\operatorname{tg} \beta_b = \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha_t = \operatorname{tg} 14^\circ \cdot \cos \alpha_t = 0.2334445$$

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 14^\circ} = 0.3751123 \quad \alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = 0.358869$$

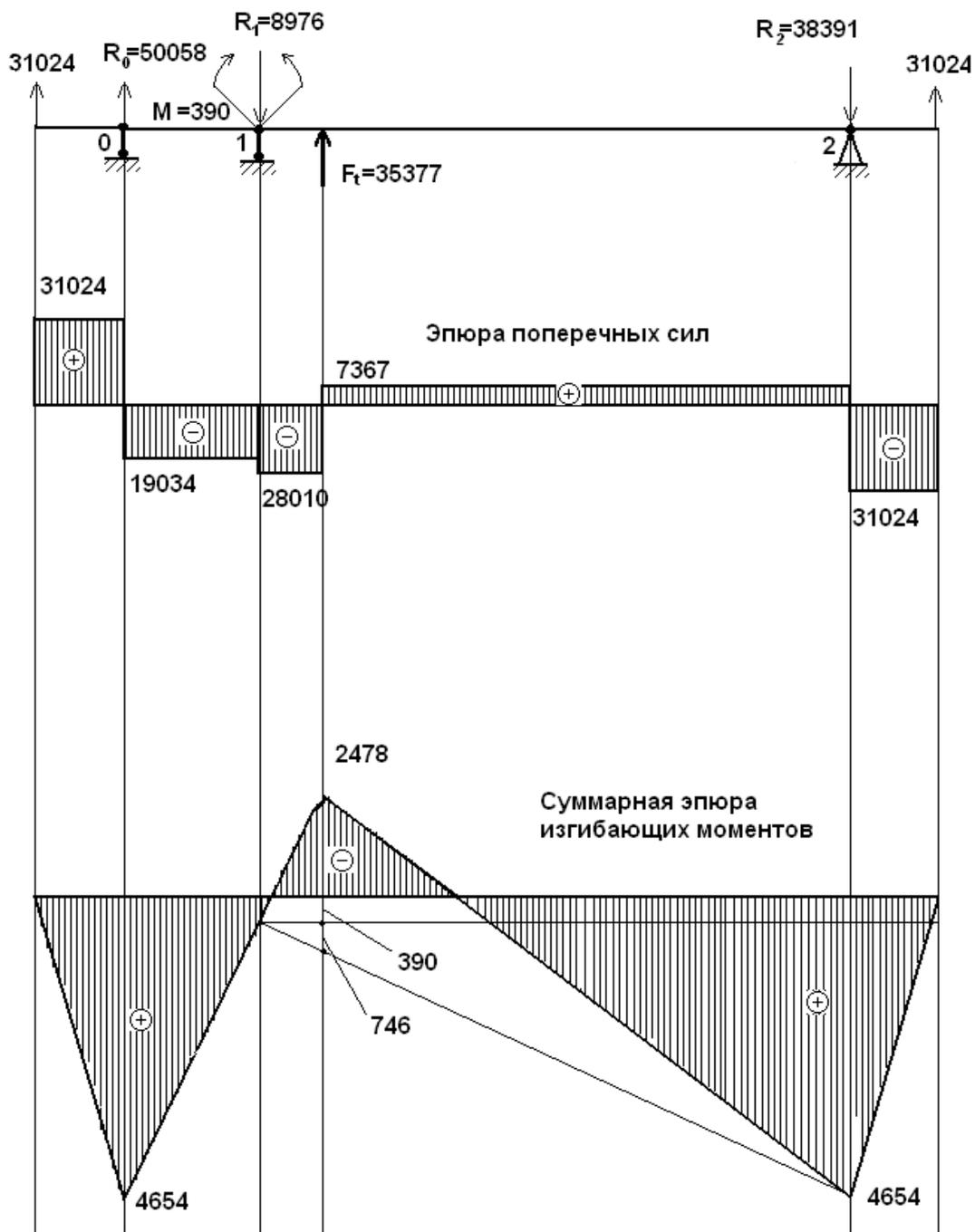


Рис. 4. Эпюра поперечных сил и суммарная эпюра изгибающих

МОМЕНТОВ

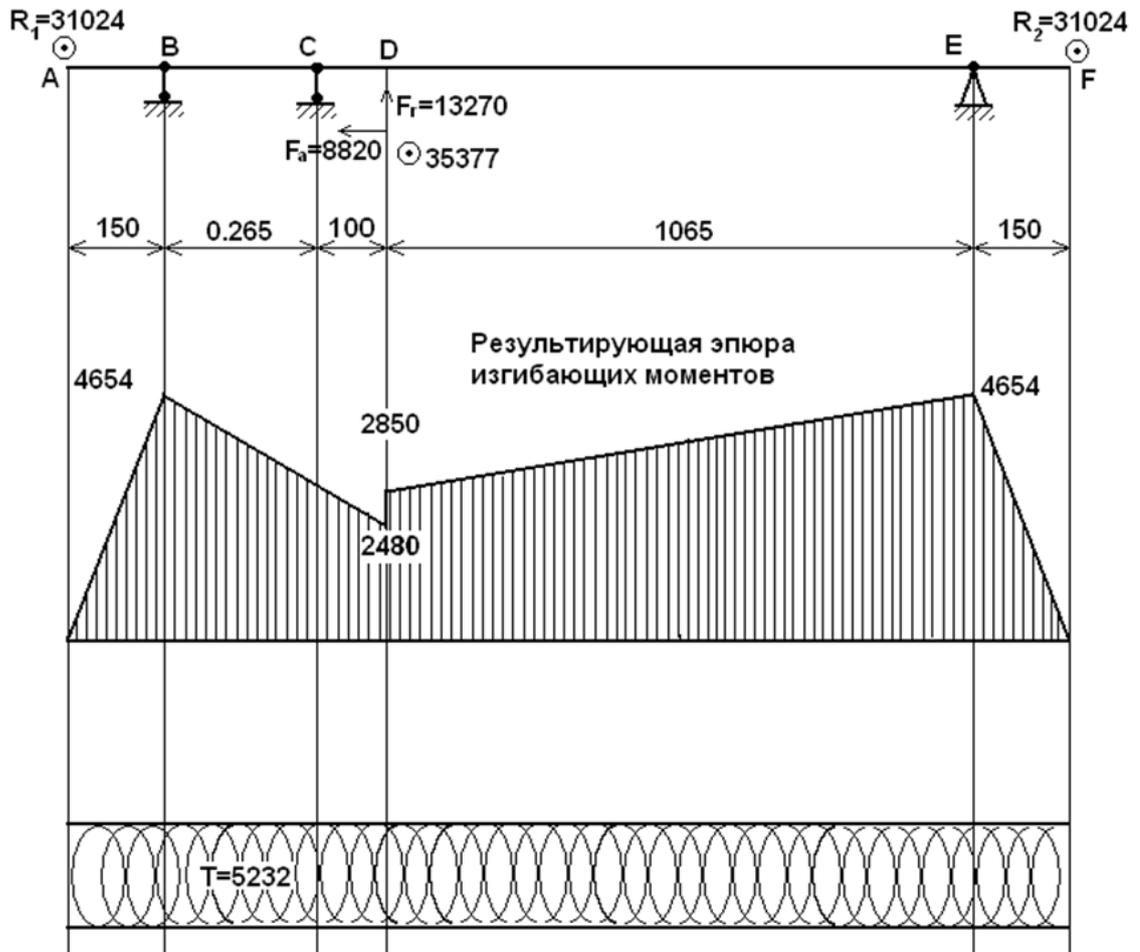


Рис. 5. Результирующие эпюры изгибающих и крутящих моментов

При совместном действии напряжений кручения и изгиба запас
сопротивления усталости в сечении E

Таблица 3

			Коэффициенты запаса		
			Нормальным напряжениям	Касательным напряжениям	Общий
Материал	σ_B	σ_T	S_σ	S_τ	S
Сталь 0с	395	190	0.671	5.215	0.665
Сталь 0с упрочн			0.939	7.21	0.931
Сталь 40	580	340	0.949	7.294	0.941
Сталь 40 упроч			1.329	10.04	1.317
30 ХМ	950	750	1.438	10.797	1.425
30 ХМ упрочн			2.013	14.734	1.995

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причиной преждевременного разрушения оси отечественного изготовления является усталость металла. Понижению прочностных свойств металла и образованию усталостных трещин способствовали неоднородность микроструктурного строения стали (наличие полосчатости), отсутствие поверхностного упрочнения на галтели в зоне поломки, наличие концентраторов напряжений в виде грубых рисок и надиров на поверхности в зоне поломки.

Выполненный анализ химического состава материала осей показал, что ось импортного производства изготовлена из легированной конструкционной стали марки типа 30ХМ, имеющей более высокие прочностные свойства по сравнению с углеродистой сталью ОсЛ, из которой изготовлена ось отечественного производства (для стали 30ХМ предел прочности на 30-38%,

а ударная вязкость на 40-60% превышают соответствующие значения для стали ОсЛ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенок В.Д., Романчак В.М. Расчет двухопорных валов с зубчатыми колесами на подшипниках качения. Методические указания для студентов технических вузов, Минск, Белорусский политехнический институт, 1989,-44 с.
2. Валы и оси. Конструирование и расчет. / Серенсен С. В.,-М., Машиностроение, 1970, - 320 с.
3. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет проектирование и обслуживание опор. Справочник.- М.. Машиностроение.1983,-543 с.

УДК 621.855

ДЕМОНСТРАЦИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЦЕПИ В ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Сашко К.В., к.т.н., доц. *БНТУ*.
Основин В.Н. к.т.н., доц. *БГАТУ*
Основина Л.Г. к.т.н., доц. *БГУИР*

DEMONSTRATION IN THE EDUCATION PROCESS OF CHANGING THE TRANSLATION SPEED OF CHAIN IN A CHAIN DRIVE

Sashko K.V., Associate Professor, BNTU.
Osnovin V.N., Associate Professor, BSATU.
Osnovin L.G., Associate Professor, BSATU.

Аннотация: Экспериментальные наблюдения показывают, что основной причиной выхода из строя цепных передач являются динамические нагрузки вызываемые неравномерностью движения цепи. Разработаны учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости и ускорения движения цепи в цепной передаче и методика проведения лабораторной работы.

Ключевые слова: цепная передача, скорость движения, учебный прибор.

Abstract: Experimental observations show that the main reason for the failure of chain movement. A training device has been developed to demonstrate changes

in translational velocity and acceleration of chain movement in a chain transmission and a methodology for conducting laboratory work.

Kew words: chain transmission, movement speed, educational process.

Теоретическое обоснование

Динамические нагрузки в цепной передаче вызываются неравномерностью движения цепи и ведомой звездочки, технологическими погрешностями, допущенными при изготовлении и монтаже цепи и звездочек. На динамику цепных передач неблагоприятно влияет относительное удлинение цепи в результате изнашивания ее шарнирных соединений. Длина ведущей ветви цепной передачи изменяется также вследствие радиальных биений валов и зубчатых венцов, а также наличия зазоров между ступицей звездочки и валом. В связи с этим погрешности изготовления и монтажа цепных передач должны быть в пределах допускаемых значений.

Экспериментальные наблюдения показывают, что основными причинами выхода из строя цепных передач являются:

1. Износ шарниров (за счет ударов при вхождении цепи в зацепление с зубьями звездочки и из-за изнашивания их от трения), приводящий к удлинению цепи и нарушению ее зацепления со звездочками (основной критерий работоспособности для большинства передач). Граничное удлинение цепи по причине износа шарниров не должно превышать 3%, так как нарушается правильность зацепления шарниров цепи и зубьев.

2. Усталостное разрушение пластин по проушинам основной критерий для быстроходных тяжелонагруженных роликовых цепей, работающих в закрытых картерах с хорошим смазыванием.

3. Проворачивание валиков и втулок в пластинах в местах запрессовки - распространенная причина выхода из строя цепей, связанная с недостаточно высоким качеством изготовления.

4. Выкрашивание и разрушение роликов.

5. Достижение предельного провисания холостой ветви один из критериев для передач с нерегулируемым межосевым расстоянием, работающих при отсутствии натяжных устройств и стесненных габаритах.

6. Износ зубьев звездочек.

В соответствии с приведенными причинами выхода цепных передач из строя можно сделать вывод о том, что срок службы передачи чаще всего ограничивается долговечностью цепи.

Долговечность же цепи в первую очередь зависит от износостойкости шарниров.

Из-за пульсирующего характера изменения расстояния от центра вращения звездочки до продольной оси цепи (рис.1) цепь имеет неравномерную скорость движения, что ведет к появлению динамических сил, которые увеличиваются с ростом шага цепи, движущейся массы цепи, уменьшением числа зубьев приводной звездочки.

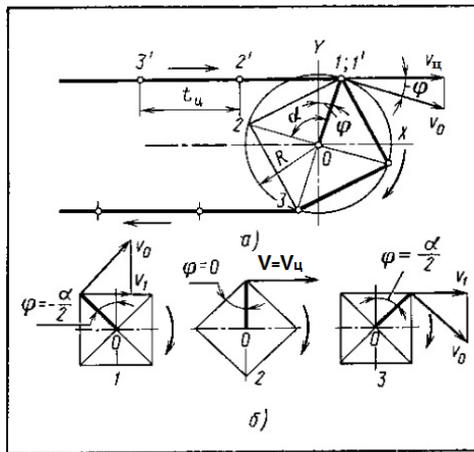


Рис. 1 – Схема движения цепи со звездочкой

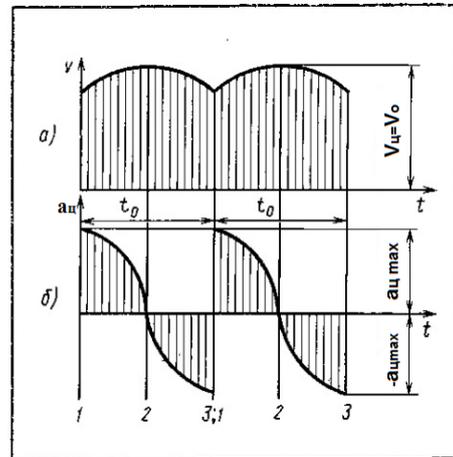


Рис. 2 – Диаграмма изменения скорости движения и ускорения цепи

Эти силы не только увеличивают нагрузку в тяговом органе, но и вызывают в цепи усталостные явления. При скоростях до 0,2 м/с динамические силы можно не учитывать. При постоянной угловой скорости ω приводной звездочки ее окружная скорость также постоянна и равна:

$$V_0 = \omega \frac{D}{2}, \quad (1)$$

а горизонтальная скорость цепи (рис. 2) изменяется по закону

$$V_u = \omega \frac{D}{2} \cos \varphi, \quad (2)$$

где D – диаметр делительной окружности звездочки.

Ускорение цепи

$$\alpha_u = \frac{dV_u}{dt} = -\frac{\omega D}{2} \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} = -\omega^2 \frac{D}{2} \sin \varphi; \quad (3)$$

отношение

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega. \quad (4)$$

Здесь значение угла φ изменяется в пределах от $-\frac{\alpha_0}{2}$, что соответствует моменту входа в зацепление шарнира, до угла $\varphi = \frac{\alpha_0}{2}$ – момента входа в зацепление следующего шарнира.

Максимальное ускорение возникает при $\varphi = \pm \frac{\alpha_0}{2}$

$$\alpha_{\text{цmax}} = \pm \omega^2 \frac{D}{2} \sin \frac{\alpha_0}{2}. \quad (5)$$

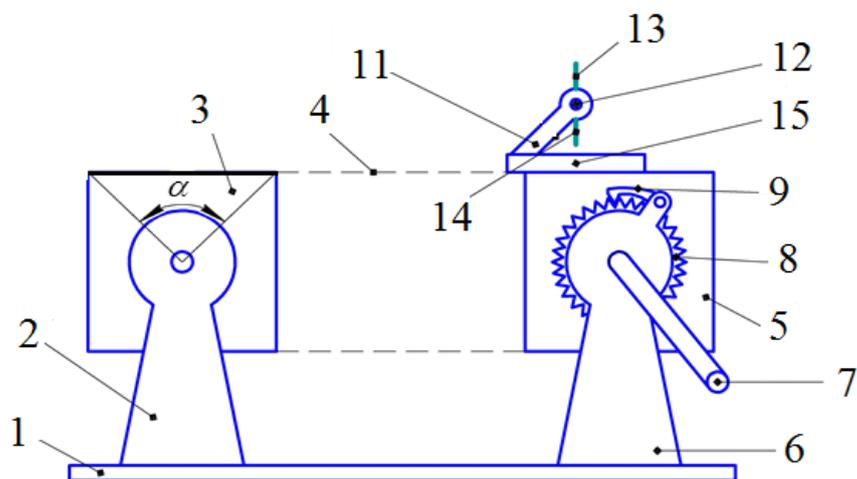
Когда зуб входит в соприкосновение с шарниром цепи, то ускорение мгновенно возрастает от $-\alpha_{\text{цmin}}$ до $+\alpha_{\text{цmax}}$ (рис. 2).

Описание экспериментальной установки

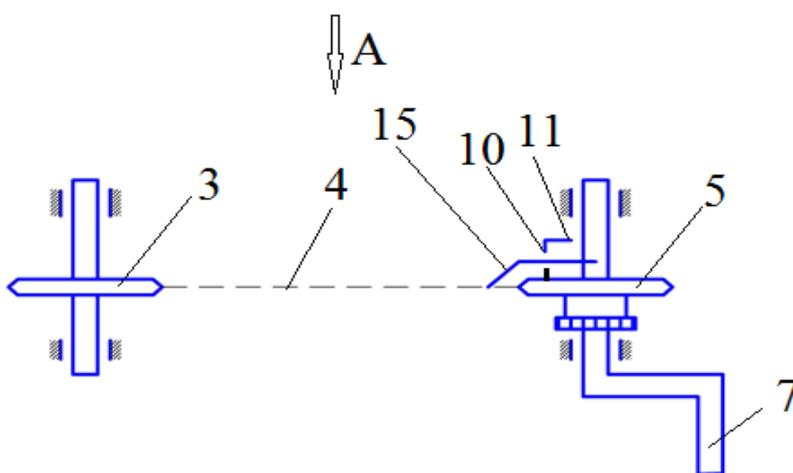
На рис. 3 схематично изображен учебный прибор для демонстрации изменения скорости движения цепи в цепной передаче (вид сбоку – рис. 3, а; вид сверху – рис. 3, б).

Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в цепной передаче состоит из рамы 1, на которой установлена опора 2 ведомой звездочки 3 с четырьмя зубьями, соединенной цепью 4 с ведущей звездочкой 5, имеющей также четыре зуба, установленной на опоре би приводимой во вращение рукояткой 7. Для фиксации угла поворота ведущей звездочки 5 к ее торцу прикреплена звездочка 8 храпового останова, а его собачка 9 закреплена на опоре 6 ведущей звездочки 5, кроме того посередине зуба на диаметре делительной окружности ведущей звездочки 5 по касательной к делительной окружности на кронштейне 10 закреплена стрелка 11 со шкалой, указывающая направление окружной скорости ведущей звездочки 5. На острие стрелки 11 на оси 12 с возможностью поворота установлен двухсторонний отвес, у которого верхний участок 13 выполнен из тонкой стальной проволоки, а нижний 14 – из тонкой стальной пластины, имеющей значительно больший вес, чем тонкая стальная проволока, что обеспечивает строго вертикальное положение двухстороннего отвеса, а к звену цепи 4, подходящему к зубу ведущей звездочки 5, прикреплена линейка 15 со шкалой. Направление линейки 15 совпадает с направлением

движения цепи 4 и по ней определяют горизонтальные проекции l_1, l_2, l_3 и т.д. стрелки 11, которые умножают на масштаб μ для определения поступательной скорости $V_{ц}$ цепи.



a



б

Рис. 3 – Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в цепной передаче

1 – рама; 2 – опора; 3 – ведомая звездочка; 4 – цепь; 5 – ведущая звездочка; 6 – опора; 7 – рукоятка; 8 – звездочка храпового останова; 9 – собачка; 10 – кронштейн; 11 – стрелка; 12 – ось; 13 – верхний участок отвеса; 14 – нижний участок отвеса; 15 – линейка

Порядок проведения работы

Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в пределах центрального угла $\alpha = 90^\circ$ в цепных передачах работает следующим образом:

1. Предварительно измеряют расстояние между осями звездочек L_1 , шаг цепи $t_{ц}$ и данные вносят в таблицу 1.

Таблица 1

Замеряемые значения

Наименование	Параметры	Значения
Расстояние между осями звездочек, мм	L	290
Шаг цепи, мм	$t_{ц}$	150
Длина стрелки 11, мм	l	120

2. По заданной преподавателем окружной скорости ведущей звездочки V_0 (например, $V_0=1.2$ м/с) определяют масштаб шкалы стрелки 11 по формуле

$$\mu = V_0 / l = \frac{1.2}{120} = 0.01 \frac{\text{м} / \text{с}}{\text{мм}} = 10 \frac{\text{мм} / \text{с}}{\text{мм}}$$

где l – длина шкалы стрелки 11.

Горизонтальная проекция окружной скорости (ГПОС)

$$V_{ц} = V_0 \cos \varphi$$

3. Определяют диаметр звездочки

$$D = \frac{t_{ц}}{\sin \frac{180}{z}} = \frac{150}{\sin 45} = 211.3 \text{ мм},$$

где z – число зубьев звездочки.

4. С помощью рукоятки 7 устанавливают ведущую звездочку 5 в положение, соответствующее входу зуба ведущей звездочки 5 в зацепление с цепью 4. В этот момент с помощью нижнего 14 участка двухстороннего отвеса по шкале линейки 15 фиксируют горизонтальную проекцию l_1 стрелки 11. Последовательно поворачивая рукояткой 7 ведущую звездочку на угол $\varphi = 15^\circ$, фиксируют горизонтальные проекции l_2, l_3 и т. д. стрелки 11. Когда зуб ведущей звездочки 5 займет вертикальное положение, поступательная скорость $V_{ц}$ цепи 4 будет равна окружной скорости V_0 ведущей звездочки 5, а стрелка 11 займет горизонтальное положение. При дальнейшем последовательном повороте ведущей звездочки 5 горизонтальная проекция стрелки 11 будет фиксироваться верхним 13 участком двухстороннего отвеса.

5. Для определения поступательной скорости $V_{ц}$ цепи 4горизонтальные проекции l_1, l_2, l_3 и т. д. стрелки 11 умножают на масштаб μ и данные вносят в таблицу 2.

6. Определяют ускорение цепи по формуле

$$\alpha_{ц} = -\frac{2V_o^2}{D} \sin \varphi .$$

Полученные данные вносят в таблицу 2.

Таблица 2

Расчетные данные

Величина угла φ , град	-45	-30	-15	0	15	30	45
Длины горизонтальных проекций стрелки 11, мм	85,2	103,2	115,2	120	115,2	103,2	85,2
ГПОС $V_{ц}$, мм/с	7,1	8,6	9,6	10	9,6	8,6	7,1
Ускорение цепи $\alpha_{ц}$, мм ² /с	91,8	64,6	33,6	0	-33,6	-64,6	-91,8

7. Строят диаграмму изменения скорости движения и ускорения цепи.

Таким образом, учебный прибор позволяет демонстрировать изменение поступательной скорости движения цепи в цепной передаче в зависимости от угла поворота ведущей звездочки 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детали машин. Теория и расчет: учебно-методическое пособие / Скойбеда А.Т., и др. Минск: БГАТУ, 2014. – 372 с.

2. Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в цепном транспортере: патент 21682 С2 Респ. Беларусь, МПК G 09В 23/08 / Н.Н. Романюк (ВУ), К.В. Сашко (ВУ), П.В. Клавсуть (ВУ), А.Н. Демиденко (ВУ); заявитель Беларус. Гос. Аграр. техн. ун-т. – № а20131436; заявл. 04.12.2013; опубл. 28.02.2018 // Официальный бюл. / Нац. Центр интеллектуальной собственности. – 2018. - № 1. – С.154.

Аннотация

Демонстрация в учебном процессе изменения поступательной скорости движения цепи в цепной передаче

Сашко К.В., к.т.н., доц. *БНТУ*.

Основин В.Н. к.т.н., доц. *БГАТУ*

Основина Л.Г. к.т.н., доц. *БГАТУ*

Из-за пульсирующего характера изменения расстояния от центра вращения звездочки до продольной оси цепи цепь имеет неравномерную скорость движения, что ведет к появлению динамических сил, которые увеличиваются с ростом шага цепи, движущихся масс груза и цепи с настилом, уменьшением числа зубьев приводной звездочки.

Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в цепных передачах, состоящий из рамы, на которой установлена опора ведомой звездочки с четырьмя зубьями, соединенной цепью с ведущей звездочкой, имеющей четыре зуба, установленной на опоре и приводимой во вращение рукояткой, где для фиксации угла поворота ведущей звездочки к ее торцу прикреплена звездочка храпового останова, а его собачка закреплена на опоре ведущей звездочки, кроме того посередине зуба на диаметре делительной окружности ведущей звездочки по касательной к делительной окружности на кронштейне закреплена стрелка со шкалой, указывающая направление окружной скорости ведущей звездочки, причем на острие стрелки на оси с возможностью поворота установлен двухсторонний отвес у которого верхний участок выполнен из тонкой стальной проволоки, а нижний – из тонкой стальной пластины, имеющей значительно больший вес, чем тонкая стальная проволока, что обеспечивает строго вертикальное положение двухстороннего отвеса, а к звену цепи, подходящему к зубу ведущей звездочки прикреплена линейка со шкалой, направление линейки совпадает с направлением движения цепи.

Таким образом, учебный прибор позволяет демонстрировать изменение поступательной скорости движения цепи в цепных транспортерах в зависимости от угла поворота ведущей звездочки.

Annotation

Demonstration in the educational process of changing the translational speed of the chain in a chain transmission

Sashko K.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, BNTU.

Osnovin V.N. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, BSATU.

Osnovin L.G. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, BSATU.

Due to the pulsating nature of the change in the distance from the center of rotation of the sprocket to the longitudinal axis of the chain, the chain has an uneven speed of movement, which leads to the appearance of dynamic forces that increase with the growth of the chain pitch, the moving masses of the load and the chain with the flooring, a decrease in the number of teeth of the drive sprocket.

A training device for demonstrating the change in the translational speed of the chain in chain gears, consisting of a frame on which the support of a driven sprocket with four teeth is mounted, connected by a chain to a leading sprocket with four teeth, mounted on a support and rotated by a handle, where a ratchet stop sprocket is attached to its end to fix the angle of rotation of the leading sprocket, and his doggie is fixed on the support of the leading sprocket, in addition, in the middle of the tooth on the diameter of the dividing circle of the leading sprocket tangentially to the dividing circle, an arrow with a scale indicating the direction of the circumferential velocity of the leading sprocket is fixed on the bracket, and a two-sided plumb line is installed on the tip of the arrow on the axis with the possibility of rotation, in which the upper section is made of thin steel wire, and the lower one – made of a thin steel plate having significantly more weight than a thin steel wire, which ensures a strictly vertical position of the double-sided plumb line, and a ruler with a scale is attached to the chain link that fits the tooth of the leading sprocket, the direction of the ruler coincides with the direction of movement of the chain.

Thus, the training device allows you to demonstrate the change in the translational speed of the chain in chain conveyors, depending on the angle of rotation of the leading sprocket.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ

Скойбеда А.Т., д.т.н., профессор;
Путиловский В.А., аспирант
*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
email: mparts@bntu.by*

ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING BEARINGS AND DIAGNOSING DEFECTS

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Аннотация. Отказы в работе узлов и агрегатов машинного оборудования происходят из-за износа сопряжений, проявления усталости материала, нагрузжений, превосходящих пределы прочности, старения и ряда других факторов, сопровождающих эксплуатацию. Несвоевременное проведение профилактических мер, заключающихся в заблаговременной ликвидации предельных зазоров в сопряжениях, выполнении необходимых регулировок, регулярном контроле прочности крепления узлов и деталей, своевременной смене масла или его доливки, предупредительной замене деталей, выработавших свой ресурс, существенно снижает надежность функционирования узлов и агрегатов.

Вибрационная диагностика – метод диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, либо создаваемой работающим оборудованием, либо являющейся вторичной вибрацией, обусловленной структурой исследуемого объекта.

Ключевые слова: подшипники качения, вибромониторинг, диагностика дефектов, виброскорость, метод оценки, срок службы, факторы

PUTSILOUSKI VITALI

ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING BEARINGS AND DEFECT DIAGNOSTICS

Annotation. Failures in the operation of units and assemblies of machinery occur due to wear of couplings, manifestation of material fatigue, loads exceeding strength limits, aging and a number of other factors accompanying operation. Untimely implementation of preventive measures, consisting in the early elimination of extreme gaps in couplings, performing necessary adjustments, regularly monitoring the strength of fastening units and parts, timely oil change or

topping up, preventive replacement of parts that have exhausted their resource, significantly reduces the reliability of the functioning of units and assemblies.

Vibration diagnostics is a method of diagnosing technical systems and equipment based on the analysis of vibration parameters, either created by operating equipment or being secondary vibration caused by the structure of the object under study.

Key words: *rolling bearings, vibration monitoring, defect diagnostics, vibration velocity, evaluation method, service life, factor.*

Подшипники качения являются наиболее распространенными узлами механических систем, обеспечивающими точное расположение и взаимное перемещение отдельных деталей в широком диапазоне скоростей и нагрузок. Отказ подшипника нередко приводит к аварийным отказам сложных и ответственных изделий с большими экономическими потерями. В этой связи достижение требуемых эксплуатационных характеристик установленного в изделии подшипника является необходимым условием обеспечения качества машин и механизмов. В свою очередь срок службы подшипников качения зависит от условий их производства, хранения, обслуживания, установки, нагрузки и условий работы. В таблице 1 приведены некоторые типы неисправностей подшипников и причины их вызывающие.

Таблица 1 – Типы неисправностей подшипников и причины их вызывающие

Причина	Эффект	Фото дефекта
Чрезмерная нагрузка	Поверхностное растрескивание Перегрев/ текучесть металла	 <p>Перегрев кольца подшипника</p>
Нагрузка от дисбаланса	Повреждение дорожек качения	 <p>Трещина кольца</p>

<p>Расцентровка</p>	<p>Натиры дорожек качения Поверхностное растрескивание Повреждение сепаратора</p>	 <p>Сколы сепаратора</p>
<p>Дефекты насадки подшипника на вал</p>	<p>Растрескивание и выкрашивание материала подшипника</p>	 <p>Усталостное выкрашивание</p>
<p>Неправильная установка</p>	<p>Растрескивание и выкрашивание Повреждение при сборке</p>	 <p>Трещина на дорожке качения</p>
<p>Неправильный зазор в подшипнике</p>	<p>Растрескивание и выкрашивание Абразивный износ Фреттинг-коррозия Повреждение при сборке Несоосность колец</p>	 <p>Фреттинг-коррозия посадочной поверхности внешнего кольца шарикоподшипника</p>

<p>Неподходящая или неправильная смазка</p>	<p>Усталостное выкрашивание Заклинивание Задиры поверхности дорожек качения Борозды на поверхности дорожек Перегрев</p>	 <p>Задиры на роликах двухрядного цилиндрического роликоподшипника</p>
<p>Плохое уплотнение (герметизация)</p>	<p>Абразивный износ Воздушная коррозия Задиры Борозды на поверхности дорожек</p>	 <p>Абразивный износ на беговой дорожке внешнего кольца радиально-упорного конического двухрядного роликоподшипника</p>
<p>Высокая вибрация конструкции, ударные нагрузки, неправильная установка и транспортирование</p>	<p>Бринелирование дорожек качения Псевдобринелирование</p>	 <p>Бринелирование</p>
<p>Электрический ток</p>	<p>Электроповреждения</p>	 <p>Электроповреждение внутреннего кольца конического роликоподшипника</p>

Техническое состояние подшипника определяется совместным влиянием большого числа факторов и параметров, характеризующих качество изготовления подшипника и сборки узла, свойства смазочного материала, степень износа, режимы и условия работы и т.п. При этом отдельные факторы могут усиливать или компенсировать степень влияния друг друга, что ограничивает эффективность традиционных подходов к диагностированию, заключающихся, в основном, в оценке лишь некоторых параметров подшипника вне учета их комбинаций и значений других параметров и влияющих факторов.

Методы диагностирования технического состояния подшипников качения можно условно классифицировать на две группы [1]. К первой группе относят методы, связанные с выявлением дискретных составляющих на основных для данного подшипника частотах либо на частотах, возникающих при появлении дефектов его элементов. При этом диагностируется местонахождение и тип повреждения. Ко второй группе относят методы, в основу которых положено предположение о том, что при выходе из строя подшипника происходит разрушение нескольких элементов в результате одновременного развития нескольких дефектов. Поэтому процесс разрушения приводит к изменению широкого ряда гармонических составляющих вибрации и диагностирование технического состояния подшипников качения связано не с выявлением отдельных дефектов, а с определением интегральной оценки деграционных процессов. Такой подход оправдан тем, что при появлении любого дефекта подшипник должен быть немедленно заменен.

В самом общем случае состояние подшипника качения, развитие его дефектов за весь период его службы можно разделить на пять этапов, представленных на рисунке 1, а описание этапов представлено в таблице 2.



Рисунок 1 – Этапы развития дефектов подшипников качения
СКЗ – уровень СКЗ фона; ПИК – пиковые значения амплитуды во времени

Таблица 2 – Описание этапов развития дефектов подшипников качения

Наименование этапа	Характеристика этапа
до «1»	Общее техническое состояние подшипника считается идеальным. На этом, "нулевом" этапе развития дефектов пики вибрации превышают уровень фона незначительно, а сам "фон" вибрации (в данном случае СКЗ виброскорости) значительно меньше нормируемого значения.
от «1» до «2»	В подшипнике появляется и начинает развиваться какой - либо дефект, возникают ударные виброимпульсы, растущие по величине. Энергия импульсов затрачивается на "углубление" дефекта, в результате чего происходит еще большее увеличение энергии импульсов. Уровень фона вибрации по своей величине при этом остается неизменным, т. к. дефект носит локальный характер и на общем состоянии подшипника пока не сказывается. Это этап возникновения дефекта в процессе эксплуатации.
от «2» до «3»	Ударные импульсы в подшипнике достигают по своей энергии практически максимального значения. Количественное значение максимума энергии импульсов определяется типом подшипника и условиями его эксплуатации. Выделяющаяся в подшипнике энергия импульсов уже столь велика, что ее достаточно для расширения зоны локализации дефекта. На данной стадии остановить дальнейшее развитие дефекта практически невозможно, началось его саморазвитие. Величина пиков вибрации на временном вибросигнале уже практически не растет, но и уровень фона тоже меняется мало.
от «3» до «4»	Зона развития дефекта столь велика, что подшипник начинает "терять" свое основное назначение - обеспечивать вращение валов с минимальным трением. Возрастают затраты энергии на вращение ротора и, как результат, увеличивается энергия, выделяющаяся в подшипнике, растет уровень фона. Этап саморазрушения подшипника.
от «4» до «5»	Последний этап развития дефекта, когда он охватил весь подшипник, вернее говоря все то, что осталось от подшипника. Уровень фона вибрации практически сравнялся с уровнем пиков, вернее говоря вся вибрация состоит из пиков. Работы подшипников в этой зоне следует избегать.
«5»	Этап ожидания аварии.

Оценка технического состояния и поиск дефектов подшипников качения может производиться при четырех наиболее распространенным критериям, по следующим диагностическим параметрам:

1. По величине СКЗ виброскорости.

Метод традиционен и основан на измерении среднеквадратичного значения (СКЗ) уровня виброскорости с последующим сравнением полученных данных с нормируемым значением. Метод оценки качества подшипников по уровню виброскорости прост в реализации, и это является

его главным достоинством. Превышения норм вибрации в полосах частот достаточно точно соотносятся с некоторыми дефектами.

Однако данный метод имеет и ряд недостатков:

1) Нормы СКЗ виброскорости определены только для подшипников с внутренним диаметром 10-150мм. Подшипники, выходящие за пределы этого диапазона, не могут быть диагностированы с помощью оценки уровня виброскорости. Некоторые производители стенов входного контроля устанавливают собственные нормы вибрации для данных подшипников, но природу происхождения данных норм они не объясняют. Скорее всего, имеет место обычная экстраполяция данных за пределы диапазона 10-150 мм.

2) Нормы СКЗ виброскорости определены не для всех типов подшипников, что также делает невозможным их диагностирование.

3) Данный метод способен дать результат только на очень поздней стадии развития дефекта.

Для обнаружения дефектов на более ранней стадии их развития, выработки надежного диагноза и прогнозирования остаточного ресурса подшипников одного измерения уровня СКЗ виброскорости недостаточно и требуется применение более совершенных методов. Опыт внедрения и эксплуатации систем входного контроля подшипников показывает, что диагностика только по уровню СКЗ виброскорости достоверно распознает около 3/4 существующих дефектов.

2. Диагностика дефектов подшипников качения по спектрам вибрационных сигналов

Данный метод применяется на практике достаточно часто, хотя и не обладает высокой чувствительностью, но он позволяет выявлять, наряду с диагностикой подшипников, большое количество других дефектов вращающегося оборудования. Этот метод позволяет начинать диагностику дефектов подшипников примерно с середины второго этапа, когда энергия резонансных колебаний вырастет настолько, что будет заметна в общей картине частотного распределения всей мощности вибросигнала.

3. Диагностика дефектов по соотношению пик / фон вибросигнала

Этот метод имеет много различных, примерно одинаковых по эффективности, практических модификаций. Некоторые из них это метод HFD (High Frequency Detection - метод обнаружения высокочастотного сигнала), метод SPM (Shock Pulse Measurement - метод измерения ударных импульсов), метод SE (Spike Energy - метод измерения энергии импульса), а

также еще несколько других, но менее известных методов. Лучшие разновидности данного метода позволяют выявлять дефекты подшипников качения на достаточно ранних стадиях, начиная примерно с конца первого этапа развития. Приборы, реализующие данный метод диагностики дефектов достаточно просты и дешевы.

4. Диагностика дефектов подшипников качения по спектру огибающей вибрационного сигнала

Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых ранних стадиях, начиная примерно с середины первого этапа. Теоретически данный метод диагностики дефектов подшипников качения может базироваться и на анализе акустических сигналов, и на анализе вибрационных сигналов. В первом случае метод называется SEE (Spectral Energy Emitted - анализ излучаемой спектральной энергии), и для своей работы использует специальный датчик акустического излучения. Чаще всего для такой диагностики используют акустические детекторы утечек различных модификаций, работающие в диапазоне частот до 100 кГц. В этом случае измерение акустических параметров производится дистанционно, с некоторого удаления от контролируемого подшипника. Если для измерения вибрационных сигналов используются «обычные контактные датчики вибрации», то применение этого метода не требует использования специального оборудования. Развитием данного метода много занимались российские диагносты, в настоящее время считается уже классическим методом для анализа вибросигналов с подшипников качения.

Причем, метод спектра огибающей, широко применяемый на практике, является достаточно информативным, обладает высокой чувствительностью и помехозащищенностью.

В результате анализа методов оценки технического состояния подшипников качения и диагностики дефектов можно сделать вывод, что постепенное изменение физико-механических свойств материала поверхности качения приводит к изменению геометрических размеров отдельных участков поверхности качения и качества тел вращения, а соответственно и к понижению срока эксплуатации и потере надежности узла и агрегата в целом. Основным способом повышения надежности машин и оборудования, находящихся в эксплуатации, является регулярное проведение диагностических обследований и упредительных ремонтов [2-4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Писаревский, В.М. Использование вибродиагностики для повышения надежности эксплуатации центробежных насосов / В.М. Писаревский, Л.И. Соколинский. – М., 1988.

2. Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. СПб: Изд. центр ГМТУ, 2000.

3. Барков А.В. Диагностирование и прогнозирование состояния подшипников качения по сигналу вибрации // Судостроение. — 1985, № 3, 21—23

4. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. — СПб: Изд. центр СПбГМТУ. — 2004

УДК 621.746.2

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Клубович В.В., академик, д-р техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет, Минск
nil_p@bntu.by

Дикун А.О., преподаватель-стажер кафедры
«Машины и технологии литейного производства» БНТУ

Хрущёв Е.В., старший преподаватель кафедры
«Машиноведение и детали машин» БНТУ

ULTRASONIC PROCESSING OF CRYSTALLIZING ALUMINUM ALLOYS

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Аннотация: Воздействие на легкие сплавы ультразвуковым излучением, так же, как и электромагнитными полями, является одним из наиболее эффективных и перспективных способов обработки расплавов. Данный метод позволяет обеспечить дегазацию, уменьшение среднего размера зерна в структуре сплава, повысить смачиваемость и деагломерацию частиц.

Ключевые слова: Алюминиевый сплав, ультразвуковые колебаний, волновод, балл зерна, кристаллизация, расплав

Abstract: Impact on light alloys with ultrasonic vibrations as well electromagnetic fields, is one of the most effective methods for processing melts. This method allows for degassing, reducing the average grain size in the alloy structure, increasing particles wet ability and deagglomeration.

Keywords: Aluminum alloy, ultrasonic vibrations, sonotrode, grain score, crystallization, melt.

В современном литейном производстве немаловажную роль играет получение слитков из цветных сплавов, являющихся заготовками для изделий, изготовление которых осуществляется путём деформирования: экструзией, волочением, прессованием и т.д.

Наиболее важным требованием к таким слиткам является способность к пластической деформации с сохранением твёрдости и прочности без повышения хрупкости и ломкости. Учитывая, что возможности изменения состава сплава, как правило, ограничены требованиями технической документации к его марке, управление свойствами слитка традиционно осуществляется регулировкой режимов термической обработки. При этом стремятся минимизировать или устранить ликвации и измельчить структуру и получить более высокий балл зерна [1].

Сегодня, помимо традиционных методов модифицирования и термообработки, всё большее внимание уделяется физическим методам воздействия на структуру слитка. Среди этих методов выделяется технология ультразвуковой обработки расплавов, отличающаяся относительно низкой энергоёмкостью, компактностью ультразвуковых излучателей, их невысокой стоимостью, простотой монтажа и эксплуатации, и главное высокой эффективностью [2].

Кроме воздействия на размер зерна, ультразвуковая обработка способствует перемешиванию и дегазации расплава, удалению твёрдых включений, ускоряет процесс растворения легирующих элементов, влияет на снижение пористости в слитках [3].

Для проведения экспериментальных исследований влияния ультразвука на деформируемые алюминиевые сплавы была собрана специальная лабораторная установка (рис. 1).



Рисунок 1 - Экспериментальная установка для ультразвуковой обработки расплава алюминия: *а* - общий вид установки; *б* - тигель с расплавом в процессе обработки.

В состав установки входит магнестрикционный излучатель в водоохлаждаемом кожухе, штатив с теплоотражающей обмоткой, чаша для установки тигля и генератор ультразвуковых колебаний. Номинальная мощность установки составляла 1 кВт. Передача колебаний в расплав осуществлялась погружным способом, через волновод из титанового сплава ВТ 18, покрытого нитридом бора. Исследование проводилось на сплаве АW-6060 (EN 573-3-2009).

Образцы массой 180 г загружались в шамотные тигли покрытые нитридом бора. Покрытие нитридом бора снижает смачиваемость стенок тигля расплавом, облегчает извлечение образца после кристаллизации и охлаждения металла, а также увеличивает стойкость тигля.

Расплавление образцов осуществлялось в лабораторной муфельной печи типа СНОЛ с регулируемым температурным режимом.

Для эксперимента было изготовлено 2 волновода из титанового сплава ВТ18 различной длины 127,8 и 116,9 мм, обеспечивающих обработку при 21 000 и 21 400 Гц соответственно. Титановый сплав ВТ18 был выбран в качестве материала волноводов, так как титан имеет высокую температуру плавления, практически не растворяется в алюминии, доступен и имеет низкую теплопроводность, что дополнительно защищает магнестрикционный преобразователь от перегрева.

Образцы обрабатывались при 4 уровнях мощности ультразвукового генератора для каждой из частот, что в сумме позволило провести исследование при 8 различных амплитудах ультразвуковых колебаний. Замер амплитуды ультразвуковых волн производился при помощи виброметра

"БМ1-1". В общей сложности было изготовлено 27 образцов, по 3 на каждый из режимов ультразвуковой обработки и 3, которые кристаллизовались без ультразвукового воздействия.

Обработка (рисунок 2) начиналась при температуре расплава 700°C, и продолжалось вплоть до полной кристаллизации слитка, что занимало 4,5 мин.



Рисунок 2 – Образец в процессе УЗ обработки.

Для металлографического исследования образцы разрезались пополам и изготавливался шлиф. Схема расположения участков, на которых оценивался балл зерна представлена на рисунке 3.

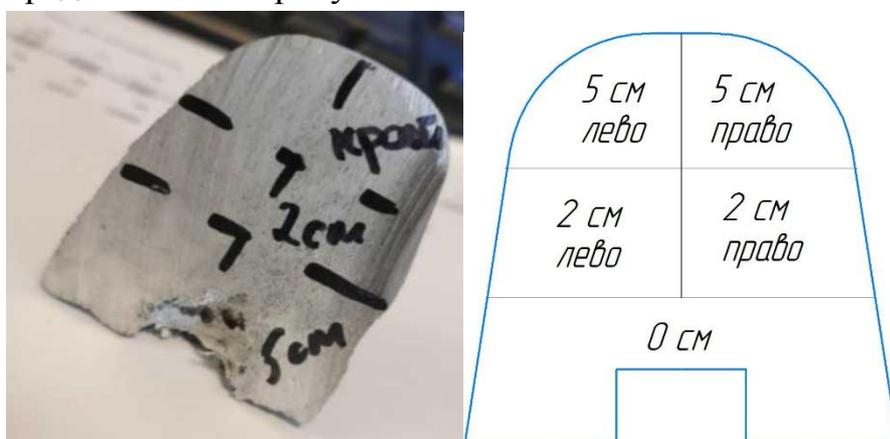


Рисунок 3 - Схема расположения контрольных участков для металлографического исследования полученных образцов.

В таблице 1 представлены результаты анализа структуры - усреднённые данные определения балла зерна, обработанных и необработанных ультразвуком образцов.

Таблица 1 – Результаты металлографического анализа

Частота, Гц	Напряжени е, В	Амплитуда , мкм	Балл зерна			Среднее значение
			Образец 1	Образец 2	Образец 3	
Без обработки			0,49	1,66	1,77	1,31
21000	0,7	9,2	1,44	2,66	2,38	2,16
	1,35	15,4	2,88	2,79	2,9	2,86
	2	21,6	2,53	2,73	2,65	2,64
	2,6	24,4	3,23	3,79	3,27	3,43
21400	0,7	7	2,04	1,68	1,78	1,83
	1,35	12,2	1,61	3,04	3,04	2,56
	2	18	2,18	3,1	2,84	2,71
	2,6	22	3,38	3,73	3,86	3,66

Определение балла зерна производилось по методу подсчёта зёрен ГОСТ 5639–82, который заключается в определении количества зерен, приходящегося на единицу поверхности шлифа (1 мм²), и расчете средней площади зерна и среднего диаметра зерна [4].

Число зерен подсчитывают непосредственно на матовом стекле микроскопа или по микрофотографии в пределах площади равной 0,5 мм². Подсчет зерен проводят не менее чем в трех характерных местах шлифа и по полученным результатам рассчитывают среднее арифметическое значение.

Для определения балла зерна подготовленные образцы анодировали с помощью прибора для электролитического травления. Для анодирования использовали реактив Баркера (2% р-р HBF₄). Анализ производился на панорамных изображениях при увеличении x100. На рисунке 4 представлено изображение шлифа, полученное на металлографическом микроскопе.

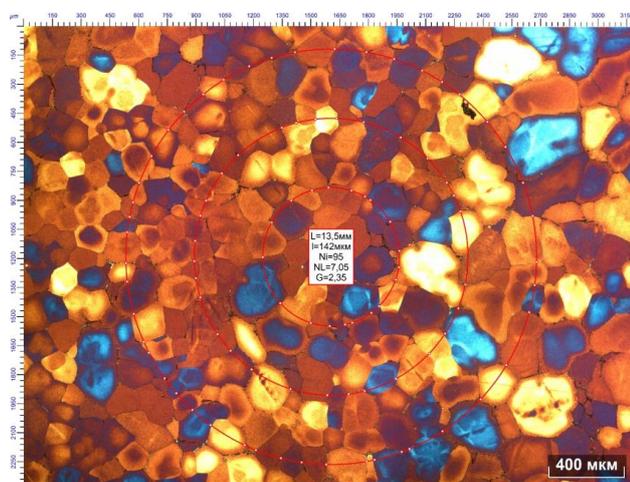


Рисунок 4 – Микрошлиф, полученный на образце № 22

Для оценки наличия и распространения интерметаллидов α -AlFeSi и β -AlFeSi определялись: степень фрагментации фаз или же соотношение суммарной площади поверхности раздела железосодержащих фаз к их суммарному объёму с учётом коэффициентов их формы, а так же соотношение количества (объёма) железосодержащих фаз к общему числу фаз (объёму); степень трансформации фаз или же величину характеризующую отношение α -AlFeSi к β -AlFeSi в общем объёме, а так же в процентном соотношении к общему количеству железосодержащих фаз [5].

Анализ изображений производился при помощи специализированного программного обеспечения для цифрового металлографического микроскопа.

Полученная зависимость балла зерна алюминиевых образцов от амплитуды ультразвуковых колебаний представлена в виде графика на рисунке 5.

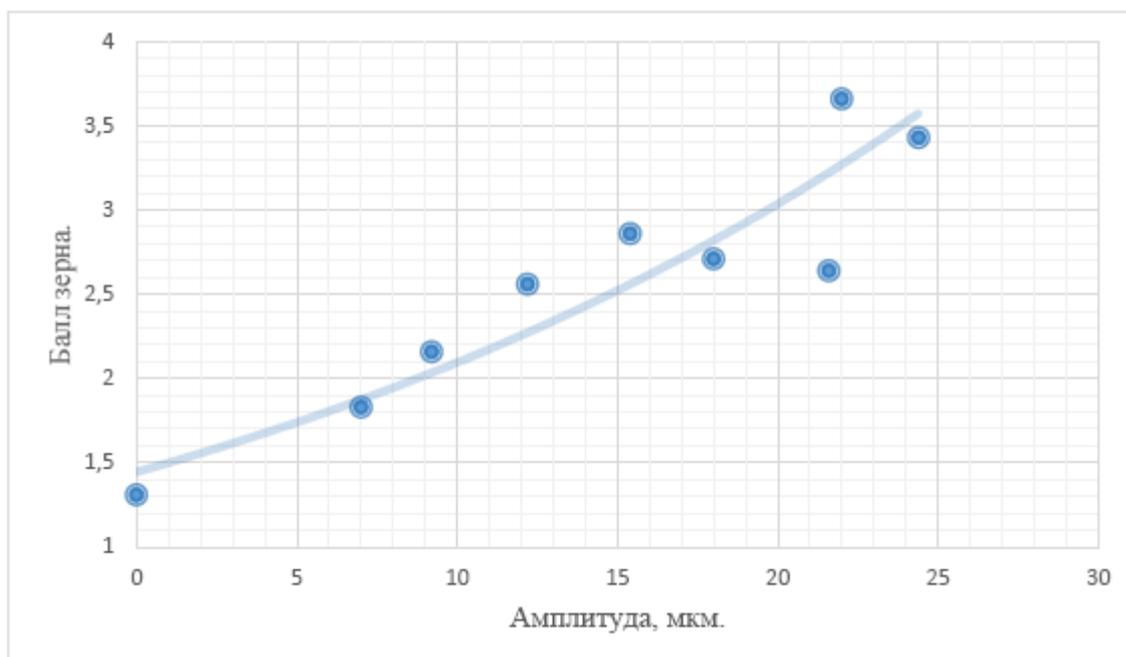


Рисунок 5 - Зависимость балла зерна от амплитуды ультразвуковых колебаний .

На представленном интервале амплитуд полученная зависимость балла зерна от амплитуды ультразвуковых колебаний наиболее близка к экспоненциальной зависимости.

Полученные результаты свидетельствуют о стабильном снижении размера зерна во всех зонах образца (и в непосредственной близости от излучателя - в зоне «5», и в крайних зонах - «край», см. рис. 3), подвергавшегося в процессе кристаллизации ультразвуковой обработке. Причём балл зерна тем выше, чем больше амплитуда ультразвуковых колебаний.

В процессе исследования было замечено также значительное снижение пористости обработанных образцов, что подтверждает отмеченные в литературе преимущества ультразвуковой обработки алюминиевых расплавов [3].

Результаты исследований подтвердили высокий потенциал ультразвуковой обработки с точки зрения улучшения структуры и свойств алюминиевых сплавов и позволяют сделать следующие выводы:

– обработка расплава в процессе кристаллизации приводит к значительному измельчению структуры формирующейся отливки (балл зерна в отливке увеличился более чем в 2,5 раза), что однозначно способствовало повышению её механических свойств;

– замечено увеличение степени фрагментации фаз по объёму и по количеству, что говорит о снижении линейных размеров и дроблении (увеличении общего числа включений) железосодержащих фаз;

– установлено значительное влияние ультразвука на размеры пор в исследованных образцах: средний размер пор составил около 10 мкм (при максимальных амплитудах), что даёт разницу примерно в 5 раз по отношению к необработанным образцам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Остерман, Ф. Технология применения алюминия. - М.: НП "АПРАЛ", 2019. - 872 с.
2. Grandfield, J. Direct-Chill Casting of Light Alloys / J. Grandfield [идр.] - John Wiley & Sons, 2013. - 424 с.
3. Sillekens, W.H. The ExoMet Project: EU/ESA research on high performance light metal alloys and nanocomposites / W.H. Sillekens [идр.] - Metal. Mater. Trans. A: Phys. Metal. Mater. Sci, 2014. - No 8. 3349-3361 с.
4. Палеева, С. Контроль величины зерна металлических материалов / С.Я. Палеева – Екатеринбург, 2006. – 11 с.
5. Kumar, S. Evolution of Fe Bearing Intermetallics During DC Casting and Homogenization of an Al-Mg-Si Al Alloy / S. Kumar [идр.]. – Metallurgical and Materials Transactions A, 2016 – 3000–3014 с.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Протасеня О. Н. – к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, Минск
e-mail: mparts@bntu.by

KINEMATIC STUDIES OF PLANETARY MECHANISMS

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Аннотация: Рассмотрен концептуальный подход к цифровым и буквенным обозначениям в планетарных механизмах. Предложены универсальные формулы определения передаточных отношений различных схем планетарных механизмов: классических планетарных, планетарно-кривошипных, планетарно-волновых.

Ключевые слова: планетарный механизм, буквенные и цифровые обозначения в планетарных механизмах, передаточное отношение.

Abstract: A conceptual approach to numerical and letter designations in planetary mechanisms is considered. Universal formulas for calculating the gear ratios of various schemes of planetary mechanisms are proposed: classical planetary, planetary-crank, planetary-wave.

Key words: planetary mechanism, alphabetic and numeric designations in planetary mechanisms, gear ratio.

Для обозначений звеньев планетарных механизмов используют в настоящее время следующие варианты:

- цифровая последовательность;
- буквенные обозначения.

Пример цифрового обозначения в планетарных механизмах представлен на рис. 1.

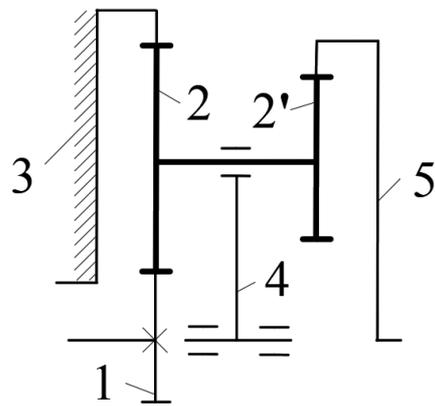


Рис. 1. Схема четырехзвенного планетарного механизма

Данная методика обозначений является нерациональной и не эффективной, так как через некоторое время вряд ли и студент и преподаватель вспомнят какой цифрой обозначается то или иное звено планетарного механизма. Необходимо исключить данное **цифровое последовательное** обозначение звеньев планетарного механизма из лекционного материала и научных исследований. Но, оставить некоторые цифры, созвучные с обозначениями в классических механических передачах:

- 1-ведущее звено;
- 2- ведомое звено;

Эти цифры имеют **физический** смысл, а не некоторое хаотичное перечисление элементов, более того, эти цифры 1 и 2 используются в формулах прочностных расчетов (рис. 2).

$$a_w = K_a(u \pm 1)^3 \sqrt{\frac{T_2 K_{H\beta}}{(u[\sigma_H])^2 \Psi_{ba}}}, \parallel$$

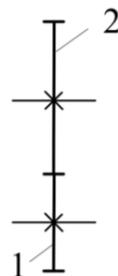


Рис. 2. К вопросу о числовых обозначениях в планетарных механизмах

Кроме того, в планетарных механизмах добавляется цифра **3**, физический смысл которой -остановленное звено (заторможенное). Также, необходимо

указывать стрелками направление потока мощности от источника энергии к исполнительному органу, независимо от того редуктором или мультипликатором является исследуемый планетарный механизм (рис. 3).

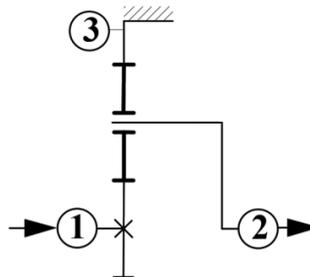


Рис. 3. К вопросу о числовых обозначениях в планетарных механизмах

Перейдем к буквенным обозначениям. Здесь также просматривается некоторая непоследовательность в научной и методической литературе (рис. 4).

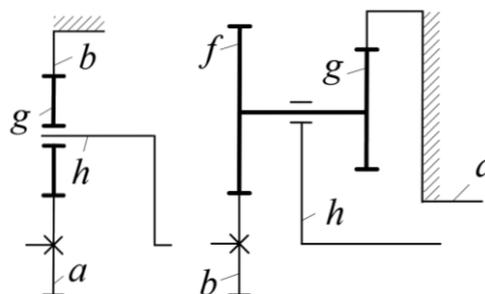


Рис. 4. Буквенные обозначения в планетарных механизмах

Некоторая ”вольность” в буквенном обозначении приводит к расхождениям между расчетными формулами и кинематическими схемами, так как для каждой конкретной схемы планетарного механизма с индивидуальными обозначениями необходимо всегда корректировать расчетные формулы кинематического и силового расчета, что создает неизбежную путаницу в исследованиях.

Предлагается единая система буквенного обозначения, когда каждое звено планетарного механизма имеет свое ”имя” и оно неизменно(рис.5).

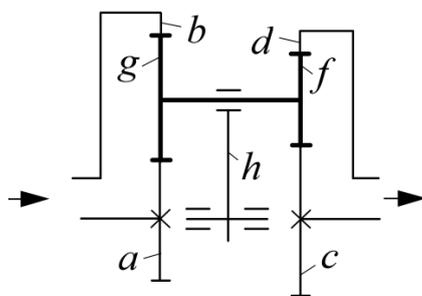


Рис. 5. Схема условного пятизвенного планетарного механизма

Создав единый подход к цифровым и буквенным обозначениям, схемы планетарных механизмов становятся осмысленными и информативными. Рассмотрим единый подход к расчету передаточных отношений планетарных передач как к **базовому расчету**, так как данный расчет влияет на точность последующих расчетов: силового, мощностного, к. п. д.

Передаточное отношение планетарного механизма $i_{пл}$ зависит от статуса основного звена **водила**– h (остановленное, ведущее или ведомое

Передаточное отношение планетарного механизма $i_{пл}$ при **остановленном водиле** (рис. 6) определяется как для классической передачи с неподвижными осями:

$$i_{пл} = i_{12}^3 = i_{12}^h = \left(\pm \frac{z_2}{z_1} \right)$$

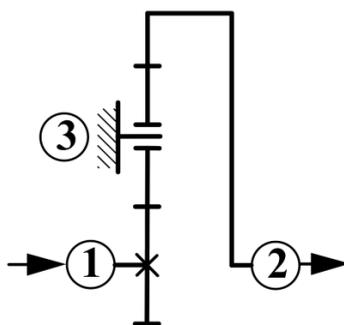


Рис. 6. Схема планетарного механизма с остановленным водилом

Передаточное отношение планетарного механизма $i_{пл}$ при **ведомом водиле** (рис. 7) определяется с учетом формулы Виллиса:

$$i_{пл} = i_{12}^3 = i_{1h}^3 = 1 - i_{13}^h = 1 - \left(\pm \frac{z_3}{z_1} \right)$$

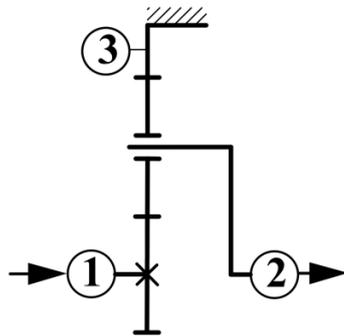


Рис. 7. . Схема планетарного механизма с ведомым водилом

Передаточное отношение планетарного механизма $i_{пл}$ при **ведущем** водиле (рис. 8) определяется с учетом принципа реверса:

$$i_{пл} = i_{12}^3 = i_{h2}^3 = \frac{1}{i_{2h}^3} = \frac{1}{1 - i_{23}^h} = \frac{1}{1 - \left(\pm \frac{z_3}{z_2} \right)}$$

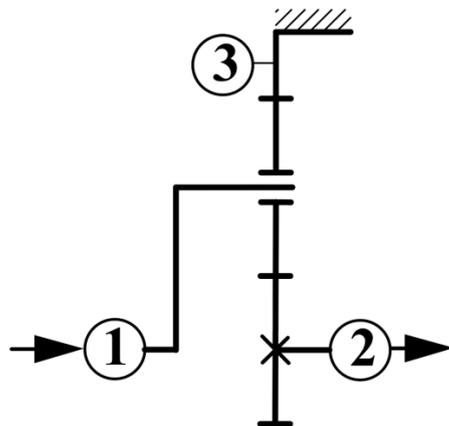


Рис. 8. . Схема планетарного механизма с ведущим водилом

Получаем систему уравнений для любой функциональной конфигурации планетарных механизмов

$$i_{\text{пл}} = f(i^h) = i_{12}^3 = \begin{cases} i_{12}^h = \left(\pm \frac{z_2}{z_1} \right); \\ i_{1h}^3 = 1 - i_{13}^h = 1 - \left(\pm \frac{z_3}{z_1} \right); \\ i_{h2}^3 = \frac{1}{i_{2h}^3} = \frac{1}{1 - i_{23}^h} = \frac{1}{1 - \left(\pm \frac{z_3}{z_2} \right)}. \end{cases}$$

В системе уравнений приняты следующие обозначения: индекс **1**—ведущее звено; индекс **2**—ведомое звено; индекс **3**—остановленное звено; z_1, z_2, z_3 —числа зубьев соответственно ведущего, ведомого и остановленного зубчатых колес.

Следовательно, цифровые и буквенные обозначения органически связаны между собой и позволяют корректно определять передаточные отношения планетарных механизмов.

Рассмотрим примеры расчета.

Пример 1. Определить передаточное отношение планетарного механизма (рис. 9).

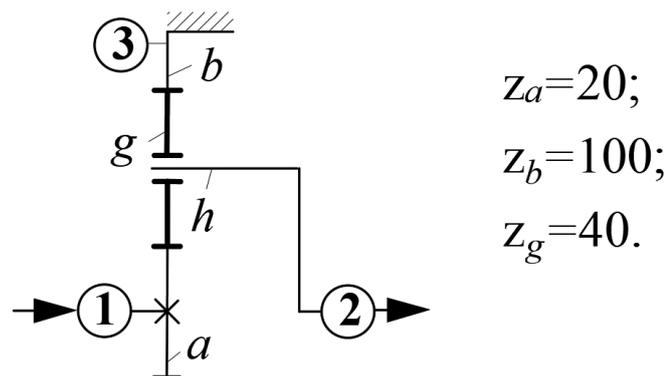


Рис. 9. Схема планетарного механизма с однозвеновым сателлитом

Передаточное отношение:

$$i_{\text{пл}} = i_{12}^3 = i_{ah}^b = 1 - i_{ab}^h = 1 - \left(-\frac{z_b}{z_a} \right) = 1 + \frac{z_b}{z_a} = 1 + \frac{100}{20} = 6.$$

Пример 2. Определить передаточное отношение планетарного механизма (рис. 10).

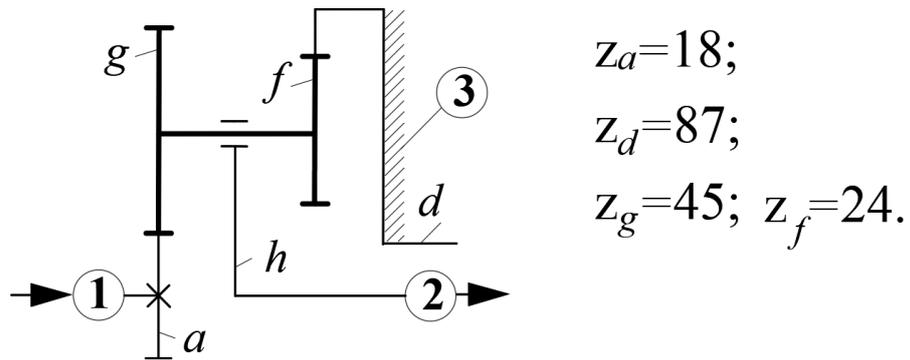


Рис. 10. Схема трехзвенного планетарного механизма смешанного зацепления

Передаточное отношение:

$$i_{12}^3 = i_{ah}^d = 1 - i_{ad}^h = 1 - \left(-\frac{z_d \cdot z_g}{z_f \cdot z_a} \right) = 1 + \frac{z_d \cdot z_g}{z_f \cdot z_a} = 1 + \frac{87 \cdot 45}{24 \cdot 18} = 10,06.$$

Пример 3. Определить передаточное отношение планетарно-кривошипного механизма с двухвенцовым сателлитом (рис. 11).

$$z_b = 42; \quad z_d = 35; \quad z_g = 40; \quad z_f = 33.$$

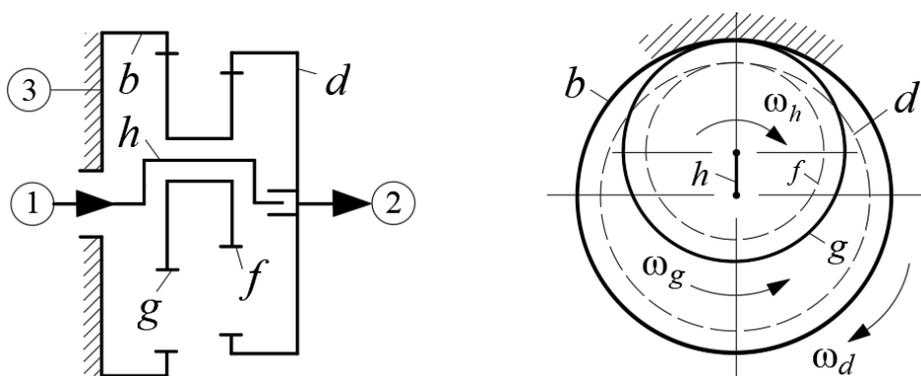


Рис. 11. Планетарно-кривошипный механизм с двухвенцовым сателлитом и ведущим кривошипом 1

Передаточное отношение:

$$i_{12}^3 = i_{hd}^b = \frac{1}{i_{dh}^b} = \frac{1}{1 - i_{db}^h} = \frac{1}{1 - \left(+ \frac{z_b \cdot z_f}{z_g \cdot z_d} \right)} = \frac{1}{1 - \frac{42 \cdot 33}{40 \cdot 35}} = 100.$$

Пример 4. Определить передаточное отношение планетарно-волнового механизма (рис. 12).

$$z_g = 160; \quad z_b = 162.$$

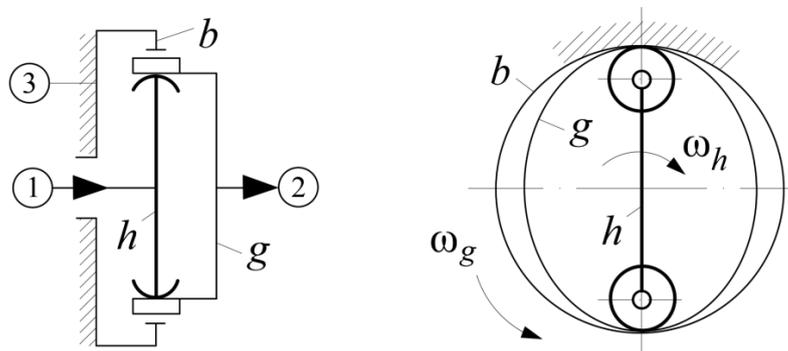


Рис. 12. Планетарно-волновой механизм с ведомым гибким колесом g и ведущим генератором волн h

Передаточное отношение:

$$\begin{aligned} i_{12}^3 = i_{hg}^b &= \frac{1}{i_{gh}^b} = \frac{1}{1 - i_{gb}^h} = \frac{1}{1 - \left(+ \frac{z_b}{z_g} \right)} = \frac{1}{\frac{z_g - z_b}{z_g}} = \\ &= -\frac{z_g}{z_b - z_g} = -\frac{160}{162 - 160} = -80. \end{aligned}$$

Пример 5. Выполнить кинематический расчет (рис. 13) планетарно-кривошипного механизма с цевочным зацеплением:

$$z_{g1} = z_{g2} = 21; \quad z_b = 22.$$

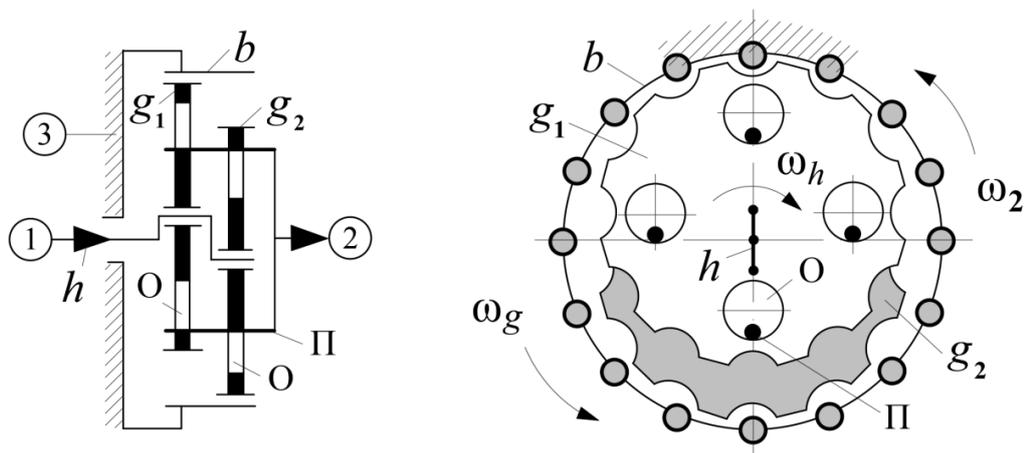


Рис. 13. Планетарно-кривошипный механизм цветочного зацепления с двумя оппозитными сателлитами (звездочками)

Передача крутящего момента от сателлитов (звездочек g_1, g_2) к выходному валу 2 производится посредством втулочных пальцев Π , жестко связанных с выходным валом и контактирующих с отверстиями O в сателлитах. Следовательно, и направления вращения и частоты вращения звездочек g_1, g_2 и выходного вала 2 будут равны.

Передаточное отношение:

$$\begin{aligned}
 i_{12}^3 = i_{hg}^{b} &= \frac{1}{i_{gh}^{b}} = \frac{1}{1 - i_{gb}^h} = \frac{1}{1 - \left(+ \frac{z_b}{z_g} \right)} = \frac{1}{\frac{z_g - z_b}{z_g}} = \frac{z_g}{z_g - z_b} = \\
 &= -\frac{z_g}{z_b - z_g} = -z_g = -21.
 \end{aligned}$$

Выводы:

Предложенный концептуальный подход к цифровым и буквенным обозначениям в планетарных механизмах, и к созданию универсальных формул передаточных отношений, позволяет отойти от безликих кинематических схем и абстрактных формул, пугающих своей неопределенностью, и создать для студентов и молодых ученых интуитивно понятный алгоритм кинематического анализа существующих и синтеза новых схем планетарных механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Планетарные передачи. Справочник/Под ред. В.Н. Кудрявцева и Ю.Н. Кирдяшева, Л.: Машиностроение, 1977, 536 с.
2. Детали машин: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей: в 3 ч. / А.Т. Скойбеда (и др.); под общ. ред. А.Т. Скойбеды. -Минск: БНТУ, 2019.-Ч.1 :Механические передачи.-2019.-215с. ISBN 978-985-583-168-7(Ч.1).
3. Кинематическая теория планетарных механизмов / А.Т. Скойбеда. О.Н. Протасеня, А.А. Калина // Инновации в машиностроении: 100-летний опыт в науке, производстве, образовании [Электронный ресурс]: сборник материалов 18-й МНТК «Наука – образованию, производству. экономике» / БНТУ, Машиностроительный факультет; редкол.: А.А. Калина и [и др.] – Минск: БНТУ, 2021
4. Детали машин: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей: в 3 ч. / А.Т. Скойбеда (и др.); -Минск: БНТУ, 2022.-Ч.2 :Соединения деталей машин.-2022.-179с. ISBN 978-985-583-349-0(Ч.2).

УДК 621.833.6

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАМКНУТЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ

Протасеня О. Н. – к.т.н., доцент,
Долгий С. А. – магистрант

Белорусский национальный технический университет, Минск
e-mail: mparts@bntu.by

Аннотация: Рассмотрены различные кинематические схемы планетарных механизмов. Предложен алгоритм исследований замкнутых дифференциалов, широко используемых в автоматических планетарных коробках передач, распределителях крутящих моментов, редукторах, мультипликаторах, бесступенчатых передачах и др.

Ключевые слова: планетарный механизм, замкнутый дифференциал, передаточное отношение.

Abstract: Various kinematic schemes of planetary mechanisms are considered. An algorithm for the study of closed differentials widely used in automatic planetary gearboxes, torque distributors, gearboxes, multipliers, continuously variable gears, etc. is proposed.

Key words: planetary gear, closed differential, gear ratio.

Рассмотрим различные типы планетарных механизмов:

Схемы планетарных механизмов с одновенцовым сателлитом

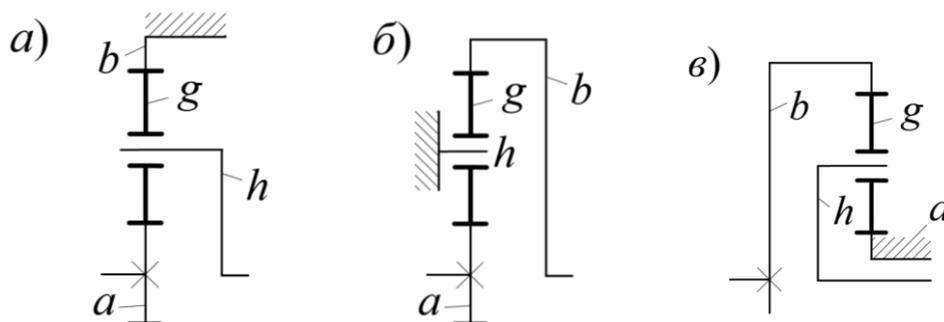


Рис. 1. Схемы планетарных механизмов с одновенцовым сателлитом:

- а) механизм с остановленным эпициклическим колесом;
- б) механизм с остановленным водилом;
- в) механизм с остановленным солнечным колесом.

Схемы планетарных механизмов с двухвенцовым классическим сателлитом

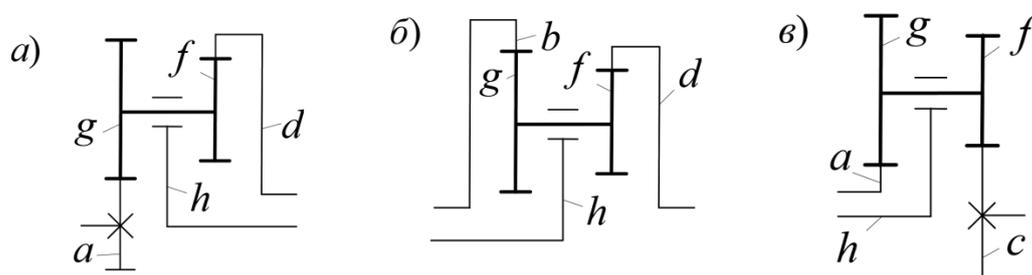


Рис. 2. Схемы планетарных механизмов с двухвенцовым классическим сателлитом:

- а) механизм смешанного зацепления;
- б) механизм внутреннего зацепления;
- в) механизм наружного зацепления.

Механизмы с реверсным сателлитом

Реверсный сателлит состоит из двух сцепляющихся друг с другом зубчатых колес, что позволяет по сравнению с классическим сателлитом, при прочих равных условиях, изменять (реверсировать) направление вращения выходного звена на противоположное.

На рис. 3 представлена базовая кинематическая схема трехзвенного планетарного механизма с реверсным сателлитом, состоящим из двух сцепляющихся зубчатых колес $g-f$.

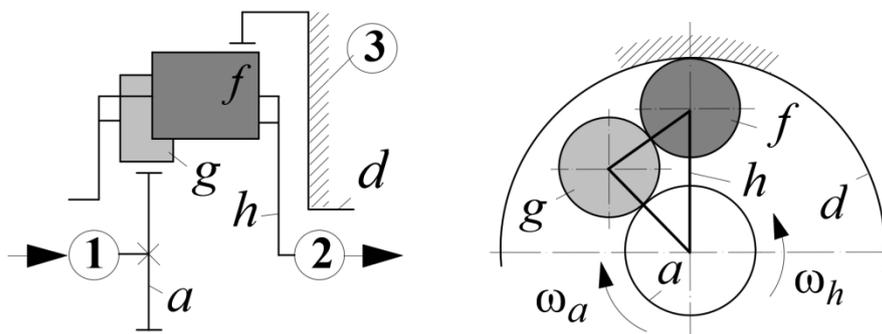


Рис. 3. Схема трехзвенного планетарного механизма с реверсным сателлитом

Трехзвенные механизмы с коническим сателлитом

На рис. 4 представлены кинематические схемы трехзвенных планетарных механизмов с одновенцовым коническим сателлитом g .

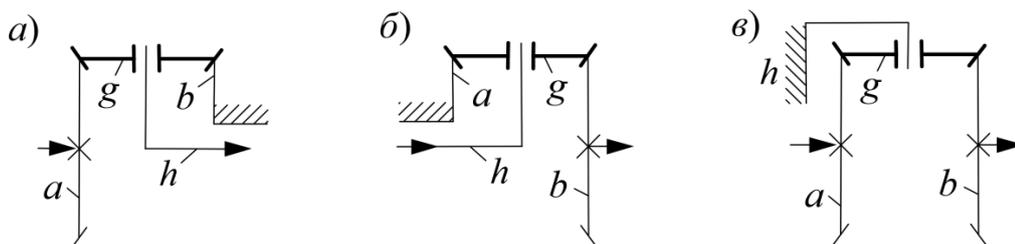


Рис. 4. Схемы планетарных механизмов с одновенцовым коническим сателлитом:
а) редуктор; б) мультипликатор; в) реверс

На рис. 5 представлены базовые кинематические схемы трехзвенных планетарных механизмов с двухвенцовым коническим сателлитом $g-f$.

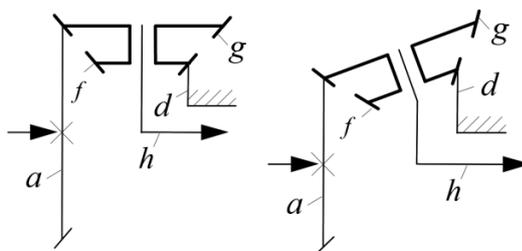


Рис. 5. Схемы планетарных механизмов с двухвенцовым коническим сателлитом

Четырехзвенные планетарные механизмы

На рис. 6. представлены базовые кинематические схемы четырехзвенных планетарных механизмов с двухвенцовым сателлитом $g-f$.

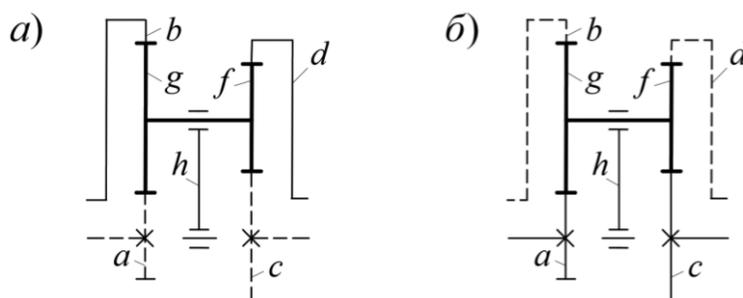


Рис. 6. Схемы четырехзвенных планетарных механизмов с двухвенцовым сателлитом: а) механизм с двумя эпициклическими колесами b и d и одним солнечным колесом a или c ; б) механизм с двумя солнечными колесами a и c и одним эпициклическим колесом b или d .

Бипланетарные трехзвенные механизмы

Бипланетарный механизм состоит из основного планетарного механизма и дополнительного планетарного механизма, интегрированного в основной сателлитный блок с целью увеличения кинематического эффекта передачи.

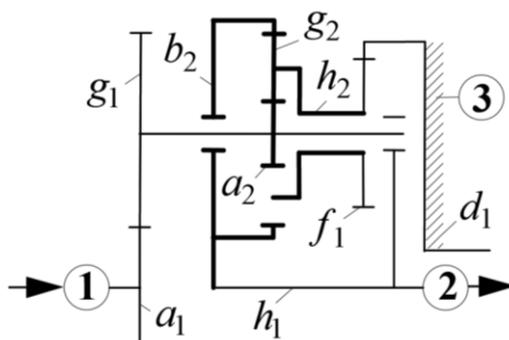


Рис. 7. Схема трехзвенного бипланетарного механизма смешанного зацепления

Планетарно-кривошипные механизмы

Планетарно-кривошипные механизмы разделяются на:

- механизмы с эвольвентным зацеплением;
- механизмы с цевочным зацеплением (планетарно-цевочный или циклоидальный механизм);
- планетарно-волновые зубчатые механизмы.

Кинематика планетарно-кривошипных механизмов основана на кинематической теории классических планетарных механизмов.

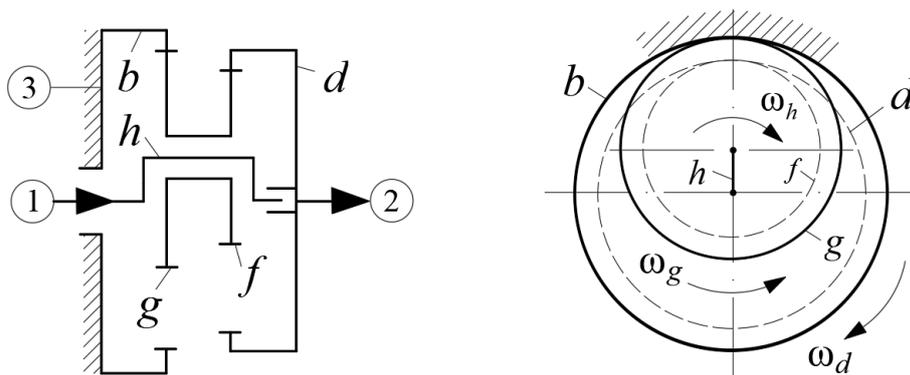


Рис. 8. Трехзвенный планетарно-кривошипный механизм эвольвентного зацепления с двухзвенцовым сателлитом

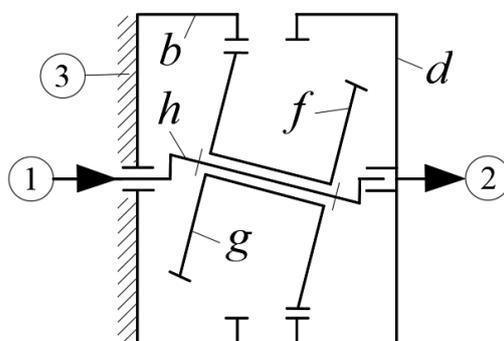


Рис. 9. Прецессионный механизм с двухзвенцовым сателлитом

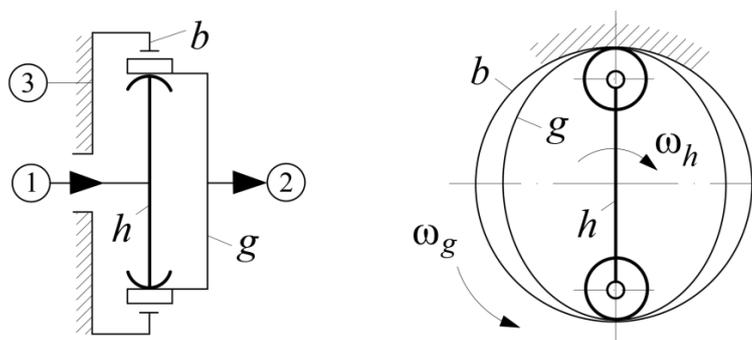


Рис. 10. Волновой механизм с ведомым гибким колесом *g*

Замкнутые дифференциалы

Замкнутые дифференциалы находятся на вершине классификационной цепочки, так как обладают наибольшей сложностью в теоретическом и конструктивном аспектах.

На современных транспортных машинах широко применяют двухпоточные передачи. Передача энергии от входного вала к выходному двумя потоками с различной степенью трансформации момента в каждом из них позволяет создавать более совершенные технические устройства. Возможность использования двухпоточных передач основана на известном свойстве дифференциальных механизмов алгебраически суммировать на одном из основных звеньев не связанные между собой вращения двух других основных звеньев.

Двухпоточная передача состоит из дифференциального механизма и замыкающей передачи, кинематически связывающей два основных звена дифференциального механизма. Такие передачи называются замкнутыми дифференциальными механизмами или **замкнутыми дифференциалами**. Данные передачи используются в многочисленных современных технических устройствах (автоматические планетарные коробки передач, распределители крутящих моментов, редукторы, мультипликаторы, бесступенчатые передачи, главные судовые приводы и др.).

В качестве дифференциального механизма и замыкающей передачи в основном применяется трехзвенный планетарный механизм с одновенцовыми сателлитами, обладающий конструктивной простотой и минимальными массогабаритными параметрами.

Возможно использования различного (два, три, четыре и т. д.) количества дифференциальных механизмов D в составе замкнутого дифференциала, но их применение должно быть обосновано экономической целесообразностью.

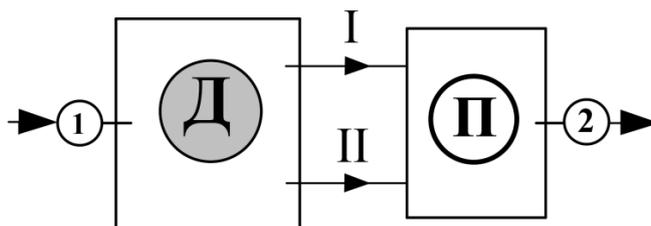


Рис. 11. Структурная схема замкнутого дифференциала

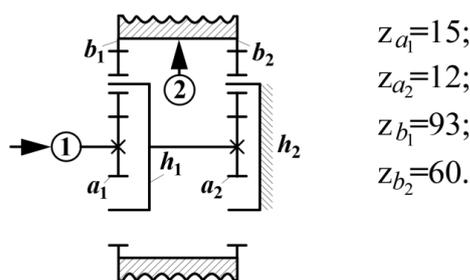


Рис. 12. Схема редуктора механизма подъема главной лебедки экскаватора Э-6516

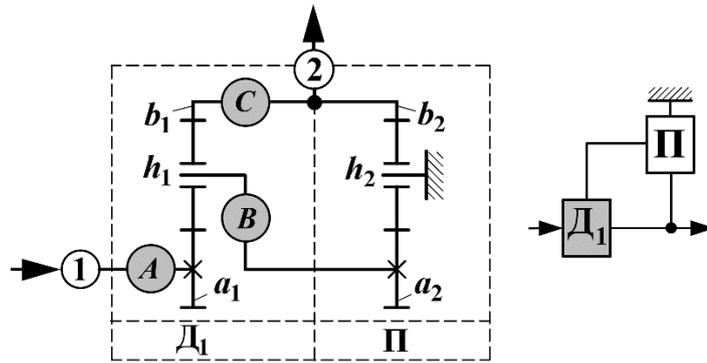


Рис. 13. Замкнутый дифференциал Д1-П с одним дифференциальным механизмом Д1 на входе передачи (механизма подъема главной лебедки экскаватора Э-6516)

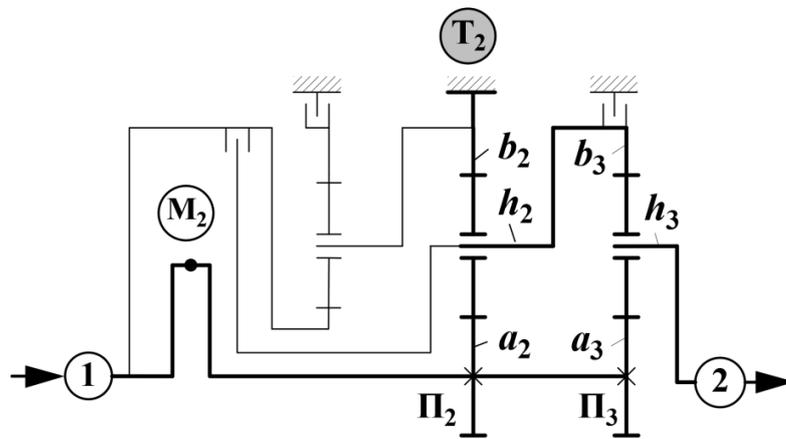


Рис. 14. Кинематическая схема работы ПКП Allison WT-3060 на втором скоростном режиме: включены муфты M_2 , T_2

На рис. 15 представлена расчетная схема ПКП на втором скоростном режиме.

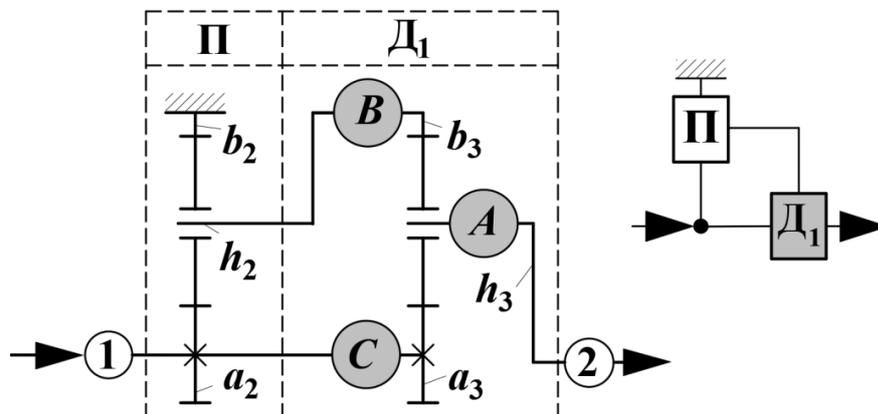


Рис. 15. Замкнутый дифференциал П-Д1 (второй скоростной режим)

Исследованиями замкнутых дифференциалов занимались в 50-х, 60-х годах два ученых: Шабанов К. Д. (МВТУ им. Н. Э. Баумана) и Кирдяшев Ю. Н. (Ленинградский институт водного транспорта).

Их теоретические расчеты достаточно сложны и громоздки. Отсутствует общая классификация замкнутых дифференциалов, нет алгоритма образования кинематических схем.

Также сложны и громоздки расчеты передаточных отношений, мощностного баланса, циркуляции мощности, что создает дополнительные проблемы для изучения замкнутых дифференциалов в учебном процессе.

Учитывая актуальность применения замкнутых дифференциалов в многочисленных приводах машин и механизмов, созрела необходимость разработки комплексного подхода к исследованию данных передач.

ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

1. Создание классификации замкнутых дифференциалов.
2. Разработка методики образования кинематических схем замкнутых дифференциалов.
3. Создание достаточно простой в понимании кинематической теории расчета передаточных отношений, силовых зависимостей, мощностного баланса и к. п. д. замкнутых дифференциалов для возможности применения ее как в учебном процессе, так и для научных исследований современных трансмиссий мобильных машин.
4. Выработка критериев выявления схем с циркуляцией мощности и путей оптимизации данных схем.
5. Создание математической модели различных типов замкнутых дифференциалов для оперативного выбора на стадии проектирования оптимальных и рациональных кинематических схем с учетом массогабаритных и компоновочных и параметров динамической нагруженности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Планетарные передачи. Справочник/Под ред. В.Н. Кудрявцева и Ю.Н. Кирдяшева, Л.: Машиностроение, 1977, 536 с.
2. Детали машин: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей: в 3 ч. / А.Т. Скойбеда (и др.); под общ. ред. А.Т. Скойбеда. -Минск: БНТУ, 2019.-Ч.1 :Механические передачи.-2019.-215с. ISBN 978-985-583-168-7(Ч.1).

3. Кинематическая теория планетарных механизмов / А.Т. Скойбеда. О.Н. Протасеня, А.А. Калина // Инновации в машиностроении: 100-летний опыт в науке, производстве, образовании [Электронный ресурс]: сборник материалов 18-й МНТК «Наука – образованию, производству. экономике» / БНТУ, Машиностроительный факультет; редкол.: А.А. Калина и [и др.] – Минск: БНТУ, 2021

4. Детали машин: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей: в 3 ч. / А.Т. Скойбеда (и др.); -Минск: БНТУ, 2019.-Ч.2 :Соединения деталей машин.-2022.-179с. ISBN 978-985-583-349-0(Ч.2).

5. Шабанов К. Д. Двухпоточные передачи транспортных машин. М., Машгиз, 1962.

6.Кирдяшев Ю. Н. Замкнутые передачи дифференциального типа. Л., «Машиностроение», 1969, 176 с.

УДК 331

**ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА И
РАЗРАБОТКИ ПОСОБИЙ ПО ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИМ
ДИСЦИПЛИНАМ ДЛЯ ИНОСТРАННЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Швец И. В.

заместитель декана машиностроительного факультета
Белорусский национальный технический университет, Минск
mparts@bntu.by

**FEATURES OF ADAPTATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS
AND DEVELOPMENT OF MANUALS IN GENERAL TECHNICAL
DISCIPLINES FOR FOREIGN STUDENTS**

Аннотация

В связи с развитием экспорта образовательных услуг в Беларуси все больше иностранных студентов получают образование в Белорусском национальном техническом университете. Причем имеют место различные формы образовательных программ. Обучение ведется на русском и английском языках. Некоторые поступают на первый курс и добавляются в группы к белорусским студентам, те, кто обучаются по совместным образовательным программам, приезжают на третий курс и, в зависимости от программы, добавляются в уже имеющиеся группы или обучаются в отдельных.

В связи с тем, что дисциплины, читаемые кафедрой «Машиноведение и детали машин» относятся к общетехническим, то практически все иностранные студенты, обучающиеся на технических специальностях в

нашем вузе, изучают их на нашей кафедре. Поэтому методическое обеспечение учебного процесса, как и сам образовательный процесс, пришлось адаптировать для лучшего понимания иностранцами, так как знание языка, на котором преподается дисциплина, оставляет желать лучшего.

Ключевые слова: совместные программы, иностранные студенты, методика обучения, пособия, детали машин

Abstract

In connection with the development of export of educational services in Belarus, more and more foreign students receive education at the Belarusian National Technical University. There are various forms of educational programmes. Education is conducted in Russian and English. Some students enter the first year and are added to groups with Belarusian students, those who study under joint educational programmes come to the third year and, depending on the programme, are added to existing groups or study in separate groups.

Due to the fact that the disciplines read by the Department of "Mechanical Engineering and Machine Parts" belong to the general technical disciplines, practically all foreign students studying at technical specialities in our university study them at our department. Therefore, the methodological support of the educational process, as well as the educational process itself, had to be adapted for better understanding by foreigners, since the knowledge of the language in which the discipline is taught leaves much to be desired.

Key words: joint programmes, foreign students, teaching methods, manuals, machine parts

В 2019 году на машиностроительный факультет на 3 курс пришли студенты из Шри-Ланки, обучающиеся на английском языке, с 2021 года стали приезжать иностранные студенты из Китая, обучающиеся по совместной образовательной программе 2+2 по специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения». Т.е. два года они обучались в Хефэйском университете, изучали русский язык, а на третий курс приехали в Белорусский национальный технический университет для продолжения обучения и получения диплома бакалавра.

В 2023 году состоялся первый выпуск студентов из КНР 14 человек. Трое из них поступили и обучаются в магистратуре БНТУ.

На сегодняшний день уже третья группа из Хефэя приступила к обучению на машиностроительном факультете. В этом году к ним присоединилась группа из Шеньянского технологического университета, которая также приехала на третий курс продолжать обучение по

специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Для того, чтобы согласовать учебные планы китайских вузов и БНТУ приходится уплотнять количество специальных дисциплин, начиная с 5 семестра. Разница в учебных планах не должна препятствовать изучению полного перечня дисциплин, включенных в учебный план и необходимых для получения дипломов о высшем образовании. Однако академическая разница не может быть устранена стандартным способом. Обычно устанавливается срок устранения, как правило, до полугода, студенты получают задания от преподавателей, а затем проходят аттестацию по дисциплинам, которые они не изучили в своих учебных заведениях. Но, как показала практика, приехавшие из Китая студенты совершенно не говорят по-русски. Поэтому все не изученные дисциплины приходится включать в сетку расписания, ведь изучить им их самостоятельно не представляется возможным.

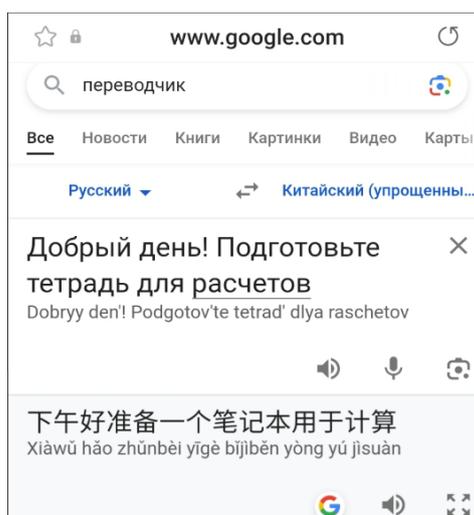


Рис. 1. Пример использования гугл-переводчика для общения со студентами из Китая

Особенности изучения технических дисциплин подразумевают наличие большого количества специальных терминов, а здесь мы сталкиваемся с тем, что даже очень простые слова студенты не понимают. Благодаря современным средствам коммуникации (интернет-переводчикам) возможно наладить минимальное общение с китайскими ребятами.

Но надо понимать, что технические термины и специальные определения в этих переводчиках не прописаны, поэтому чтобы хоть как-то объяснить задание приходится упрощать формулировки до элементарных понятий.

На кафедре «Машиноведение и детали машин» студентам из Китая читается дисциплина «Детали машин», поэтому термины, такие как зубчатое колесо, вал, подшипник, манжета и тому подобное легче показать, чем объяснить. Постоянно используются установки, макеты, плакаты, образцы курсовых проектов, имеющиеся в наличии на кафедре. Приходится упрощать задания по курсовому проектированию, уменьшать объем лекционного материала, переделывать экзаменационные билеты. Имеющееся в достаточном объеме методическое сопровождение на русском языке для таких студентов требует постоянных комментариев со стороны преподавателя. Также следует помнить, что напечатанный текст ими лучше воспринимается, а также легче поддается переводу, чем прописной. Даже упрощенные задания приходится делить на похожие для облегчения восприятия иностранными студентами. Хорошо, если в группе оказывается студент, который быстрее воспринимает материал и может помочь с объяснением своим одноклассникам на китайском языке. Но их знания по данному предмету весьма ограничены, поэтому и объяснения ограничиваются несколькими фразами, касающимися конкретного задания.

При этом нельзя дать показать студенту, что у него ничего не получается и он ничего не понимает. Наша задача состоит в том, чтобы не отбить охоту учиться, а воодушевить иностранного студента, показав, что даже при ограниченных коммуникациях, мы способны объясниться и понять друг друга. Надеяться, что самостоятельно студенты смогут разобраться с методикой конструирования не приходится, поэтому надо ставить перед ними реальные задачи. Теоретический материал переписать, проиллюстрировав схемами для облегчения восприятия, они могут.

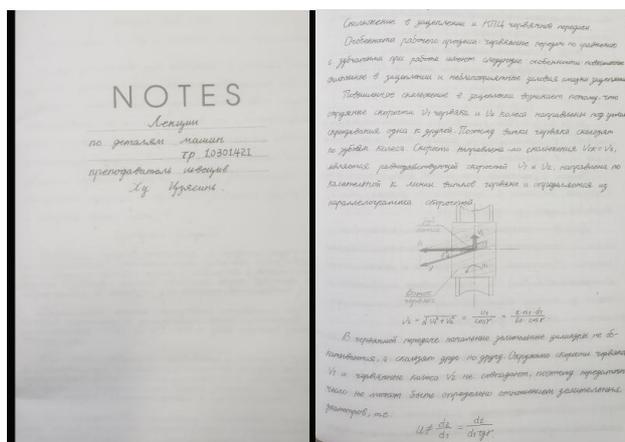


Рис. 2. Лекционная тетрадь студента группы 10301421 Ху Цзясиня

Китайским студентам очень нравится, когда их работу проверяют и хвалят за усердие. Возможно, переписывая лекции они мало что понимают,

но безусловно тренируются в написании слов на русском языке, а схемы сопоставляют со словами. Расчеты проводить надо по разработанным методикам с постоянными разъяснениями по ходу расчетов, также приходится контролировать каждый шаг конструирования, учить пользоваться справочной литературой, при этом не перегружать сложными методиками.



Рис. 3. Студенты группы 10301421 разрабатывают сборочный чертеж на занятиях по дисциплине «Детали машин»

Для облегчения выполнения сборочного чертежа редуктора разработано пособие с пошаговым описанием и иллюстрацией каждого действия. Но в силу того, что в нем нет совершенно ни одного понятного для китайца слова, сделали при помощи бывшего студента, а ныне магистранта, перевод на китайский язык.

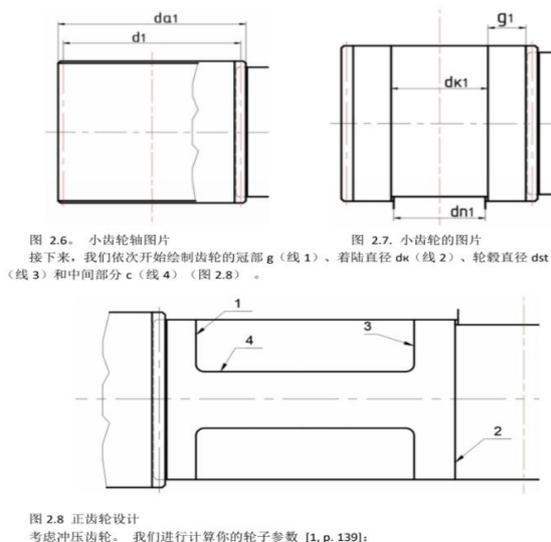


Рис. 4. Страница переведенного на китайский язык пособия Швеца И.В. «Разработка сборочного чертежа цилиндрического редуктора»

Тем не менее, есть трудности с объяснением, например, диаметральных размеров, которые везде обозначаются d , болтов, которых много в редукторе, и они их часто путают. Надо постоянно показывать взаимосвязь расчетов с тем, что затем будет изображаться на чертеже.

Также хочется отметить, что пользование графическими редакторами у ребят из Китая нельзя назвать хорошим. Они утверждают, что умеют пользоваться Autodesk Inventor, но на деле оказывается, что, не осознавая, как реально выглядит деталь, сделать полноценную 3D-модель не получается, чтобы затем сгенерировать 2D-чертеж. Перенести в графический редактор уже готовый разрез редуктора с миллиметровки у них тоже не очень хорошо получается. На очевидные вещи, как нам кажется, приходится обращать внимание: простановка размеров, расстановка осей, с которых вообще начинается чертеж, посадки и шероховатости.

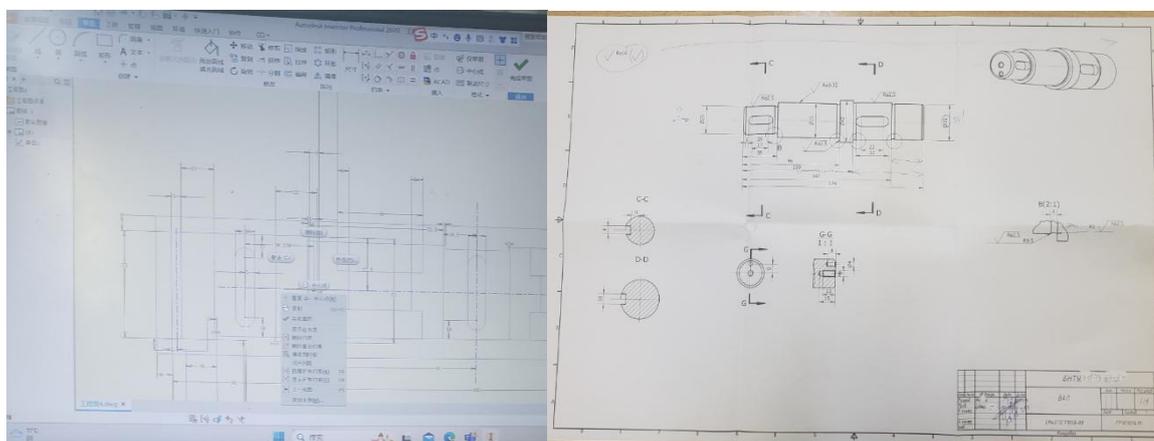


Рис.5. Перенос студентом разработанного на миллиметровке сборочного чертежа в графический редактор Autodesk Inventor и чертеж детали «Вал»

Естественно, студенты, не зависимо из Беларуси или Китая, жалуются, что им тяжело. Чужая страна, язык и культура добавляют сложностей к адаптации иностранных студентов. Но нельзя не отметить, что студенты из Китая очень дисциплинированы и трудолюбивы. Они очень стараются, искренне расстраиваются неудачам, стараются разобраться. Достаточно послушны.

Некоторое упрощения материала, не приводящее к потере общего освоения дисциплины, позволит не испугать, а воодушевить студента на дальнейшее изучение технических дисциплин, без которых невозможно подготовить достойного специалиста. А наше доброжелательное отношение к ним позволит облегчить адаптацию иностранных студентов к обучению в нашем вузе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швец, И. В. Разработка сборочного чертежа цилиндрического редуктора: пособие для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства», 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением», 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства», 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика», 1-43 01 08 «Проектирование и эксплуатация атомных электрических станций», 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика», 1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника» / И. В. Швец ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Машиноведение и детали машин». – Минск: БНТУ, 2023. – 44 с.

УДК 331.361

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭУМК ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ "ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБУЧЕНИЕ" ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПЕДАГОГОВ-ИНЖЕНЕРОВ В БНТУ

Чернецкая А. В., магистрант

*Научный руководитель: к.п.н., доцент Дирвук Е.П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
email: mparts@bntu.by*

CONCEPT OF DESIGNING EUMK FOR THE SUBJECT DISCIPLINE "INDUSTRIAL TRAINING" OF TEACHER –ENGINEERS AT BNTU

Аннотация: В данной статье рассматриваются особенности профессиональной деятельности инженеров-педагогов, роль и место учебной дисциплины «Производственное обучение» в процессе подготовки данных специалистов, концепции проектирования ЭУМК.

Ключевые слова: ЭУМК, «Производственное обучение», педагог-инженер, БНТУ

Abstract: This article examines the features of the professional activities of engineer-teachers, the role and place of the academic discipline “Industrial Training” in the process of training these specialists, and the concept of designing EUMK.

Key words: EUMK, “Industrial training”, teacher-engineer, BNTU

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) – целостная совокупность электронных учебных изданий, необходимых для проведения всех видов занятий по определенной учебной дисциплине. Это программный мультимедиа продукт учебного назначения, содержащий организационные и систематизированные теоретические, практические, контролирующие материалы, построенные на принципах интерактивности, информационной открытости, дистанционности [1].

Современные исследования в области теории и методики профессионального образования доказывают, что развитие профессиональной педагогики как междисциплинарного и интерпрофессионального знания опирается на системный анализ общей социокультурной, экономической ситуации, системное проектирование образовательно-профессиональных институтов. Теоретический анализ работ по проблемам высшего профессионального педагогического образования позволил выявить следующие основные тенденции:

- понимание педагогического образования как образования гуманитарного, способствующего становлению готовности будущего педагога к взаимодействию с другими людьми в процессе трансляции культуры, обмена ценностями, способами деятельности, опытом самореализации;

- осознание расширяющегося поля профессиональной деятельности педагога, обуславливающего изменение традиционных профессиональных полей педагога;

- реализация личностно ориентированного подхода к проектированию профессионального образования, предполагающего "выстраивание" различных образовательных маршрутов, способствующих становлению позиции студента как субъекта своей образовательной и профессиональной деятельности;

- поиск путей развития профессионального образования на основе поли теоретического подхода к анализу явлений и фактов, характерных для сферы профессионального образования, в рамках которого различные теории могут быть использованы на основе принципов взаимодополнительности, альтернативности или доминантности (А. П. Беляева);

- усиление фундаментальности общепрофессиональных знаний, ведущее к укрупнению основных дидактических единиц изучаемых дисциплин и модульно-интегративного построения содержания этих дисциплин [2].

«Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК), как правило, включает следующие разделы: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный. Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины в объеме, установленном типовым учебным планом по специальности (направлению специальности).

Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения лабораторных, практических, семинарских и иных учебных занятий и организуется в соответствии с типовым учебным планом по специальности и с учебным планом учреждения высшего образования по специальности (направлению специальности, специализации).

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы текущей и итоговой аттестации, иные материалы, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования» [3].

Учебная дисциплины «Производственное обучение» является базовым элементом учебного плана, имеет модульную структуру и изучается на протяжении четырёх семестров. Полный курс производственного обучения состоит из четырех учебно-профессиональных модулей: «слесарь механосборочных работ (МСР)», «токарь», «фрезеровщик», «оператор станков с программным управлением».

На завершающем этапе прохождения каждого учебно-профессионального модуля студентами выполняются проверочные работы. В целях совершенствования профессионального мастерства, предусмотрена учебная практика на получение указанных рабочих профессий, после которой им присваивается 2-4 разряд и выдается соответствующее свидетельство [4].

Принципы разработки ЭУМК представляют собой следующие обязательные основы организации обучающей деятельности. К ним можно отнести принципы *системности, модульности, наглядности, интерактивности, проблемности, индивидуализации.*

Компоненты ЭУМК могут варьироваться и представлять собой единство электронного варианта лекций, учебных пособий (модулей), практикумов (сценариев занятий), банка нормативно-правовых, справочных и др. материалов, заданий/упражнений, словарей, глоссариев, текстов видео- и аудиоматериалов, аудиокниг и/или библиотек, мультфильмов, комиксов, подкастов, игр, викторин, портфолио, мультимедийных презентаций, доступа Интернет-ресурсов и т.д. [1].

Основные принципы, которыми должна руководствоваться концепция проектирования ЭУМК по данной дисциплине:

1. Целевая направленность: ЭУМК должен быть разработан с учетом конкретных образовательных целей курса "Производственное обучение". Он должен способствовать усвоению ключевых понятий, навыков и компетенций, связанных с производственными процессами.

2. Мультимедийность: Комплекс должен предоставлять разнообразные форматы обучающих материалов, таких как тексты, видео, аудио, графика и интерактивные элементы. Это позволит учащимся лучше понять и запомнить материал, разнообразить процесс обучения и адаптировать его к индивидуальным потребностям студентов.

3. **Интерактивность:** ЭУМК должен предлагать студентам возможность активного участия и взаимодействия с материалом. Это может быть достигнуто через использование коммуникационных инструментов, таких как форумы, чаты или веб-конференции, а также с помощью заданий и кейсов, требующих самостоятельной работы и применения знаний на практике.

4. **Адаптивность:** ЭУМК должен быть разработан с учетом различных обучающихся и их индивидуальных особенностей. Система должна предоставлять возможность персонализации обучения, такую как выбор тем и модулей, прогресс-трекинг и адаптацию уровня сложности в зависимости от успехов студента.

5. **Оценка и обратная связь:** ЭУМК должен предоставлять возможность оценивания успеваемости студентов и оказывать им обратную связь по результатам выполнения заданий и тестов. Он также может предлагать автоматизированную проверку и коррекцию работ для повышения эффективности проверки и своевременной обратной связи.

6. **Комплексность обучения:** ЭУМК должен включать в себя не только теоретические материалы, но и практические задания, кейсы, виртуальные лаборатории и другие интерактивные компоненты, которые помогут студентам развить не только теоретические знания, но и практические навыки в области производственного обучения.

7. **Гибкость и индивидуализация:** ЭУМК должен предлагать возможности для индивидуальной настройки и выбора материалов и заданий в соответствии с потребностями и интересами студентов. Кроме того, он должен быть доступен для использования как во время занятий, так и во внеаудиторной работе.

8. **Профессиональное развитие:** ЭУМК должен способствовать развитию профессиональных компетенций и навыков будущих педагогов-инженеров. Он должен включать в себя актуальные материалы, связанные с современными технологиями и подходами в производственном обучении, чтобы студенты могли оставаться в тренде и готовы применять свои знания и навыки в будущей профессиональной деятельности.

9. **Взаимодействие и обратная связь:** ЭУМК должен предоставлять возможность для взаимодействия между студентами и преподавателями, а также между студентами самими. Он должен поддерживать форумы, чаты или другие коммуникационные инструменты для обсуждения материалов, совместной работы над проектами и получения обратной связи от преподавателей.

10. **Оценка и контроль:** ЭУМК должен предоставлять возможность оценивания успеваемости студентов с помощью тестов, заданий и других форм проверки знаний и навыков. Он также должен предоставлять студентам возможность отслеживать свой прогресс и получать обратную связь о своей работе.

11. Приоритет на практике: ЭУМК должен ставить особый акцент на практической составляющей производственного обучения, предоставляя студентам возможность применять полученные знания и навыки на практике через выполнение практических заданий, проектов или симуляций.

12. Доступность и удобство использования: ЭУМК должен быть доступным для студентов в любое время и из любого места, предлагая удобный интерфейс и поддерживая различные устройства и платформы. Он должен быть легко настраиваемым и понятным для использования без особых технических навыков.

13. Постоянное совершенствование: Разработанный ЭУМК должен подвергаться постоянному обновлению и улучшению на основе обратной связи от студентов и преподавателей, изменений в образовательной программе и смены технологических требований.

В целом, концепция проектирования ЭУМК по учебной дисциплине "Производственное обучение" должна обеспечить эффективное и интерактивное обучение студентов, учитывая индивидуальные потребности и особенности процесса производственного обучения.

К особенностям образовательной модели инженера-педагога в БНТУ следует отнести следующее.

1. Фундаментальная инженерно-техническая подготовка. Квалификация «инженер-педагог» подразумевает неформальную интеграцию инженерной и педагогической компонент. Однако, ключевой для будущего инженера-педагога в техническом университете следует считать именно инженерно-техническую подготовку, включающей базовые («Инженерная графика», «Детали машин», «Теоретическая механика», «Механика материалов», «Теория машин и механизмов», «Электротехника и электроника» и др.) и специализированные («Теория резания и режущий инструмент», «Технологическая оснастка», «Технология машиностроения») инженерные знания, умения и навыки в области передовых технологий, инженерных методов, применении современного оборудования в производственных и образовательных процессах (чему учить?).

2. Фундаментальная психолого-педагогическая подготовка. В рамках данной специальности студенты также изучают учебные дисциплины, связанные с психологией труда инженера-педагога, с современными педагогическими теориями и методиками теоретического и производственного обучения в колледжах (как учить?).

3. Ключевым аспектом обучения инженеров-педагогов в БНТУ является прохождение студентами цикла производственных (1 и 2 педагогических) практик в колледжах, имеющих ярко выраженный практико-ориентированный характер.

4. Возможность выбора направления специализации в рамках построения образовательной траектории. Студенты могут выбирать конкретные предметные области, в которых они бы хотели развиваться в дальнейшем. Например, это может быть специализация в преподавании

отдельных учебных предметов теоретического характера, программирования, производственного обучения и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Чекалева, р. Р. Валиулин основные концепции проектирования учебно-методического обеспечения. // 13.00.00 педагогические науки– № 3 – 2007 г
2. Учебно-методические комплексы [Электронный ресурс]: – 2023 – Режим доступа: <https://www.belstu.by/obrazovanie/obshhaya-informacziya/uchebno-metodicheskie-kompleksyi>
3. Самсоновой Екатерины Сергеевны Разработка учебно-методического комплекса дисциплины «Технические и аудиовизуальные средства обучения физике» / Самсоновой У.С. науч. рук. Гладких / НИУ «БелГУ» – Ю.П. Белгород – 2018
4. Чернецкая, А.В. Дидактические возможности использования видео-метода в процессе производственного обучения будущего педагогов-инженеров в БНТУ / А.В. Чернецкая; науч. рук. Е.П. Дирвук // Инновационные технологии и образование: международная научно-практическая конференция, 29-30 апреля 2021 г.: в 2 ч. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: А. М. Маляревич (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – Ч. 2. – С. 60-63.
5. Дирвук, Е.П. Методическое обеспечение учебного занятия в учреждениях профессионально-технического и среднего специального образования: методическое пособие по курсовому проектированию для студентов специальности 1-08 01 01 «Профессиональное обучение» / Е.П. Дирвук, А.А. Плевко. – Минск: БНТУ, 2013. – 131 с.

УДК 004

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ДВИЖЕНИЙ СТУДЕНТА ВО ВРЕМЯ ОНЛАЙН ТЕСТИРОВАНИЯ

Чваньков Андрей Александрович, магистрант
Ковалева Ирина Львовна, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
whitebear134@gmail.com

AUTOMATION OF MONITIRING STUDENT MOVEMENTS DURING ONLINE TESTING

Аннотация: В настоящее время все больше и больше уделяется внимание онлайн-образованию. Однако с проведением различных экзаменов и тестов, возникают проблемы, связанные со списыванием. Решением этой проблемы может стать разработка программного обеспечения для аттестации с помощью алгоритмов машинного обучения, которое может контролировать обучающихся с помощью веб-камеры и микрофона. Внедрение такой системы в больших масштабах дает возможность выполнения объемной работы за короткий срок. В работе рассматривается один из возможных подходов по определению движения объектов в видеопотоке с помощью языка python и библиотеки компьютерного зрения openCV.

Abstract: Nowadays, more and more attention is being paid to online education. However, with various exams and tests, there are problems related to cheating. The solution to this problem can be the development of grading software using machine learning algorithms, which can monitor learners using a webcam and microphone. Implementing such a system on a large scale makes it possible to accomplish extensive work in a short period of time. This paper considers one of the possible approaches to detect object motion in video stream using python language and openCV computer vision library.

Ключевые слова: Контроль знаний, система онлайн-экзаменов, прокторинг, идентификация, обнаружение, онлайн тестирование, мониторинг движений, OpenCV, машинное обучение.

Keywords: Knowledge control, online exam system, proctoring, identification, detection, online testing, motion monitoring, openCV, machine learning.

Введение. Среди форм реализации традиционных видов контроля знаний, таких как зачет и экзамен, все чаще встречаются различные виды тестирования. Современные бесплатные приложения Zoom, Teams, GoogleMeet и т.д. предоставляют преподавателю возможность разработки различных тестов и организации онлайн тестирования. Однако такой подход породил проблему, связанную с выявлением недобросовестных студентов, нарушающих правила прохождения теста. Одним из направлений решения этой проблемы является автоматизация мониторинга движений студента во время проведения онлайн тестирования, что позволяет не только помочь преподавателю и повысить эффективность его работы, но и в некоторых случаях даже заменить его[1].

Основные этапы работы программы. Для распознавания движений студента во время тестирования применяется opensource библиотека алгоритмов компьютерного зрения OpenCV[2].

Все кадры, которые используются для мониторинга движений студента, берутся с веб-камеры, расположенной на его компьютере. Для обнаружения движения определяется разница в значениях пикселей изображений двух кадров[3], которая проявляется лишь при изменении одного из них, т.е. с

этого момента программа начинает реагировать на любое движение в кадре. На рис. 1 представлен результат вычитания.

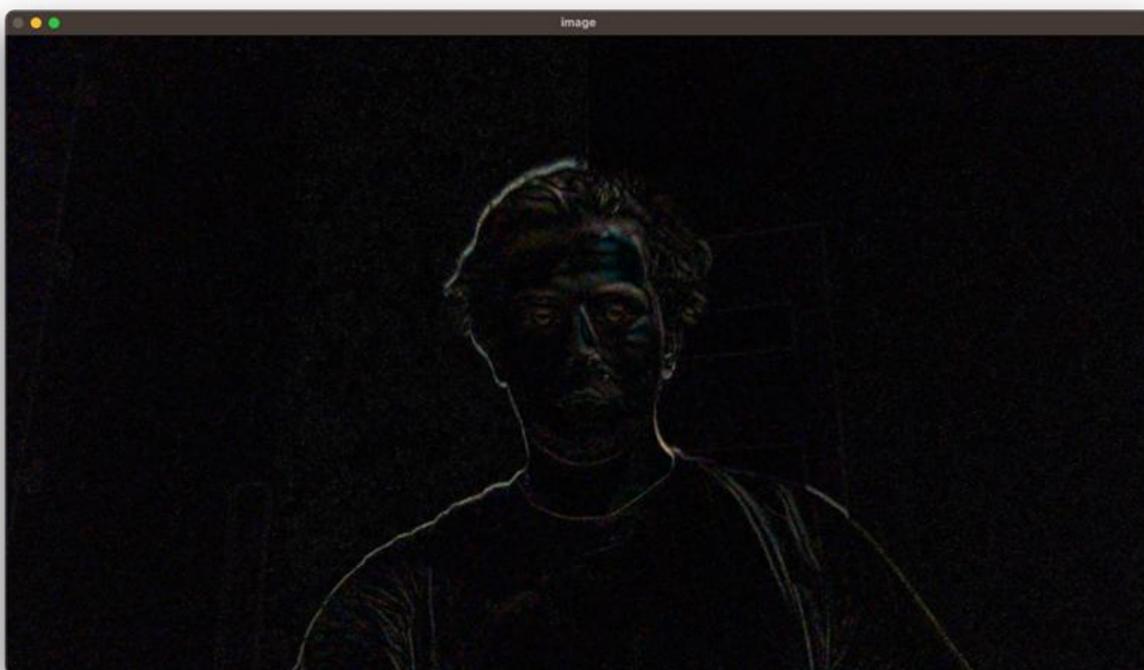


Рис. 1. Результат вычитания двух последующих кадров

Затем полученное изображение преобразуется в полутоновое. Для повышения качества полутонового изображения выполняется его фильтрация с помощью размытия по Гауссу. Для этого используется метод `cv2.GaussianBlur()`. Этот метод принимает несколько аргументов: исходное изображение для размытия, выходное изображение, размер ядра Гаусса, стандартное отклонение ядра по оси x, стандартное отклонение ядра по оси y и тип границы. Значения аргументов настраиваются в зависимости от условий съемки.

Фильтрация является предварительным этапом перед последующей бинаризацией изображения. С помощью метода `cv2.threshold()` контуры движущихся объектов выделяются белым цветом, а все остальные пиксели становятся черными. Метод `cv2.threshold()` принимает четыре аргумента: изображение, пороговое значение, максимальное значение, используемое с `THRESH_BINARY` и `THRESH_BINARY_INV`, и тип порогового значения движущихся объектов.

После бинаризации на изображении может оказаться много маленьких белых контуров, возможно относящихся к одному большому. Поэтому предлагается выполнить еще одну фильтрацию, в данном случае морфологическую фильтрацию расширение, которая приводит к объединению небольших объектов в один. Для расширения используется метод `cv2.dilate()`, который принимает максимум 6 аргументов: изображение, ядро, привязку, итерации, тип границы и значение границы. Результат расширения во многом зависит от параметров ядра. На рис. 2 показан

вариант при использовании в качестве ядра единичной матрицы размером 3x3.

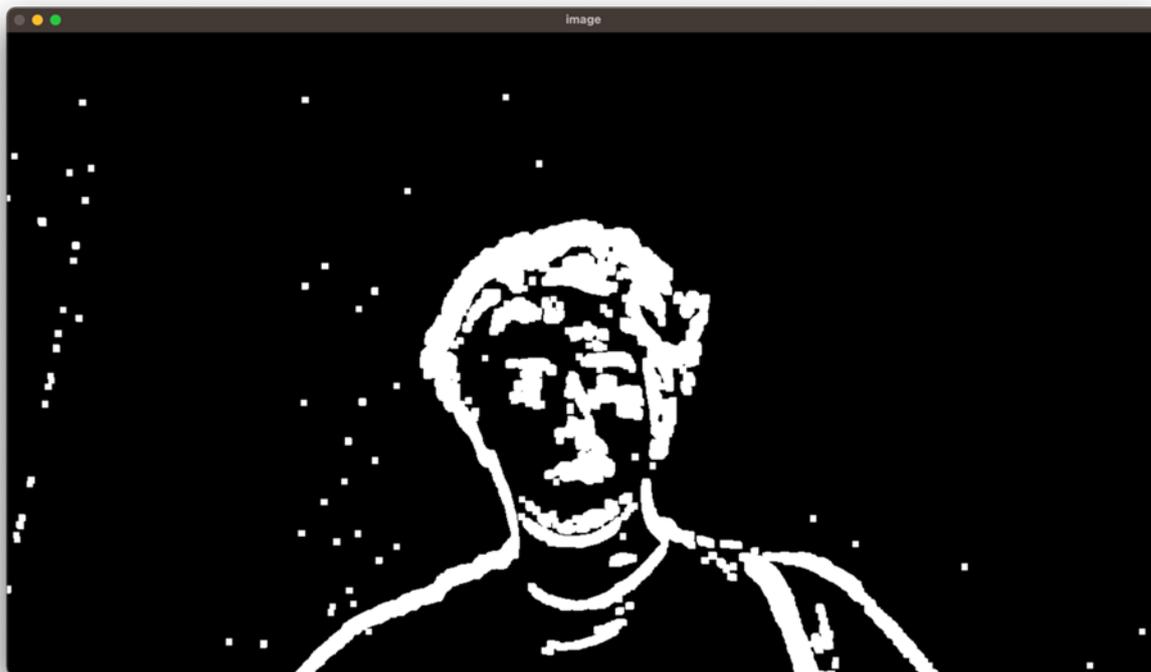


Рис.2. Результат морфологической фильтрации

Для дальнейшего анализа все белые пиксели необходимо объединить в контуры. Алгоритм оконтуривания объектов находит группы смежных белых пикселей на бинарном изображении. Основные этапы алгоритма состоят в итерации по пикселям, выделении связанных компонент (ConnectedComponentsAlgorithm), и маркировку их пикселей. Результатом работы алгоритма является информация о количестве, размере и положении связанных компонент, что полезно для сегментации и анализе объектов на изображении. Поиск контуров осуществляется с помощью метода *cv2.findContours()*, который принимает три аргумента: исходное изображение, режим поиска и метод аппроксимации контура.

Для отрисовки найденных контуров используется метод *cv2.drawContours()*. Он также принимает несколько аргументов: изображение, контуры, *contourIdx* (это значение отрицательно, если нарисованы все контуры), цвет, толщина, тип линии, иерархия, максимальный уровень и смещение. Оконтуренное изображение представлено на рис. 3.

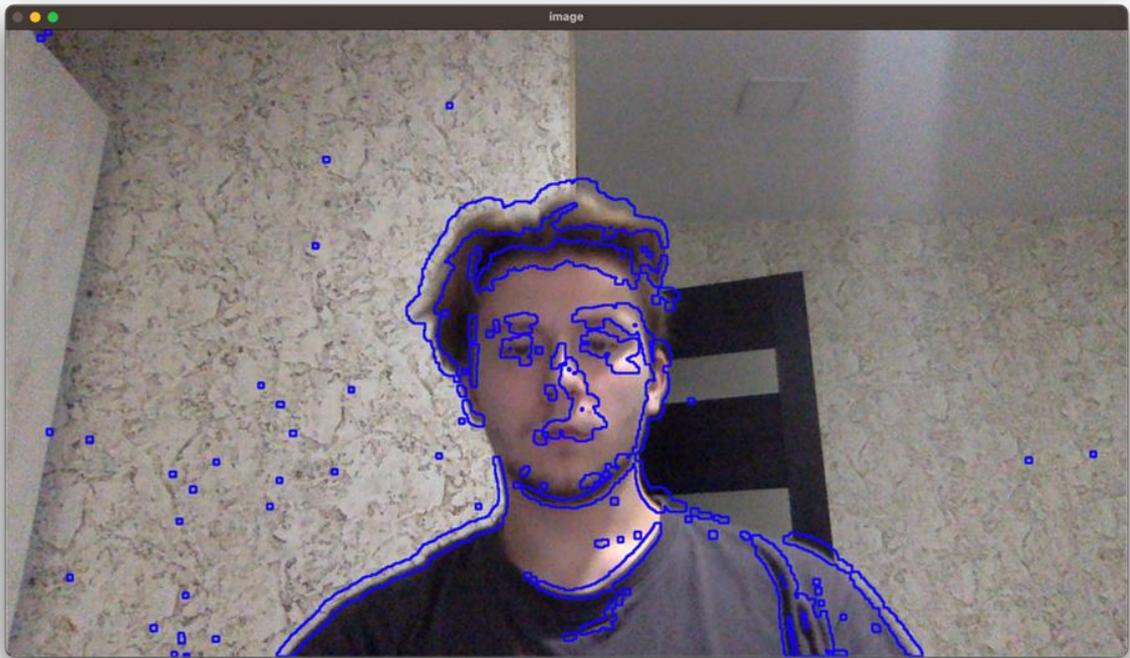


Рис. 3. Оконтуренное изображение

На завершающем этапе движущиеся объекты заключаются в прямоугольные области (рис. 4).

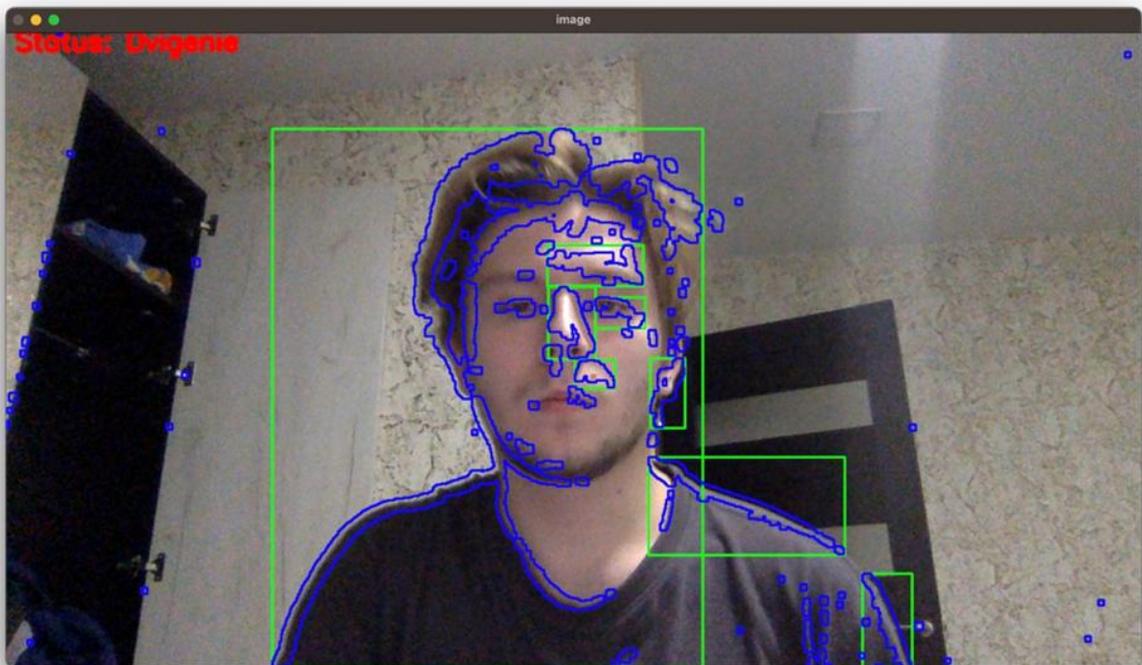


Рис.4. Выделенные движущиеся объекты

По найденным точкам контура с помощью метода *contour Area ()* можно вычислить площадь зафиксированного объекта в каждый момент времени.

Эта информация в дальнейшем может использоваться для определения наличия посторонних предметов (например, гаджетов, книг и т.д.) в кадре[4].

Заключение. Предложенный подход для мониторинга движений основан на классических алгоритмах обработки и распознавания изображений. Его применение позволило разработать программу, показавшую удовлетворительные результаты при тестировании. В дальнейшем планируется исследование и разработка моделей на основании методологии машинного обучения.

Библиографические ссылки

1. Разработка программного обеспечения для аттестации с помощью алгоритмов машинного обучения[Электронный ресурс] / Дуйсегалиева, Н. и Адамова, А. : Вестник «Физико-математические науки», 2021 –Режим доступа: <https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/article/view/481/559> , свободный. – Загл. с экрана. Яз. Рус. Дата доступа: 20.10.2023.
2. Библиотека Opencv [Электронный ресурс] / 2022 – Режим доступа:<https://docs.opencv.org/> , – Дата доступа : 20.10.2023.
3. Распознавание лиц и движения с помощью компьютерного зрения [Электронный ресурс] / PYTHONIST, 2020 – – Режим доступа: <https://pythonist.ru/raspoznavanie-licz-i-dvizheniya-s-ispolzovaniem-kompyuternogo-zreniya/>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. Рус. Дата доступа: 20.10.2023.

Опыт разработки автоматизированной системы прокторинга для подтверждения результатов онлайн-экзаменов [Электронный ресурс] / Скшидлевский ,А. : НАВР - 2017 – Режим доступа: <https://h.amazingsoftworks.com/ru/articles/325296/> , свободный. – Загл. с экрана. Яз. Рус. Дата доступа: 20.10.2023.

УДК 374.14

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ

Гайыпов Мекан Артыксатович, преподаватель,
Сулейманов Ресул Довранович, преподаватель,
Гуртнязов Мырат Байгельдыевич, преподаватель,
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт,
artyksatovich1991@gmail.com

DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы развития Концепции цифровой экономики в Туркменистане. Дается теоретический анализ внедрения цифровых технологий в систему высшего образования. Движение цифровой экономики приводит к одновременной цифровизации общества, бизнеса и власти. Темпы развития цифровизации экономики должны идти рука об руку с темпами подготовки и переподготовки кадров для нашей страны.

Abstract. The article discusses the development of the Concept of the Digital Economy in Turkmenistan. A theoretical analysis of the introduction of digital technologies into the higher education system is given. The movement of the digital economy leads to the simultaneous digitalization of society, business and government. The pace of development of digitalization of the economy must go hand in hand with the pace of training and retraining of personnel for our country.

Ключевые слова: цифровая экономика, инновационные технологии, искусственный интеллект, дистанционное обучение.

Keywords: digital economy, innovative technologies, artificial intelligence, distance learning.

В стране ведется эффективная работа по диверсификации национальной экономики, развитию электронной промышленности, созданию передовой экономики, основанной на новейших достижениях информационно-коммуникационных технологий, развитию инновационной, высокотехнологичной, конкурентоспособной цифровой экономики. Поэтому, в целях поддержания данных реформ положило начало принятию «Концепции развития цифровой экономики в Туркменистане на 2019-2025 годы».

В настоящее время концепция цифровой экономики стала широко обсуждаемой проблемой среди ученых, экспертов и экономистов. Главную причину такой проблемы можно объяснить достижениями научно-технического развития многих стран, в частности тем, что они смогли добиться большого прогресса в результате внедрения цифровой информации в экономику. Потому как на сегодняшний день развитию цифровой экономики уделяется все больше внимания за рубежом, ведь ее потенциал для ускорения социально-экономического развития любой страны и обеспечения высокого качества жизни ее населения очень велик.

Как показывает зарубежный опыт, переход к цифровой экономике требует определенного количества времени, ресурсов и высокого уровня знаний в области информационно-коммуникационных технологий. Осуществление реформ во взаимоотношениях государства, общества, образования, науки и бизнеса является одним из необходимых условий развития такого направления. При этом своей значимостью выделяются

такие вопросы, как разработка государством соответствующих нормативных законов, развитие современной системы управления, государственная поддержка развития науки. Если учесть, что образование и наука играют особую роль в активном внедрении и создании новых технологий, то можно добиться того, чтобы перед нашими учеными, инженерами и другими специалистами стояли ответственные, выгодные для государства позиции. Это означает, что высшие учебные заведения должны активно участвовать в развитии цифровой экономики страны.

Правильное определение путей обеспечения вхождения Туркменистана в ряды стран-лидеров в данной области, структуры их реализации является залогом эффективной реализации такой деятельности, как результат создания цифровой среды. Среди проводимых мероприятий по развитию цифровой экономики возникает и необходимость подготовки современных специалистов высокого уровня для научной и образовательной системы страны. В целом изучение накопленного в ряде зарубежных стран опыта развития цифровой экономики требует коренного реформирования систем науки и образования, динамичного развития электронной промышленности, широкого распространения вовлечение наших бизнесменов в создание наукоемких производств.

Движение цифровой экономики приводит к одновременной цифровизации общества, бизнеса и власти. Темпы развития цифровизации экономики должны идти рука об руку с темпами подготовки и переподготовки кадров для нашей страны. Спрос на цифровую грамотность представляет собой социальный сдвиг от индустриального общества к обществу, основанному на знаниях.

Внедрение и развитие цифровой экономики открывает широкие возможности для совершенствования знаний и создания новых современных рабочих мест в высокотехнологичных отраслях за счет обмена информацией. Соответственно, одним из основных направлений перехода к цифровой среде является развитие профессиональных и научных ресурсов.

На сегодняшний день были утверждены «Концепция развития системы цифрового образования в Туркменистане», «Программа цифровизации системы науки в Туркменистане на 2020-2025 годы». Такие области создают условия для дальнейшей активизации взаимодействия науки, образования и производства. Они предоставляет широкую возможность активно привлекать молодежь к созданию нового программного обеспечения для исследований, науки и техники, технологического предпринимательства.

Учитывая необходимость в таких специалистах, как программисты, инженеры, технологи, для выполнения поставленных задач по развитию цифровой экономики в Туркменистане, были поставлены задачи, связанные с обучением новым направлениям, специализацией и подготовкой специалистов в областях, отвечающих требованиям времени в программах высших учебных заведений страны.

Одной из основных целей является предоставление возможности специалистам образования, аспирантам, докторантам, молодым ученым применять свои теоретические знания на основе цифровых технологий в учреждениях и предприятиях, а также деятельности отраслей, в том числе научных и образовательных учреждений, при активном использовании и внедрении информационных и коммуникационных технологий, а также добиваться повышения эффективности управления. Также одной из главных задач является обучение способам использования цифровых технологий и обеспечение того, чтобы специалисты в сфере образования могли самостоятельно использовать такие навыки в своей работе. Необходимо выбирать гибкие инструменты информационных технологий и уметь использовать их при решении таких задач.

Стремительное развитие цифровых технологий приводит к фундаментальному укреплению организационной структуры и методологии исследований, трансформации качества и видов труда в сфере науки и образования, постоянному совершенствованию механизмов защиты, результатам интеллектуального труда и переносу их в коммерческую среду. Постоянно растущий объем собираемых данных стимулирует разработку новых технологий и методов сбора, обработки, прогнозирования и распространения данных.

Следует отметить, что потенциал технологий искусственного интеллекта и дистанционного обучения для развития науки и образования очень высок, а их ресурсы увеличиваются с каждым днем. Работы по цифровизации делают науку и образование более открытыми для общественности, побуждают ученых и преподавателей тесно адаптироваться к открытому доступу и практикам сотрудничества, совершенствовать навыки использования новых цифровых инструментов и механизмов. Значительно повысится эффективность исследований, в определенной степени сэкономятся затрачиваемые на них временные и материальные затраты, значительно снизятся затраты на экспериментальные эксперименты, сбор и обработку данных, а также будут получены преимущества передовых научных исследований. Оборудование будет размещаться удаленно, что создаст положительные условия для эффективного использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция развития системы цифрового образования в Туркменистане. - Ашхабад, 2017 г.
2. Концепция развития цифровой экономики в Туркменистане на 2019-2025 годы. - Ашхабад, 2018 г.
3. Конституция Туркменистана. Туркменская государственная издательская служба. - Ашхабад, 2020 г.
4. Закон Туркменистана «Об электронном документе, электронном документообороте и цифровых услугах». – Ашхабад, 14 марта 2020 г.

5. Государственная программа развития цифровой экономики в Туркменистане на 2021-2025 годы. - Ашхабад, 2021 г.

6. Гельдымухамедова О. и др. Цифровая экономика. Учебник для вузов. Туркменская государственная издательская служба. - Ашхабад, 2021 г.

УДК 634.377

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ

INFLUENCE OF TEMPERATURE-TIME PARAMETERS OF DIFFUSION SATURATION ON THE LEVEL OF STRESS IN THE SURFACE LAYER

Пищов Михаил Николаевич, кан. техн. наук, доцент,
Бельский Сергей Евграфович, кан. техн. наук, доцент
Pishchov Mikhail Nikolaevich, Can. tech. Sciences, Associate Professor,
Belsky Sergey Evgrafovich, Can. tech. Sciences, Associate Professor

*Белорусский государственный технологический университет
Belarusian State Technological University*

Аннотация: в данной статье определены остаточные напряжения в поверхностном слое образцов после проведения их упрочнения. С учетом остаточных напряжений сжатия можно оценивать предельные размеры, а также скорость развития усталостных трещин, а, следовательно, и долговечность всей детали в целом. Так было установлено, что наибольших значений остаточные напряжения сжатия достигают при проведении борирования с температурой насыщения 1020 °С. Для всех рассматриваемых составов и температурно-временных параметров поверхностного упрочнения максимальных значений остаточные напряжения достигают на поверхности образцов и уменьшаются при переходе к основе металла. Также было установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при проведении борирования и боросилицирования уровень остаточных напряжений сжатия повышается, что способствует повышению эксплуатационного ресурса деталей в целом.

Abstract: this article determines the residual stresses in the surface layer of the samples after their hardening. Taking into account the residual compressive stresses, it is possible to estimate the maximum dimensions, as well as the rate of development of fatigue cracks, and, consequently, the durability of the entire part as a whole. Thus, it was found that the highest values of residual compressive stresses are achieved when boriding is carried out at a saturation temperature of 1020 °С. For all the considered compositions and temperature-time parameters of

surface hardening, residual stresses reach their maximum values on the surface of the samples and decrease when moving to the metal base. It was also found that with increasing time and saturation temperature during boriding and borosiliconization, the level of residual compressive stresses increases, which helps to increase the service life of parts as a whole.

Ключевые слова: напряжение, поверхностный упрочненный слой, упрочнение, остаточные напряжения, детали машин, прочность, износостойкость, деформации, испытания.

Key words: stress, surface hardened layer, hardening, residual stresses, machine parts, strength, wear resistance, deformation, testing.

Многими исследованиями разрушения деталей установлено, что после образования пластических деформаций в локальном объеме образуются микротрещины, развитие которых зависит от величины и знака остаточных напряжений [1]. Так, остаточные напряжения растяжения в ходе длительного воздействия на микротрещины вызывают их увеличение до критических значений, при которых резко снижается прочность и износостойкость деталей, что в итоге приводит к разрушению всей поверхности [2].

С учетом остаточных напряжений сжатия можно оценивать предельные размеры, а также скорость развития усталостных трещин, а, следовательно, и долговечность всей детали в целом. В ряде работ показано, что остаточные напряжения сжатия существенно замедляют рост образования усталостных трещин, а также способствуют увеличению износостойкости поверхности. Таким образом, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие как правило с образованием остаточных напряжений растяжения [3-5].

В ходе исследований было изучено влияние составов смеси, а также температурно-временных параметров различных процессов упрочнения на распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя. Определялся как уровень остаточных напряжений, так и их знак.

Экспериментальное определение характера распределения остаточных напряжений в упрочненных различными методами диффузионных слоях на косых шлифах образцов размерами 10×10×10 мм методом рентгеноструктурного анализа проведено на установке фирмы Bruker. Микронапряжения связаны с неоднородной упругой деформацией кристаллической решетки металла и характеризуются величиной относительной микро деформации решетки $\Delta a/a$ [8] по формуле (1):

$$\sigma_{II} = E \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} \right) + \frac{E_{\beta}}{4 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \Theta} \quad (1)$$

где E – модуль упругости, МПа;

β – физическое уширение интерференционной линии;

R – радиус камеры или радиус окружности, по которой движется счетчик (дифрактометр и т.д.), мм;

Θ – угол отражения соответствующей интерференционной линии.

Диаметр блоков когерентного рассеяния в направлении, перпендикулярном кристаллографической плоскости, отражение от которой зафиксировано на дифрактограмме, определяется из соотношения по формуле (2):

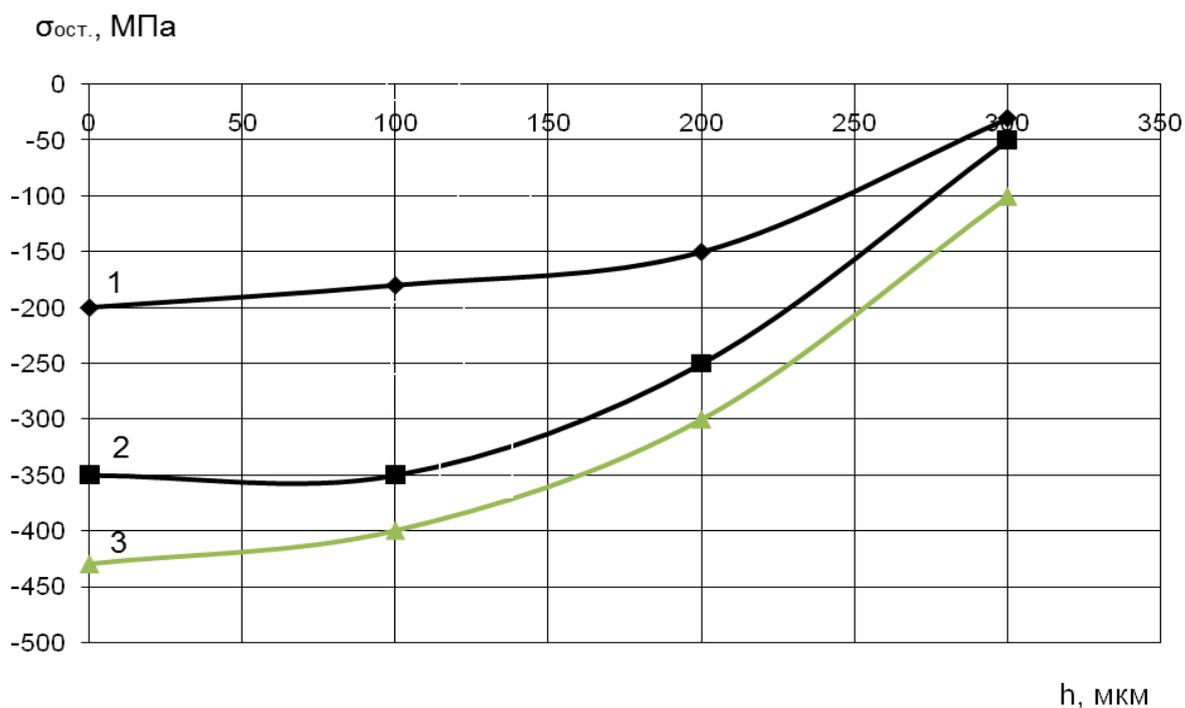
$$D = \frac{0,94 \cdot \lambda \cdot R}{\beta \cdot \cos \Theta}. \quad (2)$$

Физическое уширение интерференционной линии β может быть определено при обработке рентгенограммы исследуемого образца и сравнении ее с рентгенограммой эталонного. Уширение вызвано неоднородностью излучения, геометрическими условиями съемки или структурными особенностями материала (микронапряжения, измельчение блоков, неоднородность химического состава и т.д.).

При обработке результатов рентгеновского анализа определяли ширину интерференционной линии на дифрактограмме, ее ширину с поправкой на монохроматичность излучения и физическое уширение β , полученное после внесения поправки на геометрические условия съемки, так как ширина одноименной линии эталона обусловлена только геометрическими условиями съемки – инструментальным фактором. Для этого предварительно отжигом добивались снятия микронапряжений в эталоне и обеспечения величины блоков D более 10^{-7} м.

Таким образом, физическое уширение интерференционной линии на рентгенограмме металла или сплава обусловлено только физическими факторами, т.е. связанными с реальной структурой сплава. Уровень микродеформаций и величину блоков когерентного рассеивания находили с использованием методики. Съемки проводились с использованием излучения $\text{CoK}\alpha$; анализировалось физическое уширение линий (110) и (211).

На рисунке 1 представлен график распределения остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненных слоев с исследованием изучаемых составов насыщения при различных температурно-временных параметрах процессов ХТО. Из графиков видно, что в результате изменения удельных объемов при фазовых превращениях, различных коэффициентов линейного расширения материалов упрочненного слоя и основы металла возникают остаточные напряжения сжатия с большим градиентом по глубине поверхностного слоя, величина которого зависит от способа ХТО.



1–900 °C; 2–950 °C; 3–1020 °C

Рис. 1. Распределение остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненного боросилицированного слоя на стали 20X при различных температурах насыщения

Наибольших значений остаточные напряжения сжатия достигают при проведении борирования с температурой насыщения 1020 °C. Для всех рассматриваемых составов и температурно-временных параметров поверхностного упрочнения максимальных значений остаточные напряжения достигают на поверхности образцов и уменьшаются при переходе к основе металла. При этом важно, чтобы переход к основе металла осуществлялся без каких-либо скачков уровня остаточных напряжений сжатия. Было установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при проведении борирования и боросилицирования уровень остаточных напряжений сжатия повышается [6].

При этом с повышением температуры насыщения происходит увеличение уровня остаточных напряжений сжатия как на поверхности, так на глубине 150–200 мкм, что дополнительно повышает прочность и износостойкость упрочненного слоя.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о достаточно равномерном распределении остаточных напряжений сжатия по глубине слоя, особенно при упрочнении методом боросилицирования, что хорошо согласуется с распределением микротвердости и микрохрупкости по глубине поверхностного слоя.

На основании приведенных данных исследований, можно высказать предположение о том, что у такого упрочненного слоя должна быть прочная

связь с основной металла. Это важно для работы деталей, работающих при высоких динамических нагрузках и динамических колебаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхович, Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Л.С. Ляхович, И.А. Рищев, Э.Д. Щербаков, В.В. Сурков // Труды всесоюзной конференции, Минск, 1971.
2. Мельник, П.И. Металловедение и термическая обработка металлов / П.И. Мельник, С.И. Резник //, № 9, 1968.
3. Биргер, И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер // – М.: Машгиз, 1963 – 240 с.
4. Ящерицын, П.Н. Остаточные напряжения при электромагнитной наплавке / П.Н. Ящерицын, С.С. Макаревич, А.П. Ракомсин, Л.М. Кожуро // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз-техн. наук. 2000. № 2. – С. 62 – 65.
5. Коваленко, А.Д. Основы термоупругости – Киев; Навукова думка. 1970 – 306 с.
6. Мрочек, Ж.А. Остаточные напряжения / Ж.А. Мрочек, С.С. Макаревич, Л.М. Кожуро, М.Ф. Пашкевич, А.Ф. Ильющенко // Учебное пособие, Минск, 2003 г.

УДК 378.14

СОВРЕМЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ

Аманов Мердан Эсенгулыевич, старший преподаватель,
Агабаев Нурмухаммет, старший преподаватель,
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
djelaletdin@gmail.com

MODERN TECHNICAL EDUCATION IN THE PREPARATION OF FUTURE MECHANICAL ENGINEER

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические решения перспектив развития современного профессионального образования в рамках стратегии устойчивого развития экономики в период глобального технологического прогресса (цифровое информационное пространство, инновационные технологии). Уровень развития современной инновационной экономики в значительной степени определяется качеством профессиональных кадров. На современном этапе развития государства знания как экономический ресурс, приобретают все более прогрессивный характер.

Другими словами, это требование уникальности и узкой специализации

ованных профессий, являющихся фундаментом формирования инновационной экономики.

Abstract. The article discusses theoretical solutions to the prospects for the development of modern vocational education within the framework of the strategy for sustainable economic development in the period of global technological progress (digital information space, innovative technologies). The level of development of a modern innovative economy is largely determined by the quality of professional personnel. At the present stage of development of the state, knowledge as an economic resource is becoming increasingly progressive. In other words, the acute demand and uniqueness of highly specialized professions, which are the foundation for the formation of an innovative economy.

Ключевые слова: *цифровая экономика, цифровое образование, инновационные технологии, информационное пространство, образовательные технологии.*

Key words: *digital economy, digital education, innovative technologies, information space, educational technologies.*

Сегодня, приоритетным направлением социально-экономического развития Туркменистана является диверсификация промышленности, предусматривающая наилучшие перспективы в становлении нашей страны мощным индустриально развитым экспортно-ориентированным государством.

Туркменистан обладает значительным потенциалом для устойчивого экономического роста. Одним из основных сегментов экспортно-ориентированной экономики Туркменистана является нефтегазовая, химическая промышленность, энергетическая, металлургическая, текстильная отрасли и др. Этим отраслям отводится важная роль в реализации масштабных программ по диверсификации и наращивания экспортных возможностей страны [1].

Эволюция технического развития подталкивает не только к развитию современной экономики, но к реформированию системы образования. Поэтому, одним из приоритетов государственной политики является поэтапная реформа в сфере национальной системы образования с использованием лучших зарубежных и отечественных инноваций в сфере цифровизации и информационных технологий [1].

В последние годы высшее образование под влиянием эволюционно-технологической революции, социально-экономических потребностей общества значительно расширилось. Именно сегодня, учебные учреждения технического профиля (колледжи, университеты) для поддержки технологического образования и будущего благополучия студентов прибегают к разработке современных учебных стратегий и подходов в области образовательных технологий, чтобы соответствовать требованиям времени. Нельзя отрицать, что технологическое образование в настоящее время находится в процессе значительной эволюции, обусловленной

новейшими разработками в области изучаемой информации и методик преподавания, используемых на уровнях среднего и высшего образования. Благодаря этим изменениям студенты теперь лучше, чем когда-либо, подготовлены к решению проблем современного мира и достижению успеха на быстро развивающемся рынке труда.

Что же мы предполагаем, когда говорим о навыках 21 века? Мы хорошо понимаем, что цифровой разрыв остается серьезной проблемой для многих сообществ во всем мире. Однако недавние достижения в области технологий искусственного интеллекта предлагают уникальную возможность преодолеть этот разрыв за счет повышения цифровой грамотности. Цифровая грамотность это в первую очередь содействие к доступу информации. Иными словами, доступ к информации и ресурсам, что в свою очередь развивает персонализированное обучение. Обучение, адаптированное к индивидуальным потребностям и стилям обучения. Таким образом, именно применение искусственного интеллекта или другими словами цифровых технологий обуславливает цифровую грамотность, способствующую развитию у студентов таких навыков как критическое мышление, творчество, сотрудничество, общение и компетенции в области цифровой грамотности. Назовем их основными навыками 21 века. Данные пять навыков содействуют более глубокому обучению, мышлению более высокого порядка, а также способствуют развитию контекстуального языка, например русского или английского. Особенно это функционально для студентов, изучающих второй язык (иностраный). Они призывают к теории и практике языковой социализации в рамках парадигмы системной функциональной лингвистики. Какие же образовательные технологии или цифровые инструменты способствуют развитию пяти навыков? Например, проектная технология обучения, используя инструменты искусственного интеллекта «AI Tools» способны предоставлять более доступную и актуальную информацию людям независимо от их уровня цифровой компетентности[2]. Многие исследователи в своих работах подтверждают эффективность проектной деятельности, способствующих приобретению навыков 21 века для будущих инженеров. С помощью этих проектов учащиеся могут развивать свои компетенции пяти навыков, задавая жизненно важные вопросы, собирая, оценивая и интерпретируя информацию, ставя и решая проблемы, делая выводы и предлагая обоснованные альтернативы, одновременно развивая соответствующий язык[3, 4]. Каждый педагог может использовать идеи проектов, с необходимыми изменениями в соответствии со своими контекстуальными потребностями и возможностями при обучении пяти навыков и связанному с ними языку. Они также могут добавлять к идеям проекта такие компоненты, как необходимая им оценка. В зависимости от своих потребностей и контекстуальных возможностей они могут разрабатывать, реализовывать и оценивать семестровые проекты по развитию компетенций по всем пяти навыкам. Исследователи, преподаватели

и разработчики учебных программ также могут использовать их для своих нужд, внося изменения.

Далее, компьютерное моделирование также является одной из современных технологий, которая позволяет учащимся приобретать навыки 21-го века и может преподаваться в классах технологического и инженерного образования. Экспертное мышление и сложные коммуникации занимают центральное место в компьютерном моделировании. Настоящая интеграция науки, технологий, инженерии и математики (STEM) может происходить посредством изучения визуализации и разработки как виртуальных, так и физических моделей. Эти новые навыки сегодня как никогда востребованы в современной экономике (бизнесе, промышленности). Данные навыки способствуют и непрерывному образованию. Внедрение компьютерных технологий в классах уже несколько лет оправдывают себя как своевременное, эффективное техническое средство в рамках образовательных технологий. На протяжении всей истории технологического образования использование подобных инструментов было важно для реализации характера практической учебной программы и создания артефактов [5]. Независимо от доступности самых современных технологий во всем мире, лидеры образования должны осознавать, что эти технологии стали основой, движущей силой педагогических стратегий и подходов к улучшению качества образования.

Определение экспертного мышления и комплексных коммуникативных навыков оказывается важным для студентов, поскольку они готовятся к трудоустройству на высоко конкурентном глобальном рынке труда. Экспертное мышление и комплексное общение являются частью необходимых навыков 21 века, связанных с технологическим, инженерным и дизайнерским образованием. Ученые Мурейн и Леви, в своей работе справедливо отмечают, что экспертное мышление и комплексная коммуникация должны присутствовать в учебных программах на всех уровнях, а также во многих различных дисциплинах, связанных с наукой, технологией, инженерией и математикой (STEM), чтобы страна могла оставаться конкурентоспособной на глобальном уровне [4, 6]. Экспертное мышление требует не только навыков связующего мышления и творческого подхода, но и способности решать проблемы, выходящие за рамки обычных границ. С другой стороны, интегрированная коммуникация предполагает разбиение сложной информации, а также ее передачу в разных формах разным аудиториям. И тому, и другому можно легко научиться в рамках учебной программы, основанной на психомоторных технологиях, инженерном деле и дизайне, которая в первую очередь делает упор на исследования и творчество для выполнения виртуальных и физических проектов. Экспертное мышление и сложное общение зависят от способности учащегося быть визуально грамотным и понимать роль визуализации в проектировании и дизайне, а также от того, как использовать возможности визуализации для понимания, анализа, создания точных сообщений и

общения с разной аудиторией. Сегодня, технологическое образование подразумевает совокупность программного обеспечения, приложений, которые помогают в развитии и совершенствовании навыков решения проблем, принятия решений и творческого мышления. Для достижения успеха в современном быстро меняющемся мире крайне важно обладать определенными навыками и качествами. Среди них изобретательское мышление имеет решающее значение, поскольку оно требует творческого подхода и мышления более высокого порядка. Базовая технологическая грамотность также важна в наш цифровой век, когда технологии распространены повсеместно. Более того, эффективная коммуникация посредством командной работы и сотрудничества необходима для достижения целей и преодоления проблем. Наконец, производительность можно повысить, используя фундаментальные инструменты. Эти центральные компоненты масштаба и последовательности имеют первостепенное значение для достижения успеха в любой области. Содержание и мероприятия значимым и актуальным образом основаны на академических концепциях посредством интеграции и применения науки, технологий, инженерии и математики. Это обеспечивает конкретные навыки для кластера карьеры в области науки, технологий, инженерии и математики. Поэтому, современные учебные программы, поддерживающие концепцию вычислительного моделирования, требуют от учащихся визуальной грамотности в области технологий, инженерного дела и дизайна. Другими словами, концепция вычислительного моделирования включает в себя алгоритмы, моделирование, симуляцию, компьютерную и информационную науку, а также компьютерную инфраструктуру для решения проблем, связанных с STEM [7]. Вычислительная наука на уровне среднего и высшего образования признана методом интеграции STEM из-за использования междисциплинарных подходов к преподаванию/обучению, а также использования инструментов (т. е. компьютеров) и методов (т. е. сценариев реального мира), которые помогают студентам устанавливать связи между предметными областями [8].

Таким образом, изменения и способность переориентироваться, определять области изменений позволяет будущей профессии обновлять содержание учебных программ и оставаться современной и передовой. Учебные программы занимают центральное место в идентичности профессий технологического и инженерного образования. Но при этом всё, не нужно забывать о человеческом факторе. Участия человека, в нашем случае Педагога, роль которого была, есть и будет главной составляющей в организации и проведении учебно-образовательной деятельности в рамках общего учебного процесса. Компьютерно-информационные технологии это лишь техническое средство, одно из образовательных современных технологий в руках Педагога. Никакой искусственный интеллект, не сегодня и не завтра не способен будет заменить человеческий фактор в педагогической деятельности. Психолого-педагогическая составляющая

учебно-образовательного процесса остается за педагогом. Такие феномены как мотивация, эмоциональный эффект в организации учебно-образовательного процесса способен расшифровать и соответствующе применить лишь Педагог. Именно педагог способен чувствовать аудиторию/обучающихся, каждого в отдельности, понимать их потребности, интересы, анализировать их возможности и способности, оценивать и прогнозировать их успехи, что позволяет выстраивать совершенную, индивидуальную стратегию преподавания [9, 10].

Обобщая, хотелось бы отметить, что студенты и общество получают выгоду от модернизированного технологического образования благодаря способности и желанию специалистов выявлять и предвидеть необходимые изменения. Совмещая в себе огромный образовательный потенциал, обеспечивая комфортную среду для формирования необходимых будущим специалистам компетенций. Несомненно, цифровая образовательная среда, сегодня является естественным процессом преобразования образовательной деятельности. Грамотное комбинирование образовательных технологий (традиционных и инновационных) с активным внедрением и применением цифровых технологий в образовательный процесс определяет тенденцию инновационного развития образования, способного отвечать современным реалиям. Постоянные инновации и совершенствование учебных программ жизненно важны для прогрессивного характера технологического образования. Инновации в учебных программах не только позволяют использовать современные подходы, но также позволяют внедрять новые знания и навыки, которые востребованы рабочей силой 21-го века во всем мире. И все эти успехи возможны лишь при правильном психолого-педагогическом сопровождении любого учебного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аманов М. Э., Ханбердыева Б. К. Высшее профессиональное образование в эпоху информационных технологий//Наукосфера. 2022. №9 (2). С. 31-36.
2. Parra-Valencia J. A., Massey M. L. Leveraging AI Tools for Enhanced Digital Literacy, Access to Information, and Personalized Learning //Managing Complex Tasks with Systems Thinking. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. С. 213-234.
3. Beckett G. H. Project-based learning for 21st-century skills: The five C's for 12 students. //Docens Series in Education. 2023. Т. 5. С. 40-57.
4. Beckett, G. H., Hemmings, A. Maltbie, C., Wright, K., Sherman, M., Sersion, B., & Jorgenson, S. (2015). An evaluation study of the CincySTEMiTEST projects: Experience, peersupport, professional development, and sustainability. *Journal of STEM Teacher Education*. 50 (1), 3-17.
5. Pannabecker J. R. et al. For a history of technology education: Contexts, systems, and narratives //Volume 7 Issue 1, 1995. С. 43-56.

6. Murnane R. J., Levy F. The new division of labor: How computers are creating the next job market. – Princeton University Press, 2012.

7. Clark A., Ernst J. Computational modeling: Projects and innovations for technology education //INTED2010 Proceedings. – IATED, 2010. С. 2056-2067.

8. Clark A. C., Ernst J. V. STEM-Based Computational Modeling for Technology Education //Journal of Technology Studies. 2008. Т. 34. №.1.С. 20-27.

9. Аманов М. Э. Феномен мотивации при изучении иностранных языков как объект педагогического исследования //Проблемы современной науки и образования. 2017. №. 38 (120). С. 45-52.

10. Аманов М. Э. Эмоциональный эффект как фактор формирования мотивации в организации учебно-образовательного процесса //Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2020. №.4 (67). С. 21-30.

УДК 621.785.532

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

ANALYSIS OF WEAR KINETICS OF STRUCTURAL STEEL AT DIFFERENT METHODS OF THEIR HARDENING

Пищов Михаил Николаевич, кан. техн. наук, доцент,
Бельский Сергей Евграфович, кан. техн. наук, доцент
Pishchov Mikhail Nikolaevich, can. tech. Sciences, Associate Professor,
Belsky Sergey Evgrafovich, Can. tech. Sciences, Associate Professor

*Белорусский государственный технологический университет
Belarusian State Technological University*

Аннотация: В данной статье изучена кинетика изнашивания конструкционных сталей при различных способах их упрочнения. Испытывались образцы из конструкционных сталей 25ХГТ, 40Х и 45 прошедших улучшение с последующим поверхностным упрочнением методами борирования и боросилицирования по различным схемам. Сравнительная оценка износостойкости упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементированных по заводской технологии поверхностных слоев полученных на образцах из различных сталей проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Установлено, что наибольшего значения износостойкости контактной поверхности достигается при проведении процессов борирования, а также боросилицирования.

Abstract: This article studies the wear kinetics of structural steels using various methods of their hardening. Samples of structural steels 25KhGT, 40Kh and 45 were tested and underwent improvement, followed by surface hardening using boriding and borosiliconization methods according to various schemes. A comparative assessment of the wear resistance of surface layers strengthened by boriding, borosiliconation and cemented using factory technology, obtained on samples of various steels, was carried out based on mass loss over a friction path between measurements of 10 km. It has been established that the highest wear resistance of the contact surface is achieved during boriding and borosiliconization processes.

Ключевые слова: конструкционные стали, износостойкость, твердость, поверхностный слой, поверхностное упрочнение, образцы, микротвердость, контртела, борирование, боросилицирование.

Key words: structural steels, wear resistance, hardness, surface layer, surface hardening, samples, microhardness, counterbodies, boriding, borosiliconization.

Для определения эксплуатационных характеристик упрочненных слоев в разработанных насыщающих составах и оптимизации температурно-временных параметров процесса упрочнения тяжело нагруженных деталей трансмиссий лесных машин исследована кинетика изнашивания экспериментальных образцов после проведения различной ХТО. Необходимо отметить, что как показали проведенные исследования, диффузионные слои характеризуются неоднородностью структуры и химического состава, наличием дефектов в виде пор, микротрещин, а также значительными колебаниями по толщине и твердости.

В связи с этим сопротивление изнашиванию является важным критерием физико-механических и эксплуатационных свойств, так как позволяет оценить служебные свойства материалов, упрочненных при различных условиях.

Исследования износостойкости упрочненных различными составами экспериментальных образцов проводились в лабораторных условиях. Созданная на кафедре деталей машин и ПТУ БГТУ установка для проведения испытаний по сопротивлению изнашиванию экспериментальных образцов частично моделирует реальные условия работы конструкционных деталей.

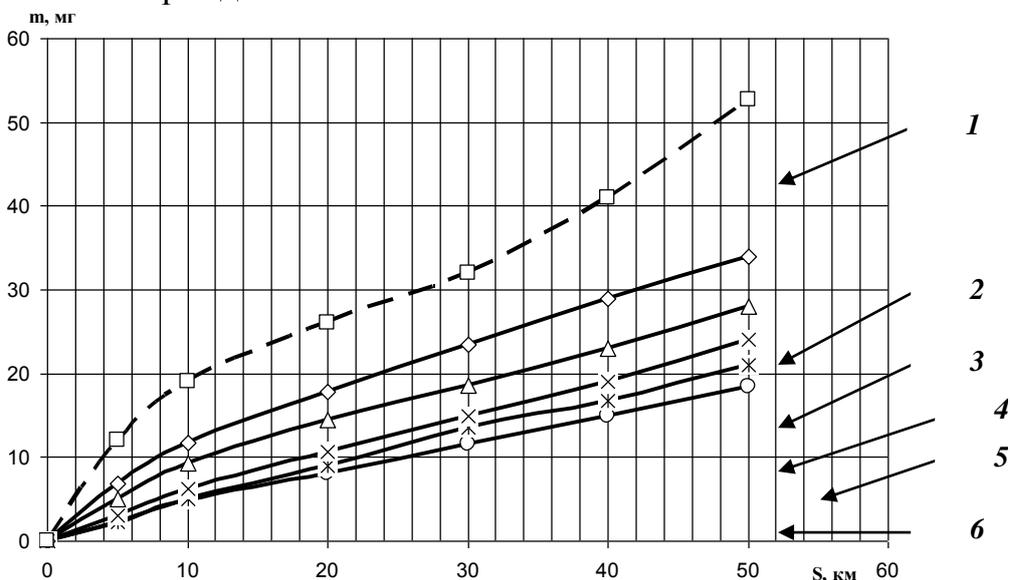
В данной работе приведены результаты исследований кинетики изнашивания образцов из материалов наиболее часто используемых для изготовления различных деталей трансмиссии лесных машин, подверженных различным методам поверхностного упрочнения [1-2]. Исследования образцов проводились в режиме полусухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы из конструкционных сталей 25ХГТ, 40Х и 45 прошедших улучшение с последующим поверхностным упрочнением методами борирования и боросилицирования по различным схемам. Для сравнения испытывались образцы из стали 25ХГТ, цементированные по заводской технологии и

сталей 25ХГТ, 40Х и 45, прошедшие предварительно улучшение и закалку ТВЧ. Температура борирования составляла 950°С, время – 2–4 часа. Боросилицирование осуществлялось при температуре насыщения 950°С, времени насыщения 2–4 часа.

При проведении исследований шероховатость контртела, выполненного из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 с твердостью HRC 64–66, поддерживалась постоянной в пределах Ra 1,25 в результате перешлифовки на заданную шероховатость [3-5]. Для создания условий, способствующих более интенсивному износу, неровности выполнялись в направлении перпендикулярном движению образца.

Сравнительная оценка износостойкости упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементирования по заводской технологии поверхностных слоев полученных на образцах из различных сталей проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Следует отметить, что полученные кривые износа (рис.1) в целом соответствуют общепринятым представлениям и зависимостям характерным для эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного нагружения [6-7].

Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации (традиционная технология при изготовлении зубчатых колес трансмиссии) характерно наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца. На первом этапе (до 20 км пробега), соответствующем периоду приработки, наблюдается более интенсивное изнашивание с потерей массы около 50% за весь период испытаний.



1—цементация; 2—боросилицирование 2 ч; 3—3,5 ч; 4—4 ч;
5—борирование 3 ч; 6—4 ч

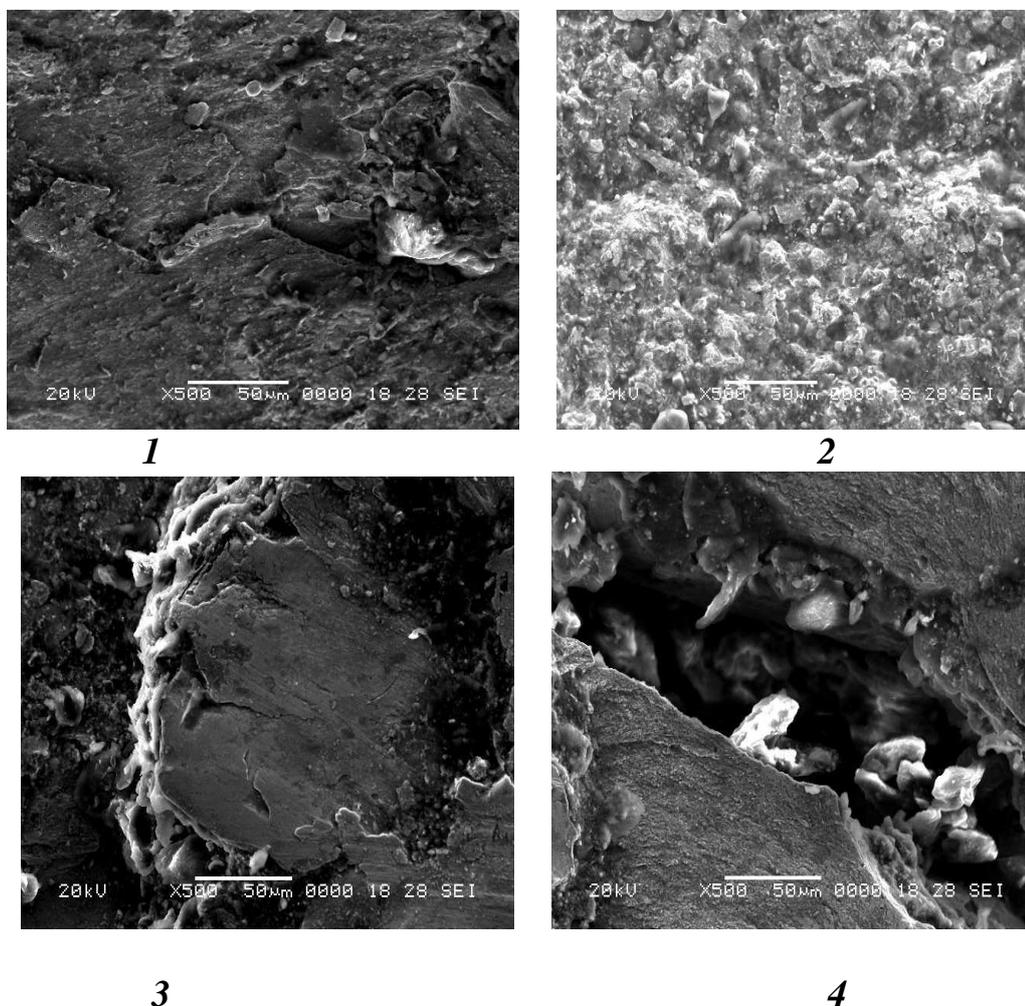
Рис.1. Изменение зависимости величины изнашивания образцов из стали 25ХГТ от пути трения при разных составах сред и времени насыщения (нагрузка 1,155 МПа)

В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной [8].

При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия.

Характер кривых изменения величины изнашивания исследованных образцов из конструкционных сталей 40Х и 45 аналогичен приведенным на рис 1 результаты для стали 25ХГТ при более высокой количественной оценке интенсивности износа.

Также было установлено, что с увеличением времени обработки до 10 ч изменяется и картина разрушения поверхности. Элементы смятия участков поверхности и выкрашивания отдельных ее фрагментов наблюдаются только при пути трения 50 км (рисунок 2), что подтверждает результаты испытаний на сопротивление изнашиванию.



1 – путь трения 5 км, 2 – 20 км, 3 – 40 км, 4 – 50 км

Рис. 2. Кинетика изнашивания образцов стали 25ХГТ, упрочненных цементацией при времени 5 ч при нагрузке 3,5 МПа

Полученные результаты исследований позволяют определить рациональные параметры процесса поверхностного упрочнения, обеспечивающие требуемую износостойкость поверхностного упрочненного слоя деталей трансмиссий лесных мобильных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пищов М.Н. Кинетика изнашивания деталей трансмиссии лесных машин, упрочненных комплексным борированием // Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и сплавов: материалы Междунар. научн. конф., Москва, 2009. – М., 2009. – С. 179–187.

2. Макаревич С.С. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов // С.С. Макаревич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Серия П «Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2009. Выпуск XVII. – С. 327–330.

3. Бельский С.Е. Влияние параметров диффузионного упрочнения на шероховатость поверхности обработанных деталей и стабильность их размеров // Труды БГТУ. Сер.П лесн. и деревообраб. пром-сти. 2002. Вып. X. – С. 204–207.

4. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И., Бельский С.Е. Влияние механических колебаний на качество диффузионного слоя стальных деталей при низкотемпературной карбонитрации // Труды БГТУ. Сер.П лесн. и деревообраб. пром-сти. 2000. Вып. II. – С. 207–213.

5. Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние высокочастотных механических колебаний при поверхностном упрочнении на формирование и структуру упрочненных слоев конструкционных сталей // Литье и металлургия, 2003. № 2. – С. 124–127.

6. Ворошнин Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович // – М.: Металлургия, 1978. – 230 с.

7. Ляхович Л.С. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Г.Г. Панич. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 289 с.

8. Ситкевич М.В. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин / М.В. Ситкевич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Литье и металлургия. Мн., 2008. – С. 140–146.

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ НА 3-D ПРИНТЕРЕ

Лапко Ольга Павловна, магистрант
Ковалева Ирина Львовна, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
0603ola@gmail.com

PREPARING DATA FOR DIAGNOSING THE 3D PRINTING PROCESS

Аннотация: 3D-печать - это процесс создания трехмерных объектов путем нанесения слоев материала на основе цифровой модели с помощью 3D-принтера. Для достижения максимального результата необходима настройка параметров, таких как температура печати, скорость движения печатающей головки, высота слоя, заполнение модели и других. А для избежания большого количества перепечатываний нужна диагностика процесса печати. Все это возможно сделать с помощью слайсера Cura. Он является одним из лучших, так как имеет большое количество параметров для настройки. Также Cura позволяет пользователю в некоторой степени контролировать движение экструдера. В слайсере можно посмотреть траекторию экструдера на каждом слое.

Abstract: 3D printing is a process of designing three-dimensional objects. Technology is based on applying layers one on top of the other by the pattern (digital model). Parameter setting such as printing temperature, print head speed, layer height, model filling, etc is required to achieve the maximum result. Printing diagnostics is required to avoid a huge number of reprintings. All of those things can be done with Cura. It is one of the best because it has many setting options. Also Cura allows user to control extruder movement. It's possible to see extruder trajectory on each layer.

Ключевые слова: 3D-принтер, разработка модели, параметры печати, Cura Ultimaker, слой

Key words: 3D-printer, 3D model design, print options, Cura Ultimaker, layer

Введение. 3D-печать - технология, позволяющая создавать объекты путем наложения материала. Существуют различные технологии печати, такие как экструзия, порошковый метод и многоструйное моделирование, и, соответственно, разные типы принтеров.

Перед печатью необходимо разработать и построить 3D-модель печатаемого объекта. Для этого, в зависимости от предъявляемых требований, можно использовать различные приложения. К примеру, для

разработки деталей с четкими размерами используются САД-системы. Одной из программ, удобных для создания моделей под печать, является КОМРАS 3D.

Когда модель детали разработана, ее необходимо экспортировать в 3D-файл и обработать слайсером для нарезки на слои и вывода в виде G-кода (Gcode). G-код по сути, представляет собой просто текстовый документ со списком команд для 3D-принтера, которые нужно прочитать и выполнить 3D-принтеру, например, установить температуру экструдера, переместить экструдер в заданном направлении и т. д.

В научно-исследовательской лаборатории ФИТР в БНТУ занимаются разработкой конструкции строительного 3D-принтера для печати промышленных изделий [1]. На текущий момент в конструкции 3D-принтера не предусмотрена система диагностики процесса печати. Отсутствие мониторинга может привести к тому, что принтер будет продолжать печать в случаях различных форс-мажоров, например, если будет использована некачественная смесь. Раствор может «поползти», а принтер при этом продолжит печатать. В случае печати громоздких и сложных изделий будут впустую потрачены время и материалы, которые можно было бы сэкономить при отслеживании процесса печати. Для диагностики параметров печати предлагается использовать возможности слайсеров.

Настройка параметров процесса печати. Для диагностики параметров процесса печати в большинстве популярных 3D-слайсерах реализована возможность просмотра G-кода, в котором отражены все параметры печати. Но в некоторых из них из-за проблем с синхронизацией визуализация может опережать реальный процесс на несколько секунд. Например, G-кода viewer в OctoPrint достаточно точно попадает в синхронизацию с реальным прогрессом печати. А вот в мобильном приложении OctoRemote рассинхронизация может составлять несколько слоев.

В качестве слайсера для описанного выше 3D-принтера удобно использовать Cura (продукт компании Ultimaker), который можно считать общим стандартом [2]. Слайсер совместим с большинством 3D-принтеров, поддерживает множество форматов файлов 3D-моделей, таких как STL, 3MF, OBJ, X3D. Функционал слайсера, как и список форматов, можно легко расширить с помощью плагинов. В открыт доступ к G-коду, а также существует возможность его редактирования. В случае необходимости устранения проблем с 3D-печатью, можно перейти к этому коду и отрегулировать скорость вращения вентиляторов, высоту слоев и температуру горячего конца в разных точках.

Перед началом работы Cura должна иметь информацию о конкретных характеристиках используемого 3D-принтера. Для этого выполняется настройка профиля, в ходе которой задаются область печати, объем сборки, размер сопла, количество экструдеров и т. д. (рис.1). В Cura существует много уже настроенных профилей для разных принтеров, однако для

настройки характеристик описанного выше 3D-принтера применялся "Пользовательский принтер FFF", где параметры определялись вручную.

Кроме панели настройки принтера в Cura есть еще панель для настройки материалов и температуры и панель для настройки печати. Настройки в Cura удобны тем, что в них предусмотрены всплывающие подсказки.

Результаты печати определяются параметрами, заданными в панели настроек печати. В ней имеется два режима: рекомендуемый режим с наиболее часто используемыми настройками и пользовательский режим для более тонкой настройки процесса 3D-печати.

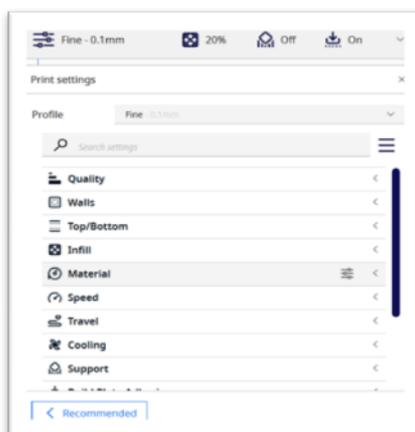


Рис.1. Настройка профиля

Рекомендуемый режим можно использовать на предварительном этапе для тестирования проблем, возникающих при взаимодействии программного обеспечения с 3D-принтером (рис.2).

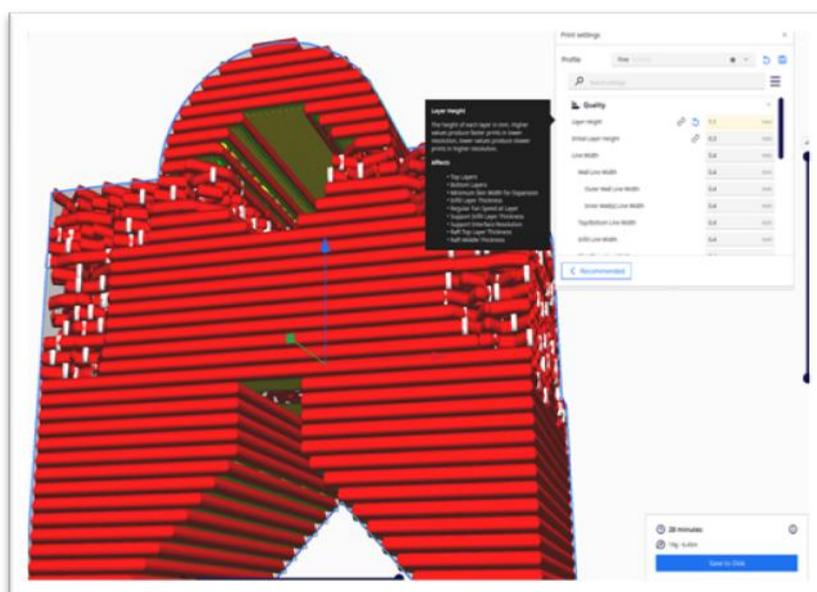


Рис.2. Измененная высота слоя

Важным режимом с точки зрения диагностики процесса печати является пользовательский режим. В нем пользователь может настроить по своему усмотрению высоту каждого отдельного слоя), плотность заполнения, параметры поддержки и настройку первого слоя и др. Выбор каждого из перечисленных параметров является своеобразной задачей принятия решений. Например, чем ниже высота слоя, тем лучше качество печати. Но, чем ниже высота слоя, тем больше времени займет печать. Виды пользовательских настроек приведены на рис.3.

Базовые настройки программы Cura (для диаметра сопла 0.4 мм и пластиковой нити 1.75мм)

Перед началом печати проверить зазор между соплом и стеклом столика
 Нанести на поверхность стекла слой клея (Клей-карандаш)
 Перед извлечением пластиковой нити из экструдера, сначала выдвинуть немного пластика, а уже затем извлекать
 Перед выключением принтера дождаться, пока охладится экструдер

Качество:			
Высота слоя	0,2 (хорошее)	0,3 (среднее)	мм
Высота первого слоя	0,3		мм
Ширина линии	0,4		мм
Ширина линии юбки/каймы	0,4		мм
Ограждение:			
Количество линий стенки	3		
Слои крышки	5		
Слои дна	5		
Шаблон для крышки/дна	Линии		
Заполнение зазоров между стенками	Нигде (Поставить "Везде" при необходимости)		
Печать тонких стенок	Да		
Выравнивание шва по оси Z	Острейший угол		
Настройки угла шва	Спрятать шов		
Заполнение:			
Плотность заполнения	0 (пустотелое)	20 (нормальное)	100 (цельное) %
Шаблон заполнения	Линии		
Материал			
Температура сопла	200-220 PLA	230	PETG
Температура стола	65		
Температура стола для первого слоя	65		
Поток	100		
Скорость			
Скорость печати	35 мм/с		
Скорость заполнения	40 мм/с		
Скорость печати стенок	35 мм/с		
Скорость печати внешней стенки	30 мм/с		
Скорость крышки/дна	35 мм/с		
Скорость перемещения	70 мм/с		
Скорость первого слоя	35 мм/с		
Скорость юбки/каймы	35 мм/с		
Перемещение			
Разрешить откат	да		
Величина отката	2 мм		
Скорость отката	60 мм/с		
Минимальное перемещение при откате	5 мм		
Избегать напечатанных поверхностей при перемеще	да		
Охлаждение			
Включить вентиляторы	да/нет (в зависимости от детали)		
Обычная скорость вентилятора	70 %		
Начальная скорость вентилятора	0 %		
Обычная скорость вентилятора на слое	5		
Генерация поддержек			
Размещение поддержек	да/нет (в зависимости от детали)		
Шаблон поддержек	везде		
Плотность поддержек	линии		
Зазор поддержки сверху	40		
Зазор поддержки по осям X/Y	0,1 мм		
	1 мм		
Тип прилипания к столу			
Количество линий юбки	Юбка Кайма	2	20
Дистанция до юбки		3	мм

Рис.3. Виды пользовательских настроек

Настройка параметров при 3D-печати очень важна для достижения желаемого результата. Вот некоторые из основных параметров, которые можно настроить:

1. Температура печати: различные материалы требуют разных температур для плавления и нанесения. Например, пластиковые материалы, такие как PLA или ABS, имеют разные температурные диапазоны плавления. Правильная температура позволяет материалу правильно плавиться и отверждаться, обеспечивая качественную печать.

2. Скорость движения печатающей головки: скорость перемещения головки также может влиять на качество печати. Слишком высокая скорость может привести к неоднородности и деформации слоев, а слишком низкая скорость может привести к излишней нагрузке на головку и увеличению времени печати. Оптимальная скорость зависит от материала и требуемых характеристик печати.

3. Заполнение модели: заполнение модели определяет структуру внутри объекта. Это может быть сплошное заполнение, сетчатое заполнение или другие варианты. Выбор заполнения зависит от требуемой прочности, веса и структуры объекта.

В Cura можно посмотреть слои, на которые предварительно нарезается модель при подготовке к печати (рис.4). Такая информация особенно важна, когда модель имеет сложную внутреннюю структуру. Режим просмотра позволяет определить, что необходимо изменить.

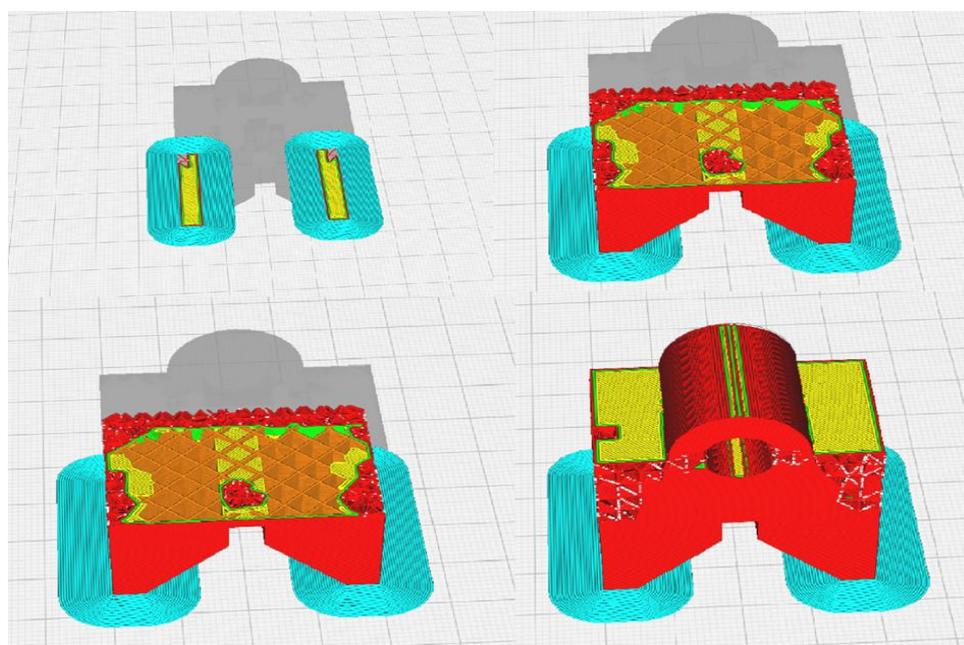


Рис. 4. Нарезка на слои

Траектория движения экструдера в 3D-принтере зависит от конкретной модели и настроек печати. Обычно экструдер перемещается по координатам X, Y и Z, нанося пластиковую нить на поверхность печати. При этом он может двигаться в разных направлениях и с разными скоростями в

зависимости от сложности модели и требуемого качества печати. Важно правильно настроить траекторию движения экструдера, чтобы получить качественный и точный результат. В Cura имеется возможность просмотра траектории движения экструдера при печати каждого из слоев (рис. 5).

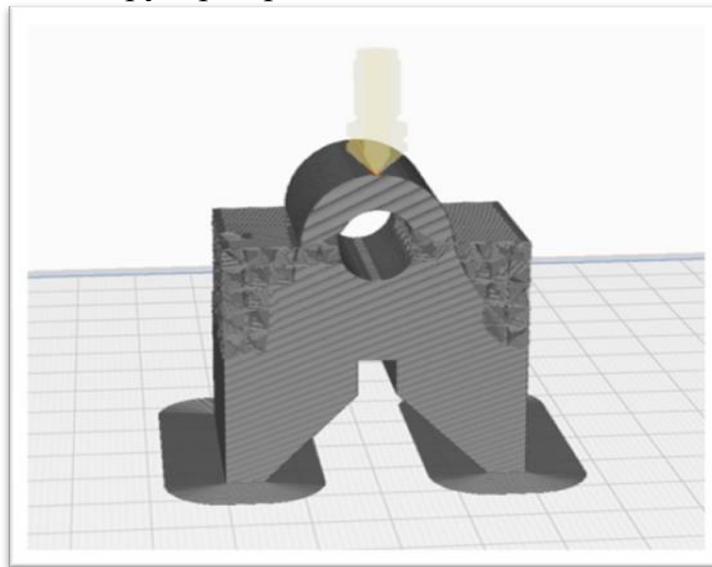


Рис. 5. Движение экструдера

Отслеживание печати в режиме реального времени. С целью дополнительного контроля процесса 3D-печати рекомендуется организовать систему отслеживания работы 3D-принтера в режиме реального времени. Основными элементами такой системы являются источник бесперебойного питания, который позволит обеспечить безотказную работу 3D-принтера, и устройство дистанционного отключения электропитания, которое представляет собой программируемый сетевой фильтр с LAN или wi-fi интерфейсом. Встроенный web-сервер обеспечит подключение к локальной сети и позволит дистанционно управлять электропитанием. Наблюдение за процессом работы 3D-принтера можно осуществлять с помощью камеры.

Заключение. Использование двух подходов к диагностике процесса печати позволит не только получить промышленное изделие высокого качества в ожидаемое время, но и уберечь 3D-принтер от поломок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапко О.П., Ковалева И.Л. Отслеживание процесса печати на строительном 3D-принтере.// Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы XI международной научно-практической конференции /ред.кол.: Околов А.Р. (гл.ред.) [и др.] Минск: Бизнесофсет, 2023 – С. 89-90.
2. Топ лучших бесплатных программ слайсеров для 3D-печати в 2022 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cvetmir3d.ru/blog/news/top-luchshikh-programm-slayserov-dlya-3d->

УДК 004.4

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ В ANSYS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМАНДНОГО ФАЙЛА ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Напрасников Владимир Владимирович, к. т. н., доцент,

Ковалева Ирина Львовна, к. т. н., доцент,

Полозков Юрий Владимирович, к. т. н., доцент,

Ван Цзыжуй, аспирант

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: n.v.v@tut.by

OPTIMIZATION CALCULATION IN ANSYS USING A COMMAND FILE WHEN TEACHING STUDENTS AND UNDERGRADUATES

Аннотация: Одним из возможных подходов при формировании оптимизационной модели в среде является использование встроенного языка APDL. При обучении студентов и магистрантов на специальностях, связанных с разработкой программного обеспечения, предпочтителен именно такой подход. Приведен пример использования построения командного файла в реальном учебном процессе на демонстрационной задаче.

Ключевые слова: оптимизационная модель язык APDL, обучение студентов, ANSYS.

Abstract: One of the possible approaches to creating an optimization model in the environment is to use the built-in APDL language. When teaching students and undergraduates in specialties related to software development, this approach is preferable. An example of using the creation of a command file in a real educational process on a demonstration task is given.

Keywords: optimization model, APDL, student training, ANSYS.

Введение. Программа ANSYS располагает возможностями не только для однократного расчета конструкции, но и для поиска ее оптимального варианта (оптимального проекта). При этом, согласно [6-12] оптимальным является проект, отвечающий всем предъявляемым требованиям и имеющий минимальные значения определенных показателей, таких как вес, площадь поверхности, объем, напряжения, собственные частоты и т. п.

Оптимизация в ANSYS. В ANSYS доступны различные методы и средства оптимизации. Следует сразу указать разницу между ними. Методы оптимизации (methods) обеспечивают оптимизацию целевой функции путем варьирования входных параметров. Средства оптимизации (tools) обеспечивают получение нескольких наборов выходных параметров (целевая

функция, переменные состояния) при изменении входных параметров по заданному закону, оптимизацию целевой функции они не производят.

Перед описанием методики оптимизации проекта в ANSYS, необходимо определить некоторые термины, используемые в ANSYS.

Переменные проекта (design variables) – это параметры, которые изменяются с целью нахождения оптимального проекта. Для переменных проекта указываются ограничения – минимальное и максимальное значения. Эти значения определяют диапазон изменения переменных проекта. Переменными проекта обычно являются геометрические параметры, такие как длина, толщина, диаметр или координаты точек. Переменные проекта могут принимать только положительные значения.

Переменные состояния (state variables) – это параметры, на которые наложены ограничения для проекта. Они также называются зависимыми переменными. Как правило, они представляют собой параметры отклика, являющиеся функциями переменных проекта. Переменные состояния могут быть ограничены максимальным и минимальным значениями или иметь только одно из этих ограничений. Примерами переменных проекта являются напряжения, температуры, скорости тепловых потоков, собственные частоты, деформации. Однако, переменная состояния не обязательно должна быть вычисляемой величиной, в качестве переменной состояния может быть указан любой параметр.

Целевая функция (objective) – это зависимая переменная, которую требуется минимизировать. Она должна быть функцией переменных проекта, т. е. изменение значений переменных проекта должно изменять значение целевой функции. В оптимизационной задаче может быть определена только одна целевая функция.

Переменные проекта, переменные состояния и целевая функция обобщенно называются переменными оптимизации (optimization variables). Пользователь должен указать, какие параметры в модели являются переменными проекта, переменными состояния, и целевой функцией.

Набор параметров проекта, или проект (design set, design) – это набор значений параметров, представляющих какую-либо конфигурацию модели. Как правило, набор параметров проекта характеризуется значениями переменных оптимизации, однако в него включаются все параметры модели, в том числе и те, которые не являются переменными оптимизации.

Возможный проект (feasible design) – это проект, удовлетворяющий всем указанным ограничениям на переменные состояния и переменные проекта. Если хотя бы одно из ограничений не соблюдается, проект называется невозможным (infeasible design).

Наилучший проект (best design) – тот, который удовлетворяет всем ограничениям и обеспечивает минимальное значение целевой функции. Если все проекты являются невозможными, наилучшим является проект, наиболее близкий к тому, чтобы быть возможным, вне зависимости от значения целевой функции.

Методы оптимизации производят минимизацию целевой функции. В программе доступны два метода: метод аппроксимации (subproblem approximation method) и метод первого порядка (first order method). Метод аппроксимации – это метод нулевого порядка, обеспечивающий эффективное решение большинства конструкторских задач. Метод первого порядка основан на оценке чувствительности проекта к изменению определенных факторов и более подходит для решения задач, требующих высокой точности.

Кроме того, пользователь может применить другой оптимизационный алгоритм, в этом случае алгоритм ANSYS будет пропущен.

Как при использовании метода аппроксимации, так и метода первого порядка, программа выполняет серию итераций. В течение каждой итерации выполняется расчет начального проекта, оценивается соответствие результатов расчета определенным критериям качества и, при необходимости, осуществляется изменение проекта. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут выполнены определенные условия.

Переменные состояния и ограничения на переменные проекта используются, чтобы ограничить изменения в проекте и приводят к оптимизационной задаче с ограничениями. ANSYS преобразует эту задачу в оптимизационную задачу без ограничений. При проведении оптимизации по каждому из методов, программа учитывает ограничения, наложенные на переменные состояния, добавляя к целевой функции штрафные функции.

К сожалению, в последних версиях ANSYS разработчики исключили ранее присутствовавший там пункт Design Opt из меню Main Menu, где удобно было работать с компонентами оптимизационной модели в диалоговом режиме.

В тоже время, команды процессора Opt хотя и не документированы, но доступны по-прежнему (такие как OPVAR, OPTYPE, OPANL, OPXHE). Описание этих команд присутствуют, например в 10 и 11 версиях. Поэтому остается возможность использовать командный файл для создания оптимизационной модели и поиска оптимального решения.

Целесообразность использования языка APDL при обучении. При обучении студентов и магистрантов на специальностях, связанных с разработкой программного обеспечения, предпочтителен подход, опирающийся на использование языка APDL [1-5]. В этом случае обучающиеся, во-первых, реализуют навыки программирования, полученные ими ранее при изучении других языков и технологий программирования, и, во-вторых, изучают новый язык программирования. С помощью APDL обучающиеся могут разработать и настроить расчетную модель для заданной технической системы. Также с помощью командного файла можно расширить набор методов, используемых для оптимизации.

Рассмотрим реализацию предлагаемого подхода на демонстрационной задаче, расчетная схема для которой представлена на рисунке 1. К шарнирно опертой балке приложена сила 2000 Н. Целью оптимизации является

минимизация веса (объема) балки без превышения допустимого напряжения в ее материале. Для этого требуется отыскать оптимальные параметры поперечного сечения балки, однако ширина и высота поперечного сечения балки не могут быть меньше 10 мм. Максимальное напряжение в любой точке балки не должно превышать 200 МПа. Сталь, из которой изготовлена балка, обладает следующими характеристиками: модуль упругости равен 200 ГПа, коэффициент Пуассона равен 0.3.

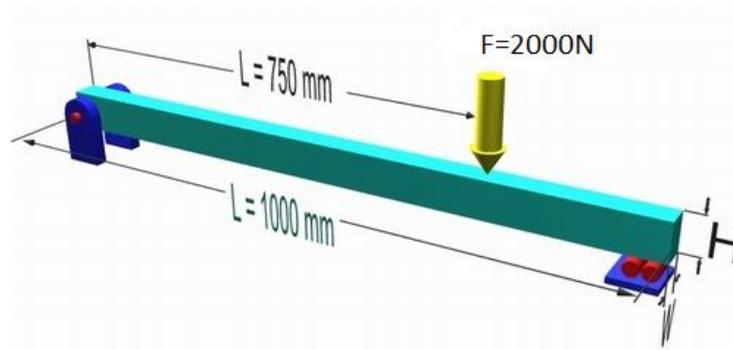


Рис. 1. Расчетная схема

Для решения этой задачи на первом этапе с использованием языка APDL создаем расчетную модель.

Вид командного файла представлен ниже.

```

/BATCH
/TITLE, Design Optimization
W = 0.02 !width
H = 0.02 !height
/PREP7
K, 1,0,0, ,
K, 2,1,0, ,
L, 1, 2
HPTCREATE, LINE, 1, 0, RATIO, 0.75,
ET, 1, BEAM3 !set type
!W*H - cross-sectional area
!W*H**3)/12 - area moment of inertia
!H - total beam height
R, 1, W*H, (W*H**3)/12, H, , , ,
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP, 1, 0
MPDATA, EX, 1, , 200e9 !модуль упругости
MPDATA, PRXY, 1, , 0.3 !коэффициент Пуассона
LESIZE, ALL, 0.1, , , , 1, , , 1,
LMESH, ALL
FINISH
/SOL
/GO

```

```

DK, 1, , , , 0, UX, UY, , , , ,
DK, 2, , , , 0, UY, , , , ,
FK, 3, FY, -2000
SOLVE
FINISH
/POST1
AVPRIN, 0, ,
ETABLE, EVolume, VOLU,
SSUM
!получение объема балки в качестве параметра
*GET, Volume, SSUM, , ITEM, EVolume,
!создание таблицы максимальных напряжений в узле I
AVPRIN, 0, ,
ETABLE, SMax_I, NMISC, 1
ESORT, ETAB, SMax_I, 0, 1, ,
!получение максимального напряжения в узле I
*GET, SMaxI, SORT, , MAX
!создание таблицы максимальных напряжений в узле J
AVPRIN, 0, ,
ETABLE, SMax_J, NMISC, 3
ESORT, ETAB, SMax_J, 0, 1, ,
!получение максимального напряжения в узле J
*GET, SMaxJ, SORT, , MAX
*SET, SMAX, SMAXI>SMAXJ

```

После выполнения этого файла следует проверить, что среди скалярных параметров появились SMAX, Volume, W и H.

Теперь можно перейти к настройке оптимизационной модели. Это выполняется следующим образом

```

! Сохранение файла
LGWRITE,'MyResults','ans','G:\ansys7\results'
! Вход в модуль оптимизации
/OPT
! Открытие файла задачи для оптимизации
OPANL,'MyResults','ans','G:\ansys7\results'
!+++++
! Задание параметров оптимизации !
! ПЕРВОЕ: Задание переменных проекта DV's!
OPVAR, W, DV, 0.01, 0.05, 0.00001,
OPVAR, H, DV, 0.01, 0.05, 0.00001,
! ВТОРОЕ: Задание переменных состояния SV's!
! Задание изменения границ максимальных напряжений
OPVAR, SMAX, SV, 195e6, 200e6, 0.001e6,
! ТРЕТЬЕ: Задание целевой функции OV
! В нашем случае это объем материала Volume

```

```

OPVAR, Volume, OBJ, , , ,
!+++++
! ЧЕТВЕРТОЕ: Выбираем МЕТОД
! Метод квадратичной аппроксимации
OPTYPE, SUBP      ! Выбор метода решения задачи оптимизации
OPSUBP, 30, 10,   ! Параметры этого метода
OPEQN, 1, 1, 1,1,1, ! Квадратичные и перекрестные члены учтены
                   ! для целевой функции (первый параметр равен 0)
                   ! Квадратичные и перекрестные члены учтены
                   ! для переменных состояния (второй параметр равен 3)
! Команда на запуск оптимизации
OPEXE
+++++
! Вывод результатов в текстовом виде
OPLIST, ALL, , 0
! Вывод результатов в графическом виде
PLVAROPT, W
PLVAROPT, H
PLVAROPT, SMAX
PLVAROPT, Volume

```

Например, в соответствии с командой OPLIST, ALL получим наборы, представленные на рисунке 2. Символом “*” отмечен наилучший набор параметров.

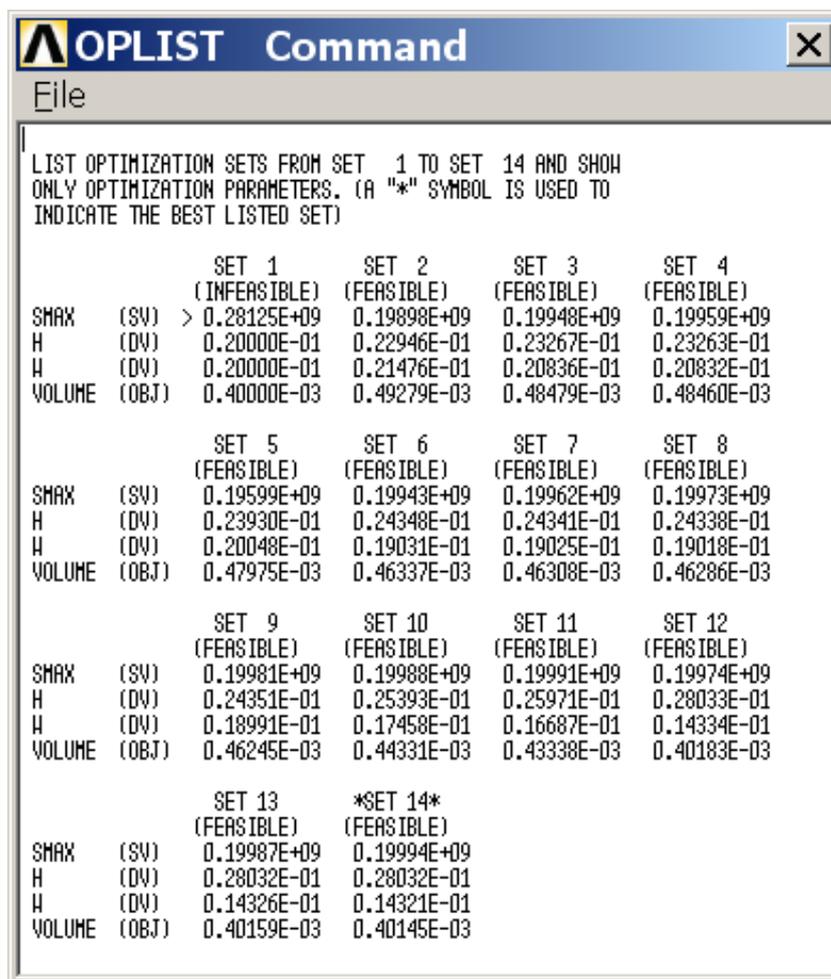


Рис. 2. Варианты проектов, полученных в ходе оптимизации

Заключение. Использование предлагаемого подхода дает возможность преподавателям разрабатывать интересные и актуальные задания для подготовки специалистов широкого профиля, адаптированных под реальные производственные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Напрасников В. В., Напрасникова Ю. В., Соловьев А. Н., Скалиух А. С. Построение конечно-элементной модели на основе языка APDL. Учебно-методическое пособие – Минск: БНТУ, 2009. –51 с.
2. Напрасников В. В., Напрасникова Ю. В., Соловьев А. Н., Скалиух А. С. Создание конечно-элементной модели для расчета контейнера в процессе прессования порошковой заготовки: Лабораторный практикум – Минск: БНТУ, 2008. – 89 с.
3. Напрасников В.В., Бородуля А.В., Кочуров В.А. Конечно-элементное моделирование в ANSYS в режиме удаленного доступа к суперкомпьютеру «СКИФ» Учебно-методическое пособие – Минск: БНТУ, 2008. –65 с.

4. Напрасников В.В., Напрасникова Ю.В., Соловьев А.Н., Скалиух А.С. Моделирование колебаний рамной конструкции на основе метода конечных элементов. Учебно-методическое пособие – Минск: БНТУ, 2010. –43 с.
5. ANSYS. Basic Analysis Procedures Guide. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
6. ANSYS. Commands Reference. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
7. ANSYS. Elements Reference. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
8. ANSYS. Theory Reference. Rel. 5.3. Ed. P. Kothnke / ANSYS Inc. Houston, 1994.
9. ANSYS. Verification Manual. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
10. ANSYS 5.7 Theory Reference. ANSYS Inc., 2001.
11. ANSYS 5.7 Advanced Analysis Techniques Guide. ANSYS Inc., 2001.
12. Сергейкин О.А. обзор оптимизационных возможностей программы ANSYS. <http://sergeykin.hotbox.ru>

УДК 004

ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НАД ПРОЕКТАМИ

Ошуковская Ольга Эдуардовна, магистрант, ассистент
Ковалева Ирина Львовна, к.т.н., доцент
Белорусский Национальный технический университет
olga.oshukovskaya99@gmail.com

APPROACHES TO ORGANIZING STUDENTS' COLLECTIVE WORK ON PROJECTS

Аннотация: Работа посвящена созданию и разработке собственной внутривузовской системы для организации студенческих коммуникаций. Проанализированы преимущества и недостатки имеющихся аналогов. Одной из характерных проблем существующих систем является их сложность и специфичность для учебных целей. Для их решения был осуществлён обзор подходов построения командной работы студентов на примере выполнения курсового или дипломного проектирования.

Abstract: The work is devoted to the creation and development of own intra-university system of the organization of student communications. The advantages and disadvantages of available analogues are analyzed. One of the problems with existing systems is their complexity and specificity for educational purposes. For their solution, a review of the approaches to students teamwork building on the example of course or diploma design.

Ключевые слова: организация обучения, командная работа, типология disc, разработка системы

Key words: organization of education, team work, disc typology, system development

Введение. Современное общество предъявляет ряд требований к содержанию, процессу и организации обучения в высших учебных заведениях (вузах). Среди них максимальное приближение обучения к реальным условиям общения, делового взаимодействия, межличностного сотрудничества. Для выполнения этих требований может использоваться командная форма организации обучения студентов. При командной форме организации обучения открываются возможности проявления жизненной активности студентов, удовлетворения потребностей личности в команде; существование собственной точки зрения порождает социальную активность [1].

С работой в команде студенты чаще всего сталкиваются в ходе выполнения курсовых или дипломных проектов, когда их индивидуальное задание является частью одной темы. И тогда организация командной работы, другими словами, ведение проекта, становится самой важной задачей, от которой, по сути, зависит весь результат.

Формирование команды является первой задачей руководителя проекта. И, как показывает опыт, ошибочным является вариант разрешить студентам самим определить состав своей команды. Как правило, студенты делают выбор членов своей команды, ориентируясь не на навыки или желание других работать над какой-либо темой, а исходя из уровня приятельских отношений. Часто более активный и знающий студент, объединяется со своими менее активными и компетентными приятелями. А потом всю основную работу приходится делать ему одному. В итоге велика вероятность невыполнения проекта.

DISC-подход. Для формирования команды предлагается использовать DISC-подход. DISC — группа психологических описаний, основанная на работах психолога Уильяма Марстона (1893—1947). Это четырехсекторная поведенческая модель для исследования поведения людей в окружающей их среде или в определённой ситуации. DISC рассматривает стили поведения и предпочтения в поведении. [2]

При оценке поведения человека выделяют четыре аспекта, говорящих о предпочтениях человека в ассоциациях слов. Все они зашифрованы в названии модели — DISC:

- D — Dominance (Господство) — характеристика способности к руководству;
- I — Influence (Влияние) — характеристика социальных связей и коммуникабельности;
- S — Steadiness (Устойчивость) — характеристика терпения, постоянства, заботы;
- C — Compliance (Соответствие) — характеристика организованности, добросовестности.

Типы личности по типологии DISC представлены на рис. 1.

Среди студентов редко встречаются такие, у которых уже четко определен какой-нибудь один поведенческий тип. Чаще всего студенты еще проходят этап своего личностного формирования, поэтому в их поведении могут быть заметны два поведенческих типа. Обычно в человеке сочетаются «граничащие» цвета.

«DI-ID», Красно-жёлтый и Жёлто-красный, Вдохновитель.

Такие люди стремятся очаровывать людей, влиять на них. Для них очень важно лидировать за счет личной харизмы и/ или настойчивого убеждения.

«IS-SI», Жёлто-зелёный и Зелёно-жёлтый, Связой.

С этими людьми легко общаться. Они относятся к другим с большим вниманием, теплом и пониманием. Они гостеприимны и преданы друзьям.

Среди студентов редко встречаются такие, у которых уже четко определен какой-нибудь один поведенческий тип.

Чаще всего студенты еще проходят этап своего личностного формирования, поэтому в их поведении могут быть заметны два поведенческих типа. Обычно в человеке сочетаются «граничащие» цвета.

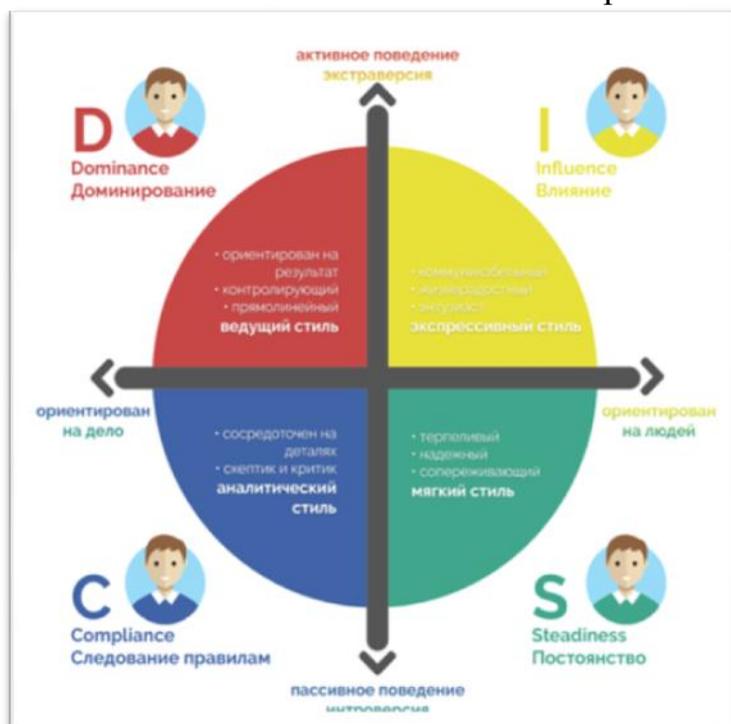


Рис.1. Типы личности по типологии DISC

«DI-ID», Красно-жёлтый и Жёлто-красный, Вдохновитель.

Такие люди стремятся очаровывать людей, влиять на них. Для них очень важно лидировать за счет личной харизмы и/ или настойчивого убеждения.

«IS-SI», Жёлто-зелёный и Зелёно-жёлтый, Связой.

С этими людьми легко общаться. Они относятся к другим с большим вниманием, теплом и пониманием. Они гостеприимны и преданы друзьям.

«SC-CS», Зелёно-синий и Сине-зелёный, Координатор.

Такие люди обычно надежны и усидчивы при выполнении заданий. Они долго размышляют, прежде чем принять решение или дать согласие, но затем на них можно положиться.

«DC-CD», Красно-синий и Сине-красный, Исполнитель.

Эти люди склонны проявлять агрессивность, когда стремятся добиться совершенства во всем, что они делают. Они всегда в первых рядах в разработке новых концепций, внедрении инноваций.

«IC-CI», Жёлто-синий и Сине-жёлтый.

Это противоречивое сочетание противоположных поведенческих типов. Очень редкий тип. Такие люди стремятся добиться громкого успеха, но готовы поделиться им с другими. Им свойственно стремление ко всему новому.

«DS-SD», Красно-зелёный и Зелёно-красный:

Это самый сложный и противоречивый поведенческий тип. Такие люди встречаются очень редко. Людям с таким поведенческим типом свойственно развивать бурную деятельность. Они предприимчивы, упорны и настойчивы в выполнении любых задач, поэтому часто добиваются успеха.

Для того, чтобы команда работала эффективно, нужно добиться баланса цветотипов.

DISC-овое Колесо Успеха, которое показывает принцип сочетания и взаимодействия цветотипов, представлено на рис. 2.

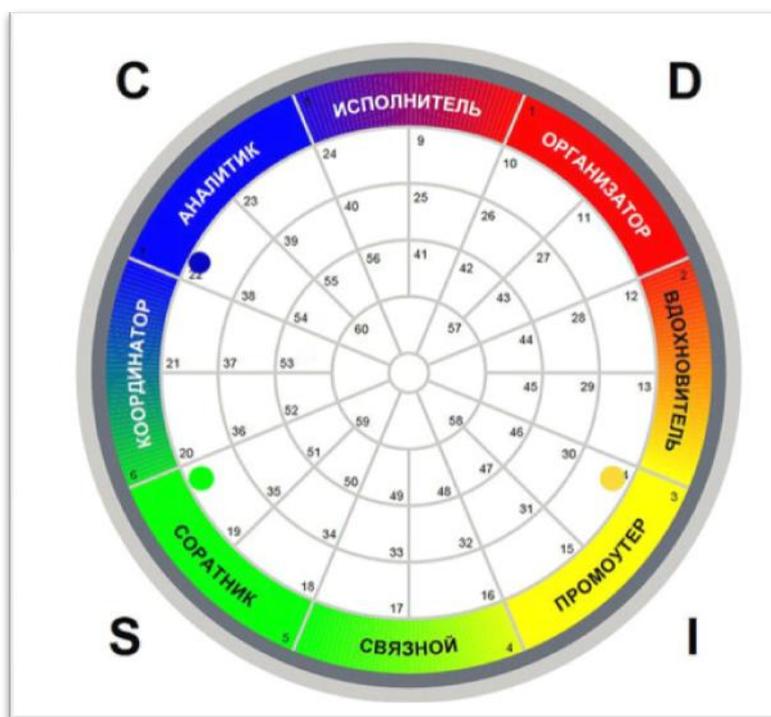


Рис. 2. Колесо Успеха

В настоящее время существует множество инструментов для управления проектами, которые позволяют планировать проекты, управлять ресурсами, следить за прогрессом. К наиболее популярным можно отнести инструменты

Jira, YouGile, Trello, Bitrix24, Asana. В сфере информационных технологий широкое распространение получила система Jira [3], предназначенная для отслеживания ошибок и задач.

Одна из страниц системы Jira представлена на рис. 3.

Однако перечисленные системы являются достаточно сложными и специфичными для использования в учебных задачах, таких как студенческие курсовые и дипломные проекты. Эти системы часто адаптированы для предприятий, где существует иерархия и различные должности. В учебной среде, где студенты обладают более равным статусом, может потребоваться альтернативный подход к управлению проектами.

Поэтому разработка системы для организации командной работы студентов с учетом поведенческой модели каждого из участников, описанной в DISC-подходе, и с набором функций и модулями, адаптированными под специфику студенческой среды и вузовских требований, является актуальной задачей.

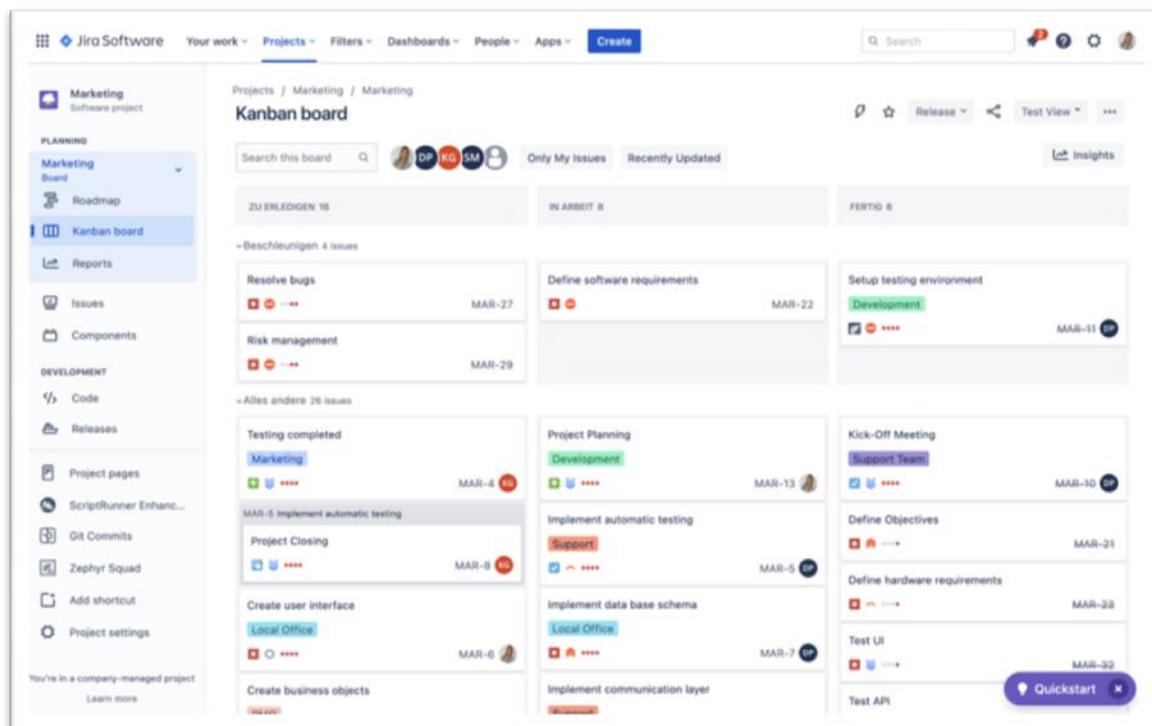


Рис. 3. Система Jira

Заключение. Разработка системы для организации командной работы на основе DISC-подхода особенно важна для студентов, работающих над курсовыми и дипломными проектами на старших курсах, т.к. использование данной системы позволит студентам приобрести практический опыт и понимание того, как важны и организованы коммуникации в будущей профессиональной деятельности, а также использовать свои знания при разработке, адаптации и совершенствовании такой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотникова Н.Ф. Командный подход в обучении: учебно-методическое пособие / Н.Ф. Плотникова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. – 96 с
2. ISC – типология личности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hr-portal.ru/varticle/disc-tipologiya-lichnosti/>
3. Jira | Программное обеспечение для отслеживания задач и проектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://atlassian.com/>

УДК 004.4

ПЛАНИРОВЩИК ЗАДАЧ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Барышев Артем Александрович, магистр, старший преподаватель,
Мартынчук Кирилл Дмитриевич, выпускник

Белорусский национальный технический университет, Минск
e-mail: aabaryshev@bntu.by

TASK PLANNER FOR STUDENTS

Аннотация: В статье рассмотрен планировщик задач для студентов, реализованный в виде клиент-серверного приложения. Все задачи разбиты на разделы: ALL – отображает весь список дел, ACTIVE – отображает активные задачи и COMPLETED – выполненные задачи. Для организации движения задач между разделами предложено использовать систему ежедневных карточек, которые распределяются в соответствующие списки и выполняются по мере важности. Планировщик позволяют обеспечить более эффективный контроль за распределением времени и исключает вариант того, что важное дело будет забыто.

Abstract: The article discusses a task scheduler for students, implemented as a client-server application. All tasks are divided into sections: ALL – displays the entire to-do list, ACTIVE – displays active tasks and COMPLETED – completed tasks. To organize the movement of tasks between sections, it is proposed to use a system of daily cards, which are distributed into appropriate lists and completed in order of importance. The scheduler allows you to provide more effective control over the distribution of time and eliminates the possibility that an important task will be forgotten.

Ключевые слова: HTTP, JavaScript, база данных, клиент-сервер, планировщик задач.

Keywords: HTTP, JavaScript, database, client-server, task manager.

Введение. Как показывает педагогическая практика, к сожалению, у достаточно большого количества студентов возникают проблемы с контролем своевременного выполнения учебных заданий. Многие из этих

проблем связаны с элементарной забывчивостью. Это вполне естественно, ведь им приходится помнить о различных требованиях, сформулированных разными преподавателями. Чтобы избавиться себя от запоминания всех требований, студенты могут использовать электронный планировщик задач.

В настоящее время существует достаточно большое количество различных планировщиков задач. К наиболее популярным можно, без сомнения, отнести программный продукт Trello, который представляет собой облачный сервис, предназначенный для управления своим свободным временем. Он предельно прост и интуитивно понятен, а в основе лежат методы Kanban, которые, в свою очередь, базируются на философских принципах Agile. Если говорить кратко, для каждой задачи заводится специальная карточка, затем все они размещаются на досках или в колонках, а положение каждой зависит от реализуемого этапа работы [1]. Интерфейс и тестовый пример использования Trello представлены на рис. 1.

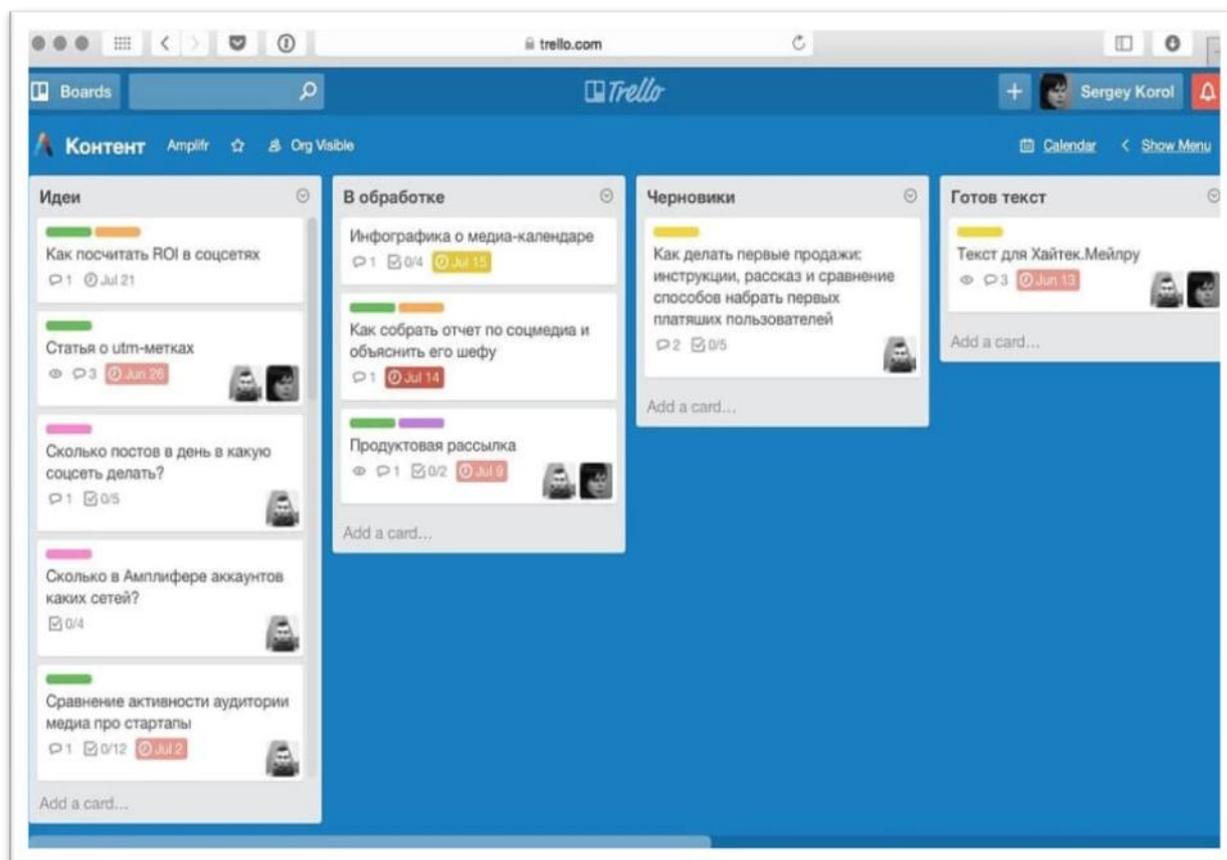


Рис. 1. Интерфейс приложения Trello

Trello обладает рядом преимуществ, однако ряд его функций являются платными. Кроме того, он ориентирован на широкий круг пользователей, а потому в нем реализован универсальный функционал. Планирование студенческих дел имеет ряд особенностей, связанных с учебным процессом. Поэтому разработка планировщика задач для студента является актуальной задачей.

Средства реализации. Планировщик задач был реализован в виде клиент-серверного приложения, в котором клиент взаимодействует с WEB-сервером при помощи браузера. Для реализации приложения были выбраны среда разработки WebStorm [2], язык разработки JavaScript и Typescript, для реализации пользовательского интерфейса использовалась библиотека React [3], для разметки страниц применялись HTML, CSS, MaterialUI [4].

В клиентской части архитектуры разработан максимально удобный для работы интерфейс. Эта часть программы была реализована в интегрированной среде разработки WebStorm. Структура проекта представлена на рис. 2.

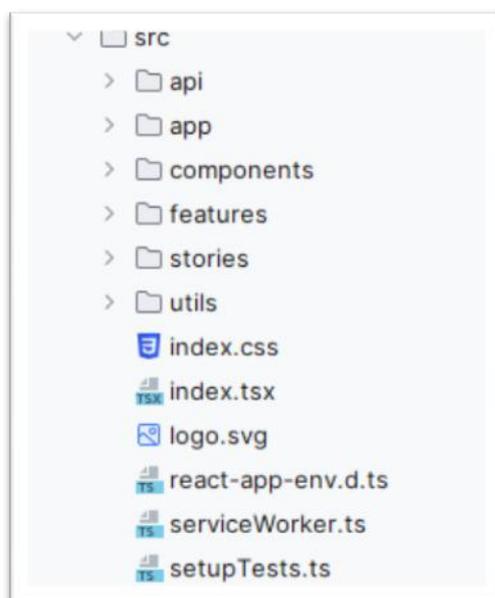


Рис. 2. Структура проекта

Сама страница представлена единственным файлом index.html. Этот файл представляет собой корень страницы, в который помещается разный контент из других файлов. Содержимое файлов хранится в расширении .tsx и состоит из нескольких ключевых частей. Расширение .tsx представляет собой JavaScript, который был расширен XML-подобным синтаксисом.

Работа планировщика. В первую очередь пользователю необходимо авторизоваться в системе через специальную форму для входа, изображенную на рис. 3. В этой форме пользователю необходимо ввести имя пользователя и пароль от существующей записи пользователя в системе.

To log in get registered [here](#)
or use common test account credentials:
Email: free@samuraijs.com
Password: free

Email
Email is required

Password

Remember me

LOGIN

Рис. 3. Страница входа в приложение

После того, как пользователь заполняет все данные на форме входа и нажимает на кнопку “Sing In”, он попадает на главную страницу приложения, изображенную на рис. 4. Это стандартная страница, которая также поддается изменениям.

To log in get registered [here](#)
or use common test account credentials:
Email: free@samuraijs.com
Password: free

Email
kotxbossx@gmail.com

Password

Remember me

LOGIN

Рис. 4. Авторизация пользователя

После авторизации пользователь попадает на основную страницу приложения, представленную на рис. 5, где будут отображаться списки, который создал пользователь.

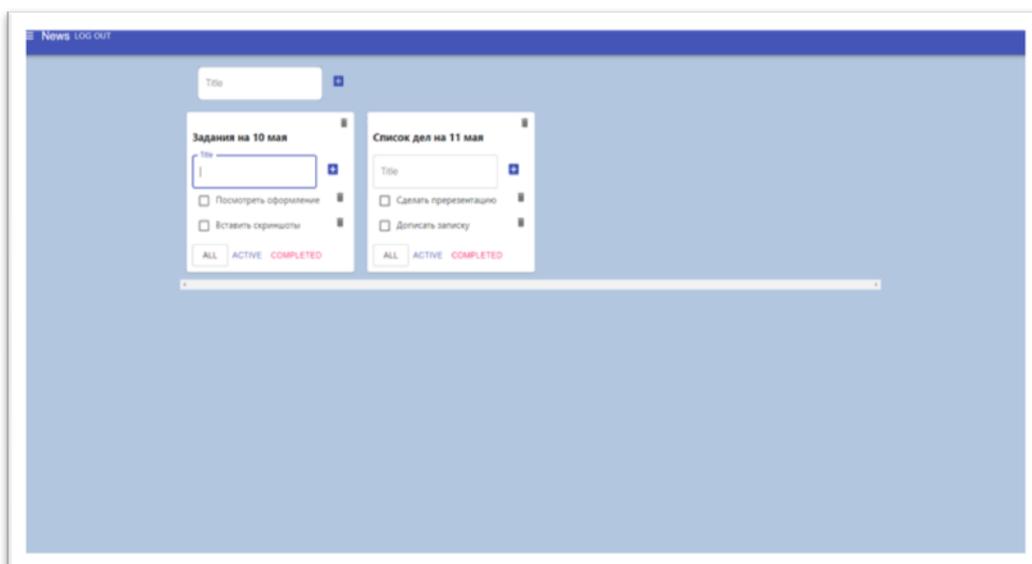


Рис. 5. Главная страница

Новые списки создаются посредством введения в поле названия и подтверждения по нажатию плюсики или подтверждением кнопкой Enter (рис. 6).

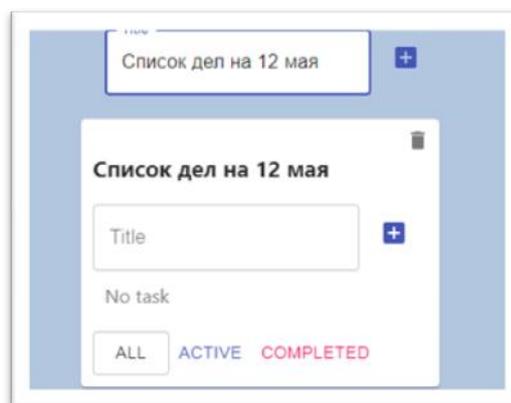


Рис. 6. Добавление нового списка

Создание новой задачи происходит тем же способом, что и добавление нового списка, только название задачи вписывается в поле списка (рис. 7).

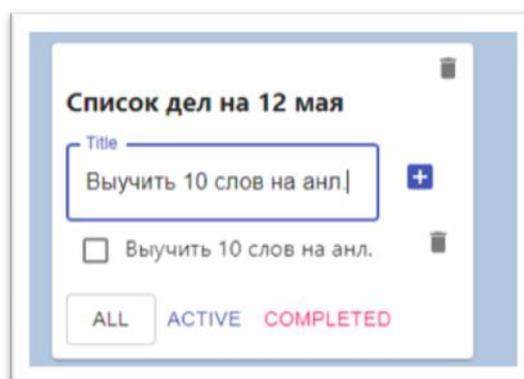


Рис. 7. Добавление нового списка

Чтобы отметить выполненную задачу, нужно поставить галочку в поле рядом с названием задачи, после чего выполненная задача перемещается во вкладку completed (рис. 8).

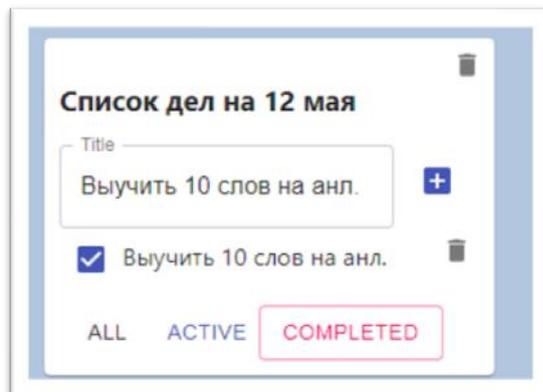


Рис. 8. Отметка завершенных задач

Все задачи разбиты на разделы, ALL – отображает весь список дел, ACTIVE – отображает активные задачи и COMPLETED – выполненные задачи, в которые они попадают в зависимости от их состояния. Чтобы упорядочить движение событий, намеченное с помощью данных списков, предложено использовать систему ежедневных карточек, которые затем распределяются в соответствующие списки и выполняются по мере важности. Все эти действия позволяют обеспечить более эффективный контроль за распределением времени и исключают вариант того, что важное дело будет забыто.

Перемещение по вкладкам происходит при нажатии на них, активные вкладки подсвечиваются своим цветом (рис. 9).

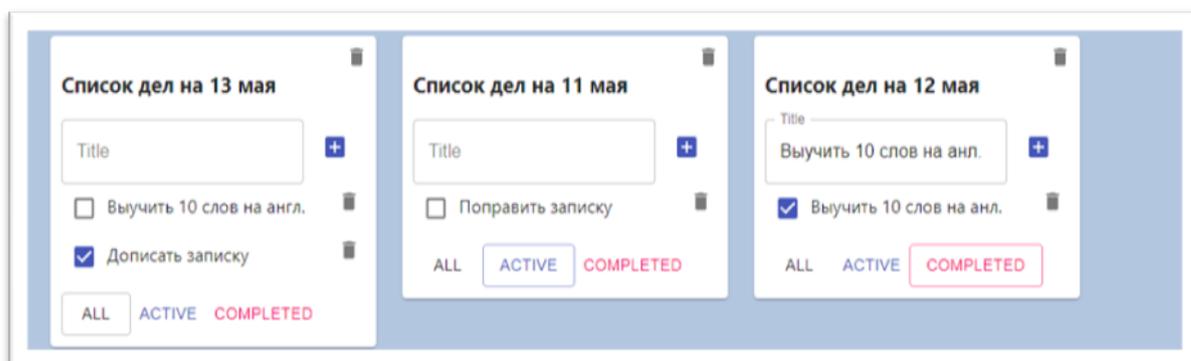


Рис. 9. Просмотр разных состояний задач

Заключение. В ходе тестирования приложение показало стабильную и быструю работу. Приложение имеет адаптивный дизайн, подходящий для мобильных устройств и персональный компьютер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тrello – обзор программы и зачем она нужна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sravni.ru/kursy/info/trello/>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. Русский. Дата доступа: 22.10.2023.
2. WebStorm. Умная IDE для JavaScript [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/webstorm/>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. Русский. Дата доступа: 22.10.2023.
3. Общие сведения о React [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/dev-environment/javascript/react-overview>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. Русский. Дата доступа: 22.10.2023.
4. Высший учебник HTML и CSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.mu/ru/markup/book/supreme/>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. Русский. Дата доступа: 22.10.2023.