

## ПРЕИМУЩЕСТВЕННОСТЬ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН

к.т.н. Калина А.А., к.т.н. Ковалева И.Л., студ. Петраш Н.С., студ. Шумель А.В.

*УО «Белорусский национальный технический университет», Минск*

Перечень дисциплин, преподаваемых в вузах в рамках конкретных специальностей, определяется на основании стандартов и типовых планов. Адаптация содержания каждой из дисциплин к специфике вуза выполняется, как правило, на этапе разработки учебных программ. При этом одним из направлений повышения эффективности освоения и понимания студентами изучаемых курсов может стать использование в качестве примеров при объяснении материала группы дисциплин единых объектов из предметных областей, определяемых спецификой вуза.

Обучение студентов специальности 1-40 01 02-01 «Информационные системы и технологии в проектировании и производстве» в БНТУ осуществляется на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» (САПР). Автоматизация проектирования – динамически развивающаяся область информационных технологий. Со времени основания кафедры САПР предметная область изучаемых дисциплин, базирующаяся на теории и методах, применяемых в системах автоматизации производственных процессов машиностроения, постепенно дополнялась информационными технологиями сквозного проектирования изделий и управления данными, методами и системами выполнения инженерных расчетов и оптимизации, математического моделирования, технологиями, алгоритмами и системами работы с графическими объектами, современными технологиями и языками разработки программного обеспечения, и соответствующего ему аппаратного обеспечения. Знание современных информационных технологий позволяет студенту, обучающемуся на кафедре САПР, более широко овладевать подходами и методами решения классических инженерных задач, рассматривая их с точки зрения инженера или постановщика задачи, и с точки зрения квалифицированного пользователя современных CAD/CAE/CAM пакетов и программиста.

Одной из общепрофессиональных дисциплин, в рамках которой студенты кафедры САПР приобретают инженерные навыки, является «Техническая механика». При изучении курса студенты знакомятся с конструкциями, типажом, материалами и способами изготовления деталей машин общего назначения, с физическими процессами, сопутствующими их работе. Дисциплина формирует знания по расчету и конструированию деталей, сборочных единиц и приводов машин. Эти знания и навыки востребованы в дальнейшем в цикле специальных дисциплин, а объекты проектирования встречаются во многих лабораторных работах и курсовых проектах. Так в рабочую учебную программу дисциплины специальности «Оптимизация проектных решений» включена лабораторная работа «Моделирование и оптимизация параметров узлов и деталей машин», целью которой является изучение методов решения задач многокритериальной оптимизации. В качестве объекта оптимизации студентам предлагается использовать редуктор, который они спроектировали в ходе выполнения курсового проекта по предмету «Техническая механика».

Рассмотрим основные этапы выполнения лабораторной работы. Объект оптимизации - двухступенчатый редуктор с цилиндрическими косозубыми передачами.

Каждая передача состоит из двух цилиндрических косозубых колес, одно из которых (меньшее) называется шестерней, второе (большее) - колесом. Для изготовления колес и шестерен выбрана сталь с термообработкой – улучшение. Предположим, что у колес твердость находится в диапазоне 220...280 НВ, у шестерен – 260...330 НВ.

Входные данные:

- $L_n$  ресурс работы редуктора в часах;
- частоты вращения и вращающие моменты на валах (представлены в таблице 1);
- схема редуктора (представлена на рисунке 1);
- передаточное число быстроходной ступени  $u_1$ ;
- передаточное число тихоходной ступени  $u_2$ ;
- значения коэффициентов (стандарт по расчету зубчатых передач).

Таблица 1. Частоты вращения и моменты на валах

Вал	Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	Вращающий момент $T$ , Нм
I	950	38.763
II	211,111	170.09
III	64,997	538,645

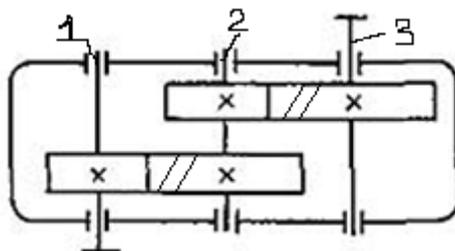


Рисунок 1. – Схема двухступенчатого редуктора с цилиндрическими косозубыми передачами

1 этап. Разработка оптимизационной модели.

В соответствии с заданием на первом этапе выполнения лабораторной работы студенты должны разработать многокритериальную многопараметрическую оптимизационную модель. Именно на этом этапе они в полной мере могут использовать свои знания, полученные при изучении дисциплины «Техническая механика». Разработка и защита курсового проекта по «Технической механике» позволяет студентам осознанно и обоснованно выбрать оптимизируемые параметры, назначить параметрические и функциональные ограничения, разработать целевые функции.

Для рассматриваемого примера в качестве оптимизируемых параметров были выбраны твердости колес:

- твердость шестерни тихоходной ступени;
- твердость колеса тихоходной ступени;
- твердость шестерни быстроходной ступени;
- твердость колеса быстроходной ступени.

В качестве критериев приняты условия равнопрочности ступеней на контактную и изгибную усталость:

$|K_1 - K_2|$  - условие равнопрочности по контактному напряжению;

$|K_3 - K_4|$  - условие равнопрочности по напряжению изгиба;

Оба критерия предлагалось минимизировать.

Предлагалось также уменьшить габариты редуктора. Для этого в качестве критериев задавались межосевые расстояния передач, которые также минимизировались:

$a_{wt}$  - межосевое расстояние тихоходной ступени;

$a_{wb}$  - межосевое расстояние быстроходной ступени.

Учитывалось, что допускается перегрузка 5% и недогрузка 10% по контактному напряжению, напряжение изгиба должно быть меньше предельно допустимого. Отсюда были получены следующие функциональные ограничения:

$$0.90 \leq \frac{\sigma_{HPt}}{\sigma_{Ht}} \leq 1.05 \quad 0.90 \leq \frac{\sigma_{HPb}}{\sigma_{Hb}} \leq 1.05 \quad \frac{\sigma_{FPt}}{\sigma_{Ft}} \geq 1 \quad \frac{\sigma_{FPb}}{\sigma_{Fb}} \geq 1$$

По рекомендациям стандарта, разность между твердостью шестерни и колеса принималась 20..70 НВ.

Параметрические ограничения:

$20 \leq HB_{t1} - HB_{t2} \leq 70$  - разность между твердостями шестерни и колеса тихоходной ступени;

$20 \leq HB_{b1} - HB_{b2} \leq 70$  - разность между твердостями шестерни и колеса быстроходной ступени.

2 этап. Создание математической модели.

Математическая модель создается при помощи диалоговой системы принятия решений (ОПТ).

На первом этапе задаются параметры и параметрические ограничения. На втором этапе за-

даются критерии и их тип. Затем вводятся функциональные ограничения и количество экспериментов. В результате формируется Xml- файл, содержащий необходимые данные.

3 этап. Организация пользовательского модуля.

Задачи, которые необходимо решить в пользовательском модуле:

- чтение Xml-файла, созданного при помощи диалоговой системы принятия решений ОРТ;
- расчет для каждого эксперимента значений критериев и функциональных ограничений,
- на выходе получить Xml – файл с рассчитанными данными.

Пользовательский модуль написан на языке С#. Запуск программы осуществляется любым из возможных способов. Внешний вид программы соответствует все стандартам и рекомендациям к приложениям для операционных систем WindowsXp, Windows7. После запуска программа находится в пассивном режиме и готова перейти в один из активных режимов своей работы. Есть два активных режима работы:

- загрузка необходимых для работы документов (\*.xml, \*.xmcd)
- расчёт значений экспериментов

На первом шаге пользователь выбирает необходимые файлы для расчёта, далее осуществляется их открытие программой. Для работы с файлами \*.xml использовалась библиотека System.Xml.Linq, которая содержит в себе классы LINQ to XML. Интерфейс программирования XML в памяти, который позволяет легко и эффективно изменять XML-документ. Для работы с файлами \*.xmcd использовались API функции Mathcad. Данная система относится к классу систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением.

На втором шаге выполняется расчёт по данным полученным из документов загруженных пользователем. Результаты, полученные после проведения расчёта, сохраняются в новый файл Result.xml.

Текущая версия программы состоит из следующих классов (Рисунок 3):

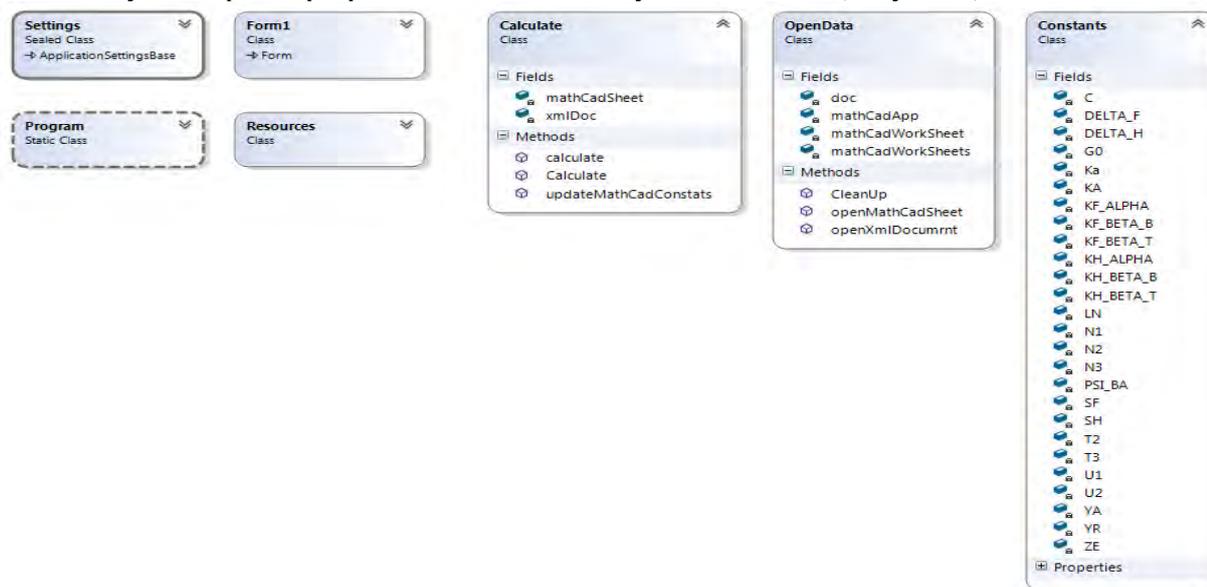


Рисунок 3. - Диаграмма классов расчетного модуля

- Calculate  
Выполняет расчёт, используя APIMathCADи формирует файл с результатами.
- OpenData  
Осуществляет загрузку файлов выбранных пользователем.
- Constatnts  
Позволяет изменять данные необходимые для расчёта.
- Form1  
Содержит методы для обработки событий окна программы.
- Setings  
Класс по работе с ресурсами программы
- Program  
Управляет запуском программы.

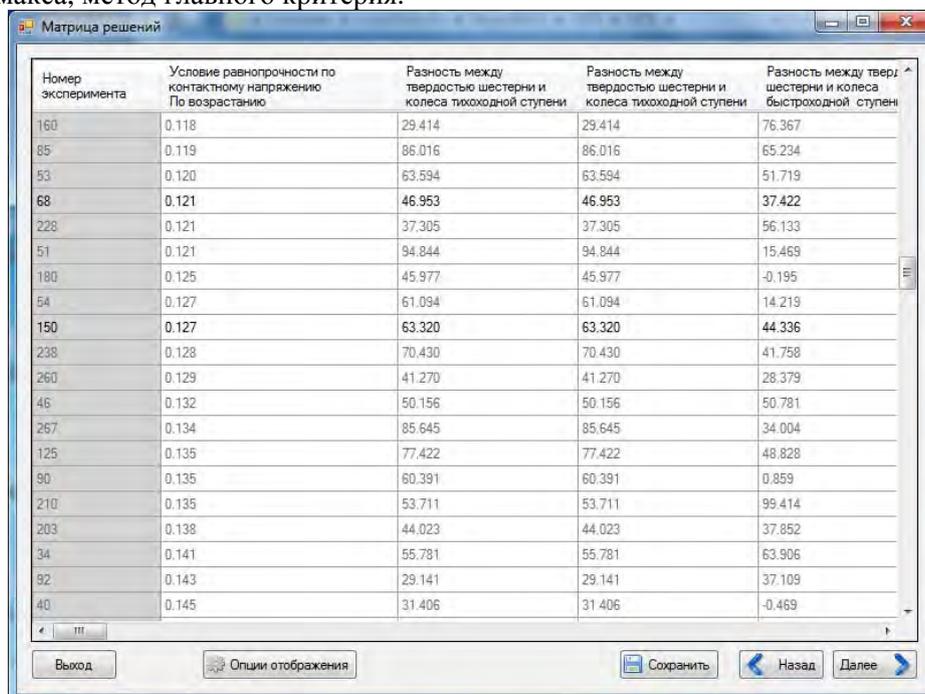
На рисунке 4 изображена матрица решений, сформированная при помощи системы ОРТ.

Черным цветом выделены строки, удовлетворяющие функциональным ограничениям, серым – не удовлетворяющие.

4 этап. Обработка результатов.

Генерировалось 3000 точек, по функциональным ограничениям прошли только 210.

С целью закрепления материала, прослушанного на лекциях по дисциплине «Оптимизация проектных решений», на этом этапе студентом предлагалось выбрать окончательное решение различными методами и сравнить полученные результаты. Для изучения предлагались следующие методы: «Поиск точки с минимальным удалением от идеальной», «Метод бинарных отношений», «Поиск точки с максимальной мощностью», аддитивный критерий, мультипликативный критерий, метод минимакса, метод главного критерия.



Номер эксперимента	Условие равнопрочности по контактному напряжению По возрастанию	Разность между твердостью шестерни и колеса тихоходной ступени	Разность между твердостью шестерни и колеса тихоходной ступени	Разность между твердостью шестерни и колеса быстроходной ступени
160	0.118	29.414	29.414	76.367
85	0.119	86.016	86.016	65.234
53	0.120	63.594	63.594	51.719
68	0.121	46.953	46.953	37.422
228	0.121	37.305	37.305	56.133
51	0.121	94.844	94.844	15.469
180	0.125	45.977	45.977	-0.195
54	0.127	61.094	61.094	14.219
150	0.127	63.320	63.320	44.336
238	0.128	70.430	70.430	41.758
260	0.129	41.270	41.270	28.379
46	0.132	50.156	50.156	50.781
267	0.134	85.645	85.645	34.004
125	0.135	77.422	77.422	48.828
90	0.135	60.391	60.391	0.859
210	0.135	53.711	53.711	99.414
203	0.138	44.023	44.023	37.852
34	0.141	55.781	55.781	63.906
82	0.143	29.141	29.141	37.109
40	0.145	31.406	31.406	-0.469

Рисунок 8.- Матрица решений

Выполнение рассмотренной лабораторной работы позволяет студентам изучить современные методы решения многокритериальных задач, используя при этом реальный инженерный объект.

### РЕЗЮМЕ

Объекты, изучаемые студентами в рамках общепрофессиональной дисциплины «Техническая механика» востребованы в дальнейшем в цикле специальных дисциплин. В статье рассматривается структура лабораторной работы по курсу «Оптимизация проектных решений», целью которой является изучение методов решения задач многокритериальной оптимизации. В качестве объекта оптимизации студентам предлагается использовать редуктор, который они сконструировали в ходе выполнения курсового проекта по дисциплине «Техническая механика».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. /В.В. Подиновский, В.Д. Ногин – М.: Физматлит, 2007.- 312с.
2. Мархель Т.А.. Придухо В.Т. //Принятие решений в условиях многокритериальности// Лабораторные работы по дисциплине «Оптимизация проектных решений» для студентов специальности 1-40 01 02«Информационные системы и технологии (по направлениям)» направления 1-40 01 02-01 «Информационные системы и технологии в проектировании и производстве», Минск, 2010

### SUMMARY

Objects studied by students as part of general professional disciplines "Technical mechanics" in demand in the future in a series of special disciplines. The paper describes the structure of the laboratory work in the course "Optimization of design decisions", the purpose of which is the study of methods for solving multi-criteria optimization. As the object of optimizing the students are encouraged to use gear that they constructed during the execution of a course project for the subject "Technical mechanics."

Поступила в редакцию 24.11.2012