КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
Краснокутский И. Д. Опыт применения «Mathcad» в курсовом проектировании по деталям машин // Концепт. – 2013. – № 05 (май). – ART 13098. – 0,3 п. л. – URL: http://e-koncept.ru/2013/13098.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.
ART 13098 УДК 378.14:004.9

Краснокутский Игорь Дмитриевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры теории корабля и гидромеханики ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева», г. Нижний Новгород
ngtu_pool@mail.ru

Опыт применения «Mathcad» в курсовом проектировании по деталям машин

Аннотация. *Опыт преподавания и руководства курсовым проектированием по дисциплине «Детали машин» свидетельствует о необходимости реализации методических разработок в виде пакета прикладных программ в среде «Mathcad». На примере проектировочного и проверочного расчёта червячной передачи показано многократное сокращение затрат времени и проиллюстрированы результаты систематических расчётов при варьировании ряда параметров механизма.*
Ключевые слова: *детали машин, курсовое проектирование, Mathcad, зубчатые механизмы.*

При выполнении курсового проекта по дисциплине «Детали машин» студенты Нижегородского государственного университета имени Р. Е. Алексеева (НГТУ) руководствуются многочисленными методическими указаниями [1–12] и другие. Для облегчения выполнения расчётов и развития навыков работы в современных системах автоматизированного проектирования студентам предоставляется возможность работы в пакете прикладных программ «WINMACHINE», который установлен в информационно-вычислительном центре (ИВЦ) института промышленных технологий машиностроения НГТУ. Ограниченная пропускная способность ИВЦ и трудности контроля работы студента за компьютером ограничивают область применения «WINMACHINE» рамками учебно-исследовательских работ и магистерскими диссертациями успешных студентов. Ограниченная пропускная способность ИВЦ обуславливает уменьшение в учебных планах объёма часов для лабораторных и практических работ, проводимых в компьютерном зале. При этом существенно увеличен объём часов планируемых на самостоятельную работу студента. Имея ограниченную возможность работы в ИВЦ с пакетом прикладных программ «WINMACHINE», студенты предпочитают работать дома, используя свою вычислительную технику, которая далеко не всегда позволяет установить необходимое программное обеспечение учебного процесса.

В зависимости от навыков владения вычислительной техникой студенты чаще выполняют расчёты в MATHCAD, EXEL или с помощью программируемых калькуляторов. В последнем случае возникает большое количество вычислительных ошибок, выявление которых занимает неоправданно большое время и никак не способствует усвоению студентом основ изучаемой дисциплины. Написание программ в MATHCAD или EXEL доступно далеко не всем обучающимся. Большинство используют программы, разработанные их старшими товарищами или найденные в Интернете. Основным недостатком в этом случае является несоответствие используемых идентификаторов учебникам и методическим указаниям, что затрудняет проверку и ставит под сомнение понимание студентом выполненной работы. Неоспоримыми преимуществами использования упомянутых программ являются автоматизация вычислений, предоставление студентам большего времени на осмысление алгоритма расчёта и принятие решений о выборе конструктивной схемы, применяемых материалов, расчётных коэффициентов, на выполнение логических переходов. Появляется возможность выполнения систематических расчётов и решения задач оптимизации

разрабатываемой конструкции. Например, выбор используемого материала требует оценки его механических характеристик и относительной стоимости. Для этого студенту в тексте программы предлагается информация в табличной форме, на основе которой он принимает решение и выбирает материал (табл. 1 и 2).

Размеры заготовок, режимы термообработки, механические характеристики и относительная стоимость применяемых сталей.

Наиболее удобным в этих условиях для расчётов в курсовом проектировании по дисциплине «Детали машин» представляется MATHCAD. Это общедоступная среда для выполнения на персональном компьютере студента разнообразных математических и технических расчетов, снабженная простым в освоении и в работе графическим интерфейсом. MATHCAD предоставляет пользователю инструменты для работы с формулами, числами, графиками и текстами. В среде MATHCAD доступны более сотни операторов и логических функций, предназначенных для численного и символьного решения математических задач различной сложности. При написании формул в MATHCAD есть все возможности сохранять обозначения, принятые в ранее изданных учебниках и методических пособиях. При условии перевода перечисленных выше методических разработок в среду MATHCAD обеспечивается значительное сокращение затрат времени на выполнение вычислительной работы, исключаются арифметические ошибки и появляется возможность вариантных расчетов.

Таблица 1

Характеристики различных марок стали

Марка стали	***Размеры заготовки, D, мм***	***Режимы термообработки***	σ_T, ***МПА***	σ_B, ***МПа***	***Твёрдость сердцевины, НВ***	***Относительная стоимость***
35	любые	нормализация	550	270	163–192	1,0
45	любые	нормализация	600	320	179–207	1,0
45	125	улучшение	780	540	235–262	1,0
45	80	улучшение	890	850	269–302	1,0
40Х	200	улучшение	790	640	235–262	1,3
40Х	125	улучшение	900	750	269–302	1,3
40Х	125	закалка ТВЧ	900	750	269–302	1,3
35ХМ	315	улучшение	800	670	235–262	1.5
35ХМ	200	улучшение	920	790	269–302	1.5
35ХМ	200	закалка ТВЧ	920	790	269–302	1.5
40ХН	315	улучшение	800	630	235–262	2,0
40ХН	200	улучшение	920	750	269–302	2,0
40ХН	200	закалка ТВЧ	920	750	269–302	2,0
45ХЦ	315	улучшение	830	660	235–262	1,8
45ХЦ	200	улучшение	950	780	269–302	1,8
45ХЦ	200	закалка ТВЧ	950	780	269–302	1,8
20ХНМ	200	цементация	1000	800	300–400	2,4
12ХН3А	200	цементация	1000	800	300–400	2,4
25ХГНМ	200	цементация	1000	800	300–400	1,8
18ХГТ	200	нитроцементая	1000	800	300–400	1,2
40ХНМА	125	азотирование	980	780	269–302	3,0
38ХМЮА	125	азотирование	1000	850	269–302	2,5
35Л	любые	нормализация	550	270	163–207	1,0
45Л	любые	улучшение	680	440	207–235	1,3
50ГЛ	315	улучшение	850	600	235–262	1,5

КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
ART 13098 УДК 378.14:004.9
Краснокутский И. Д. Опыт применения «Mathcad» в курсовом проектировании по деталям машин // Концепт. – 2013. – № 05 (май). – ART 13098. – 0,3 п. л. – URL: http://e-koncept.ru/2013/13098.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

Таблица 2

Механические характеристики материалов, предназначенных для изготовления червячных колёс

Обозначение материала	σ_T, ***МПА***	σ_B, ***МПа***	***Твёрдость, НВ***	***Модуль упругости, Е×10^{-5}***	***Допускаемая скорость скольжения,*** υ_s, ***м/с***
Группа 1					
БрО10Ф1	250	200	80–100	0,75	≤ 25
БрО10Н1Ф1	290	170	100–120	1,0	≤ 35
БрО6Ц6С3	200	90	60–75	0,75	≤ 12
БрО5Ц5С5	220	90	60–75	0,75	≤ 12
БрСу7Н2	180	90	90	0,75	≤ 25
Группа 2					
БрА9Ж4	500	200	120	1,0	≤ 5
БрА10Ж4Н4	600	200	170	1,0	≤ 5
БрА10Ж3Мц1,5	500	200	120–140	1,0	≤ 5
Л66А6Ж3Мц2	600	240	160	1,0	≤ 5
Л58Мц2С2	340	140	95	1,0	≤ 5
Л58Мц2О2С2	500	380	189	1,0	≤ 5
Группа 3					
СЧ12	280	–	120–150	0,75–1,0	≤ 3
СЧ15	320	–	163–229	0,75–1,0	≤ 3
СЧ18	360	–	170–241	0,75–1,0	≤ 2

Целями данной работы являются: перевод алгоритма проектировочного и проверочного расчётов зубчатых передач в среду MATHCAD, анализ опыта использования студентами и иллюстрация возможностей на примере исследования зависимости параметров зубчатого механизма от передаточного отношения, мощности и применяемых материалов.

Для достижения поставленных целей было осуществлено программирование известного алгоритма проектировочного и проверочного расчета цилиндрического двух ступенчатого зубчатого механизма и червячного редуктора [13–15] на языке MATHCAD, выполнены систематические расчеты для ряда значений передаточного отношения и применяемых материалов одноступенчатого червячного редуктора, а также расчёты характеристик цилиндрического двух ступенчатого зубчатого механизма.

Выполненная работа позволила получить следующие результаты:

– разработаны программы проектировочного и проверочного расчетов цилиндрического двух ступенчатого зубчатого механизма и червячного одноступенчатого редуктора на языке MATHCAD;

– выполнены контрольные расчеты по разработанным программам и сопоставлены с примерами выполнения в [16] (результаты контрольных расчетов совпали с данными примеров в первых трех значащих цифрах);

– выполнен систематический проектировочный и проверочный расчет червячного и цилиндрического двухступенчатого редукторов;

– результаты систематического расчёта могут быть использованы для выявления зависимости параметров зубчатых механизмов от варьируемых исходных данных (например, для червячной передачи зависимости от передаточного отношения U = 100 и мощности P = 1 кВт приведены в табл. 5);

КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
Краснокутский И. Д. Опыт применения «Mathcad» в курсовом проектировании по деталям машин // Концепт. – 2013. – № 05 (май). – ART 13098. – 0,3 п. л. – URL: http://e-koncept.ru/2013/13098.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.
ART 13098 УДК 378.14:004.9

– определены затраты времени студентом на выполнение расчётов с помощью предлагаемых программ.

При выполнении систематического расчёта червячной передачи варьировались следующие исходные данные: передаточное отношение 20, 100, 200; мощность 1, 2, 3 кВт; три вида материала червячного колеса (табл. 3).

Таблица 3

Механические характеристики венца червячного колеса

Материал червячного колеса	*σ_B, МПа*	*σ_T, МПа*	*НВ*
БрА10Ж3Мц1,5	500	200	130
Лц23А6Ж3Мц2	700	320	1570
20ХНМ	1000	800	400

Расчеты выполнены для всех возможных сочетаний перечисленных параметров (табл. 4). Обороты ведущего звена для всех вариантов исходных данных оставались неизменными.

Таблица 4

Варьируемые параметры червячного редуктора

Передаточное число	*Мощность , кВт*	*Материал*
20	1	БрА10Ж3Мц1,5
100	2	Лц23А6Ж3Мц2
200	3	20ХНМ

В результате выполненного систематического расчёта получены следующие характеристики червячной передачи (табл. 5).

Таблица 5

Результаты расчёта характеристик червячной передачи

Параметры	*U=100; P=1 кВт*		
	БрА10Ж3Мц1,5	*Лц23А6Ж3Мц2*	*20ХНМ*
a_w, мм	156,25	62,5	125
η	0,566	0,432	0,504
m, мм	2,5	1	2
d_1, мм	62,5	25	50
d_2, мм	250	100	200
σ_H, МПа	210,986	833,996	294,862
σ_{HP}, МПа	197,157	1467	297,157
σ_F, МПа	39,587	618,542	77,318
σ_{FP}, МПа	93,299	140,985	290,263
σ_{Hmax}, МПа	298,38	1179	416,998
σ_{HPmax}, МПа	400	640	1600
σ_{Fmax}, МПа	79,173	1237	154,636
σ_{FPmax}, МПа	160	256	640
$t_{раб}$, °С	46,102	149,708	63,646

Анализ полученных результатов выполнен на основе зависимостей параметров червячной передачи от исходных данных. Например, зависимость межосевого расстояния a_w, зависимость модуля m, зависимости отношения действующих напряжений к допускаемым $\frac{\sigma_H}{\sigma_{HP}}$ и $\frac{\sigma_F}{\sigma_{FP}}$ от мощности редуктора при постоянных значениях передаточного отношения (U = 100) и материала червячного колеса (БрА10Ж3Мц1,5), приведена на рисунке (рис. 1).

В случае, когда студент прослушал курс лекций и проработал методические пособия [17–19], затраты времени на выполнение проектировочного и проверочного расчета при первом запуске программы, во время которого студент разбирается с логикой принятия решений, составляют от одного до двух часов. При повторном запуске программы для других исходных данных затраты времени снижаются до 15–30 минут.

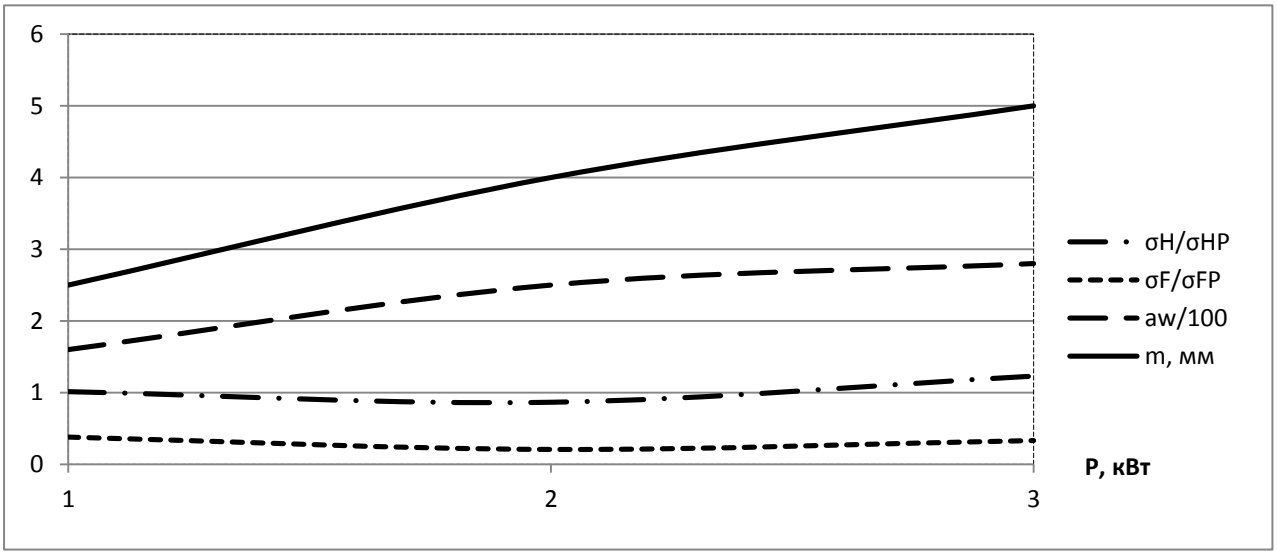

Рис. 1. Зависимость параметров червячного редуктора от мощности

Разработанные программы позволяют значительно сократить затраты времени на выполнение расчётов в составе курсового проекта по дисциплине «Детали машин», предоставить дополнительное время студентам для осмысления алгоритма расчёта и обоснованно принимать проектные решения. Появляется возможность выполнения систематических расчётов с целью оптимизации характеристик редуктора. Преподаватель получает возможность быстро проверять расчеты, выполненные студентом и ставить индивидуальные задачи.

Выполненная работа позволяет сделать следующие выводы. Представляется целесообразной переработка методического обеспечения [20–31] для выполнения расчетов в курсовом проекте по дисциплине «Детали машин» в среде MATHCAD и обеспечение свободного доступа студентов к этому программному обеспечению через сайт НГТУ.

Ссылки на источники

1. Энергетический и кинематический расчеты приводов / Сост. А. А. Ульянов. – Н. Новгород: НГТУ, 2000. – 27 с.
2. Зубчатые и червячные передачи. Ч. I. Проектировочный расчет / Сост. А. А. Ульянов, Ю. П. Кисляков, Л. Т. Крюков. – Н. Новгород: НГТУ, 2000. – 31 с.
3. Зубчатые и червячные передачи. Ч. II: Проверочный расчет / Сост. А. А. Ульянов, Ю. П. Кисляков, Л. Т. Крюков. – Н. Новгород: НГТУ, 2001. – 24 с.
4. Зубчатые и червячные передачи. Ч. III: Примеры расчетов / Сост. А .А. Ульянов, Ю. П. Кисляков, Л. Т. Крюков. – Н. Новгород: НГТУ, 2001. – 31 с.
5. Иванов М. Н. Детали машин.– М.: Высшая школа, 2005. – 408 с.
6. Ременные передачи / Сост. А. А. Ульянов, Н. В. Дворянинов, Ю. П. Кисляков. – Н. Новгород: НГТУ, 1999. – 31 с.
7. Расчет цепных передач / Сост.: А. А. Ульянов, Ю. П. Кисляков и др. – Н. Новгород: НГТУ, 1999. – 23 с.
8. Расчет и конструирование валов / Сост. А. А. Ульянов, Ю. П. Кисляков, Л. Т. Крюков. – Н. Новгород: НГТУ, 1999. – 36 с.

9. Подбор подшипников качения / Сост. А. А. Ульянов, С. Н. Муравьев, С. Н. Бабушкин. – Н. Новгород: НГТУ, 2004. – 27 с.
10. Расчет болтовых соединений / Сост. А. А. Ульянов, Л. Т. Крюков и др. – Н. Новгород: НГТУ, 2004. – 31 с.
11. Муфты приводов / Сост. А. А. Ульянов, Л. Т. Крюков, В. В. Андреев. – Н. Новгород: НГТУ, 2006. – 34 с.
12. Расчет сварных соединений / Сост. А. А. Ульянов, С. Н. Бабушкин и др.– Н. Новгород: НГТУ, 2004. – 26 с.
13. Зубчатые и червячные передачи. Ч.1. Указ. соч.
14. Зубчатые и червячные передачи. Ч.II. Указ. соч.
15. Зубчатые и червячные передачи. Ч.III. Указ. соч.
16. Там же.
17. Зубчатые и червячные передачи. Ч.1. Указ. соч.
18. Зубчатые и червячные передачи. Ч.II. Указ. соч.
19. Зубчатые и червячные передачи. Ч.III. Указ. соч.
20. Энергетический и кинематический расчеты приводов. Указ. соч.
21. Зубчатые и червячные передачи. Ч.1. Указ. соч.
22. Зубчатые и червячные передачи. Ч.II. Указ. соч.
23. Зубчатые и червячные передачи. Ч.III. Указ. соч.
24. Иванов М. Н. Указ. соч.
25. Ременные передачи. Указ. соч.
26. Расчет цепных передач. Указ. соч.
27. Расчет и конструирование валов. Указ. соч.
28. Подбор подшипников качения. Указ. соч.
29. Расчет болтовых соединений. Указ. соч.
30. Муфты приводов. Указ. соч.
31. Расчет сварных соединений. Указ. соч.

Krasnokutsky Igor,
Ph.D., Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University by R. E. Alekseyev, Nizhny Novgorod
ngtu_pool@mail.ru

Experience «Mathcad» in the course designe software of machine parts

Abstract. Experience in teaching and course design guidance for the subject "machine parts" suggests the need to implement teaching materials in the form of the application package in an environment «Mathcad». On the example of the design and verification of calculation worm gear shown repeatedly reducing the time and illustrate the results of systematic calculations by varying several parameters of the mechanism.

Keywords: Machine parts, course design, Mathcad, gears.

ISSN 2304-120X
05
9 772304 120135

Рекомендовано к публикации:
Горевым П. М., кандидатом педагогических наук, главным редактором журнала «Концепт»