6. Fes'kov S.A. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya strel'chatyh lap kul'tivatorov dlya vyseva semyan zernovyh kul'tur po podgotovlennoj pochve [Tekst]: Dis. … kand. tekhnich. nauk/ Fes'kov S.A., Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – Bryansk, 2018.

7. Nadezhnost' i effektivnost' MTA pri vypolnenii tekhnologicheskih processov / A.T. Lebedev, O.P. Naumov, R.A. Magomedov, A.V. Zaharin, P.A. Lebedev, R.V. Pavlyuk // Stavropol', 2015. – 332 s.

8. Lebedev A.T., Lebedev P.A. Povyshenie iznosostojkosti plunzhera toplivnogo nasosa // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2010. – №1. – S.24-25.

9. Povyshenie resursa plunzhernyh par / N.A. Mar'in, A.T. Lebedev, R.V. Pavlyuk, R.A. Magomedov, A.V. Zaharin, M.A. Kobozev, P.A. Lebedev, V.A. Vasin // Nauchnaya mysl'. – 2015. – №3. – S. 249-253.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Лебедев Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь.

Лебедев Павел Анатольевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Захарин Антон Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь.

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Anatoly – Academician of the Russian Academy of Sciences, Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Lebedev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol.

Lebedev Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Zaharin Anton – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol.

Поступила в редакцию (Received): 29.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 07.06.2021

УДК 631.311.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-78-87

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

[1]Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович
[1]Балабанов Виктор Иванович
[1]Мартынова Наталья Борисовна
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Известно, что разработка новых конструкций рабочего оборудования мелиоративных и строительных машин, также, как и других технологических машин, требует проведения прочностных расчетов перед их изготовлением с целью определения запаса*

прочности. С использованием компьютерной программы Inventor Pro проводили уточненные прочностные расчеты (при разных размерах конечных элементов и их количестве) для деталей и конструкций мелиоративных и строительных машин нестандартной формы. Использовали методы однофакторного эксперимента в комплексе с методом конечных элементов (МКЭ). Рассмотрен уточненный расчет рабочего органа - ковша мелиоративной каналоочистительной машины, спроектированного в системе Inventor Pro. Размеры конечных элементов изменялись в диапазоне от 0,06 до 0,12 с шагом 0,02 мм. Установлено, что полиномиальная аппроксимация полученных зависимостей запаса прочности от величины размеров конечных элементов наиболее адекватна. Получены уравнения регрессии процесса изменения запаса прочности деталей в зависимости от размеров конечных элементов. Рекомендуется проверку конструкции по максимальным напряжениям и величинам запаса прочности в опасных сечениях проводить при минимальных значениях конечных элементов. При значениях запаса прочности, близких к минимально допустимым, необходимо проводить уточненные прочностные расчеты с разбивкой деталей на большое количество тетраэдров.

***Ключевые слова**: прочностной расчет, запас прочности, метод конечных элементов, твердотельное моделирование, конечно-элементная сетка.*

STRESS STATE ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF NEW STRUCTURES WORKING EQUIPMENT FOR CONSTRUCTION AND RECLAMATION MACHINES

[1]Abdulmazhidov Hamzat
[1]Balabanov Viktor
[1]Martynova Natalia
[1]FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. *It is known that the development of new designs of working equipment for land reclamation and construction machines, as well as other technological machines, requires strength calculations before their manufacture in order to determine the margin of safety. Refined strength calculations (for different sizes of finite elements and their number) for parts and structures of irregular-shaped land reclamation and construction machines were carried out using the computer program Inventor Pro. The methods of one-factor experiment in combination with the finite element method (FEM) were used. The revised calculation of the working body - the bucket of the reclamation channel cleaning machine, designed in the Inventor Pro system is considered. The dimensions of the finite elements varied in the range from 0.06 to 0.12 with a step of 0.02 mm. It was found that the polynomial approximation of the obtained dependences of the safety factor on the size of the finite elements is most adequate. Regression equations for the process of changing the safety factor of parts depending on the size of the finite elements are obtained. It is recommended to check the structure for maximum stresses and safety factors in dangerous sections at minimum values of finite elements. Refined strength calculations with a breakdown of parts into a large number of tetrahedrons must be carried out at values of the safety factor close to the minimum permissible.*

***Keywords**: strength calculation, strength reserve, end-element method, solid state modeling, of course-element grid.*

Введение. Кафедра «Мелиоративные и строительные машины» института Мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева является выпускающей. На кафедре реализуется направление подготовки бакалавров 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» профиль «Машины и оборудование для городского хозяйства». Кроме того, с 2020 года ведется подготовка бакалавров по направлению 35.03.11 «Гидромелиорация» профиль «Механизация и автоматизация гидромелиоративных работ». В течение всего курса обучения студенты выполняют различные отчеты по учебным и производственным практикам, курсовые работы, курсовые проекты, а в конце обучения выполняют выпускную квалификационную работу [1, 2, 3].

Тематика курсовых работ и проектов темы ВКР по перечисленным направлениям обычно связаны с разработкой и конструированием нового рабочего оборудования, а также

модернизацией элементов и конструкций существующего рабочего оборудования мелиоративных и строительных машин. При выполнении курсовых работ и проектов, а также выпускных квалификационных работ широко используются различные компьютерные программы. Их условно можно разделить на четыре группы:

1. Текстовые редакторы (здесь преимущественно применяется Microsoft Word, с помощью которого можно совершенно четко отобразить любой текст с различными формулами, рисунками и таблицами).

2. Расчетные пакеты (поскольку курсовые работы и проекты, а также ВКР содержат расчетные части – то их студенты выполняют в таких расчетных программах как Mathcad, MATLAB, Mathematica, Maple, Microsoft Excel и т.д.).

3. Графические пакеты (курсовые работы и проекты, а также ВКР содержат графическую часть, т.е. чертежи, они выполняются с помощью таких компьютерных программ как Inventor Pro, AutoCAD, SolidWorks, Компас и др.).

4. Презентационные программы (в настоящее время материалы для защиты курсовых работ и проектов, а также ВКР преимущественно представляются в виде презентаций, выполняемых в таких компьютерных программах как Microsoft PowerPoint и Google Workspace, также допустима дистанционная защита проектов с использованием сервисов Google Meet, Zoom, Skype, Webinar, Яндекс-Телемост и др.).

Обычно курсовые работы выполняются на 40-50 печатных страницах формата А4, курсовые проекты - 50-60 страниц, выпускные квалификационные работы бакалавров 70-80 страниц. Графическая часть курсовых работ и проектов может включать до 3-х листов формата А1 (здесь преимущественно представляются общий вид машины, сборочных чертеж разрабатываемого или модернизируемого узла и деталировка). ВКР бакалавра содержит обычно до 8-ми листов формата А1 (здесь также представлены общий вид машины с рабочим оборудованием, сборочных чертеж разрабатываемого или модернизируемого узла, деталировка, а также кинематическая и гидравлическая схемы, план производства работ, основной элемент рабочего оборудования – рабочий орган в объеме (3D), лист с прочностными расчетами и лист по экономической эффективности разработанной машины).

Материалы и методы. Создание новых конструкций и деталей технологических машин требует проведения прочностных расчетов. Анализ напряженного состояния новых деталей и конструкций, выполненных на кафедре мелиоративных и строительных машин проводится преимущественно с использованием графических пакетов Inventor Pro и Компас. Данные пакеты изучаются студентами на кафедре по дисциплинам «Основы работы в Inventor Pro» и «Основы работы в графическом редакторе Компас» [4, 5].

Стандартные профили, из которых изготавливаются элементы строительных и мелиоративных машин, такие как швеллеры, двутавры, тавры, уголки, круглые трубы, квадратные трубы представлены в библиотеках рассматриваемых программ. Их масс-инерционные характеристики - моменты инерции, моменты сопротивления, масса погонного метра используются при проведении прочностных расчетов, и они также представлены в справочной литературе. Более того исследуемые характеристики легко определяются с помощью графических пакетов. Проведение анализа напряженного состояния для конструкций, изготовленных из стандартных профилей не вызывает сложностей. Однако, часто элементы рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин имеют сложную конфигурацию, к примеру, конструкции стрел и рукоятей экскаваторов, корпусные детали узлов несущие определенную нагрузку. Поперечное сечение таких конструкций может меняться по их длине, а масс-инерционные характеристики не представлены в справочной литературе.

Многие современные графические программы позволяют изначально создавать объемные детали, затем деталь переводится в «плоскость», то есть формируется техническая документация для ее изготовления. Такой способ черчения получил название – ассоциативное черчение. Существуют различные способы твердотельного моделирования, в основе которого лежит формирование эскиза и придание ему объема. Часто используются такие способы как выдавливание, вращение, лофтинг, изгиб и т.д. Таким образом создаются сложные конструкции рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин.

Все вновь созданные конструкции машин требуют проведения прочностного расчета. Цель прочностного расчета заключается в определении запаса прочности. Запас прочности n представляет собой отношение предельных напряжений $\sigma_п$ к действующим в элементе напряжениям σ. Детали и конструкции рабочего оборудования преимущественно изготавливаются из сплавов черных металлов: стали и чугуна. Запас прочности для стальных конструкций обычно для учебных расчетов находится в пределах от 1,5 до 2 единиц, для чугунных – от 2 до 2,5. В случае если запас прочности окажется больше допустимых значений можно утверждать, что имеется расход материала, а если запас прочности меньше допустимых значений – значит конструкция не выдерживает заданных нагрузок. Часто бывает так, что в конструкции рабочего оборудования преимущественно возникает один из видов напряжений (напряжения сжатия $\sigma_{сж}$, изгиба $\sigma_{изг}$ или кручения $\tau_{кас}$). Прочностной расчет подразумевает соблюдение условия прочности, т.е. действующие в детали напряжения должны быть меньше допускаемых значений $\sigma_{сж} \leq [\sigma]$. Если деталь нагружена нормальными и касательными нагрузками – то в ней возникают все три вида напряжений (обычно такими деталями являются валы, несущие нормальную нагрузку и передающие вращающий момент, в таком случае необходимо определить эквивалентные, суммарные напряжения и проверить условие прочности) [6].

В программе Inventor Pro имеется модуль, с помощью которого определяются все необходимые для анализа прочности характеристики. Способ проведения прочностных расчетов в графических пакетах носит название метода конечных элементов. Сущность метода заключается в формировании сложной твердотельной нагруженной конструкции и разбивке ее на конечные элементы – тетраэдры. Расчет проводится программой для каждого элемента, затем промежуточные результаты интегрируются. Окончательные результаты выдаются в виде таблиц и гистограмм.

Более подробно расчет на прочность деталей методом конечных элементов выполняется в следующей последовательности:

1. Создание твердотельной детали или конструкции машины.
2. Задание материала конструкции.
3. Определение опорных поверхностей.
4. Задание нагрузок заданной величины в определенных точках. Нагрузки могут быть сосредоточенные и распределенные, а также касательные.
5. Разбивка детали на конечные элементы - тетраэдры, т.е. создание конечно-элементной сетки.
6. Работа модуля проведения расчета методом конечных элементов.
7. Представление результатов расчета с таблицами и гистограммами в виде отдельного файла-отчета.

Результатами расчета являются величины действующих напряжений, деформаций и смещений. Цветные гистограммы позволяют выяснить наиболее нагруженные участки конструкции. Основным результатом расчета, на основе которого можно сделать выводы о возможности использования детали или конструкции, является запас прочности.

При расчетных значениях запаса прочности в допустимых пределах, значениями, близкими к максимально допустимым можно было ограничиться. Однако, при значениях, близких к минимально допустимым, а также в случаях выяснения опасных сечений необходимо проводить уточненные прочностные расчеты. К примеру, если для стальных конструкций при предварительном прочностном расчете получены значения запаса прочности n = 1,508, казалось бы, полученная величина находится в допустимых пределах, но это требует уточнения.

При проведении прочностного расчета методом конечных элементов, как известно, твердотельная модель разбивается на тетраэдры, причем эти элементы имеют определенные размеры. Программа Inventor Pro формирует конечно-элементную сетку с размерами конечных элементов равных по умолчанию l = 0,1 мм.

Уточненный прочностной расчет позволяет оценивать запас прочности при уменьшенных размерах конечных элементов. Уменьшение размеров конечных элементов ведет к увеличению их количества, что в свою очередь позволяет получить более подробную и точную картину распределения напряжений в конструкции.

В настоящей статье рассматривается уточненный расчет рабочего органа - ковша мелиоративной каналоочистительной машины. Ковш спроектирован в системе Inventor Pro, имеет прямоугольный профиль и предназначен для очистки дна мелиоративных каналов от наносов, заилений и грунтов. Ковш может перемещаться на роликах по жестким направляющим, разрабатывая при этом режущей кромкой грунт. Величина нагрузок приходящихся на рабочий орган определена по формуле Н.Г. Домбровского $P_1 = K_к \cdot F$, где $K_к$ - удельное сопротивление копанию, МПа, F - площадь поперечного сечения стружки, см^2 [7].

Методика проведения уточненного расчета заключается в том, что расчеты проводятся при разных значениях размеров конечных элементов, но при этом конфигурация детали, материал изготовления, опорные поверхности, величина нагрузки и точки ее приложения не меняются.

На рисунках 1, 2 и 3 представлена конструкция ковша каналоочистителя, выполненная в системе Inventor Pro, разбивка конструкции на конечные элементы (конечно-элементная сетка) и прочностной расчет [8, 9, 10, 11, 12].

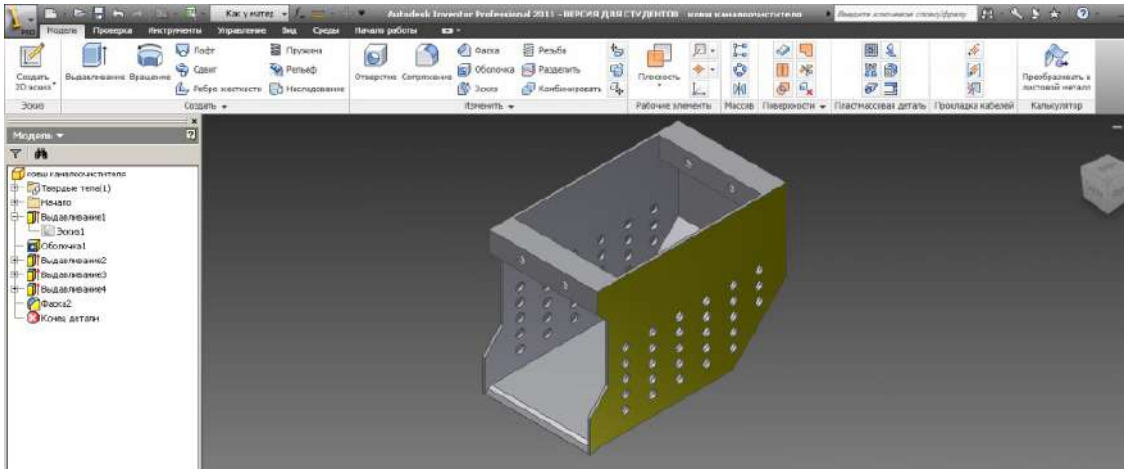

Рисунок 1 – Объемная конструкция ковша каналоочистителя, выполненная в системе Inventor Pro

Исследование было проведено согласно правилам однофакторного эксперимента [13, 14, 15], размеры конечных элементов изменялись в диапазоне от 0,06 до 0,12 с шагом 0,02 мм (таблица 1), соответственно получились четыре точки 0,06; 0,08; 0,1 и 0,12.

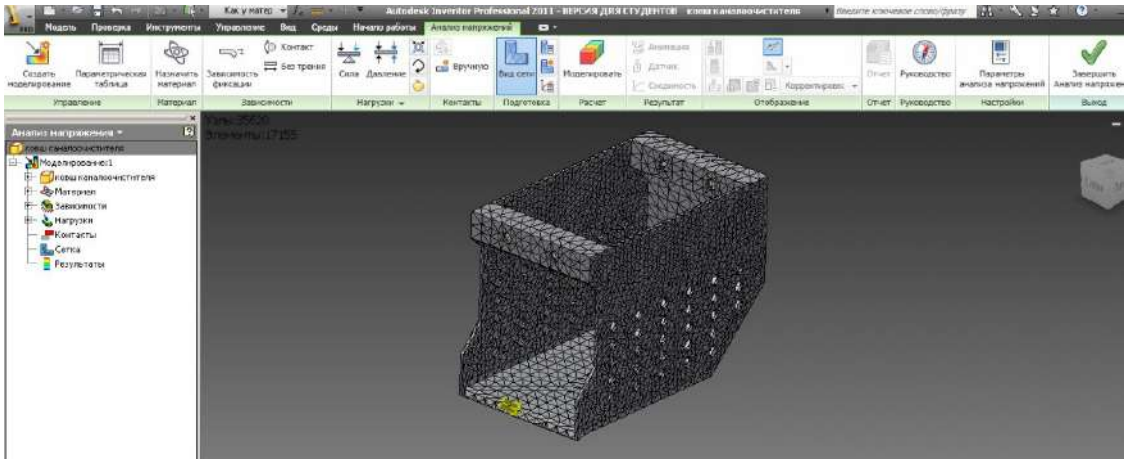

Рисунок 2 – Создание конечно-элементной сетки

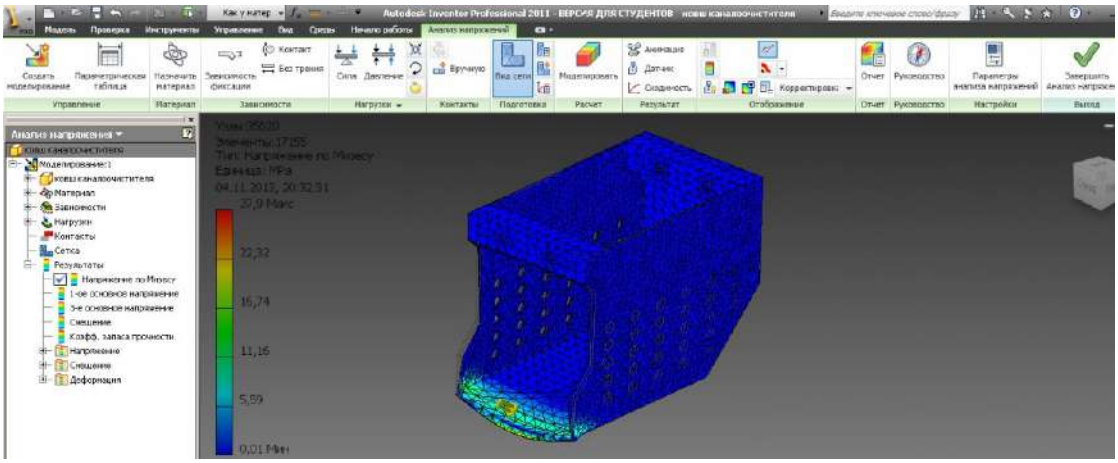

Рисунок 3 – Прочностной расчет ковша

Таблица 1 – Результаты уточненного прочностного расчета

Номер опыта	Нагрузка, *P*, Н	Размеры конечных элементов *l*, мм	Запас прочности *n*, бр
1	12500	0,12	1,89572
2	12500	0,10	1,77461
3	12500	0,08	1,62023
4	12500	0,06	1,40316

Листинг получения линейного уравнения регрессии по результатам уточненного расчета, полученного в системе Mathcad представлен на рисунке 4.

Обработка результатов уточненных расчетов исследований по определению запаса прочности конструкции методом конечных элементов в зависимости от размеров тетраэдров

1. Представление значений размеров конечных элементов каждого опыта в виде матрицы-строки с транспонированием

$X := (0.06 \quad 0.08 \quad 0.10 \quad 0.12) \qquad X := X^T$

2. Представление значений запаса прочности каждого опыта в виде матрицы-строки с транспонированием

$Y := (1.40316 \quad 1.62023 \quad 1.77461 \quad 1.89572) \qquad Y := Y^T$

3. Определение коэффициента A линейного уравнения регрессии

$A := \mathrm{slope}(X, Y) \qquad A = 8.16$

4. Определение коэффициента B линейного уравнения регрессии

$B := \mathrm{intercept}(X, Y) \qquad B = 0.939$

5. Представление линейного уравнения регрессии

$Y := 8.16X + 0.939$

Рисунок 4 – Листинг результатов уточненного расчета в системе Mathcad

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований получены зависимости запаса от величины размеров конечных элементов в линейной и полиномиальной аппроксимации (рисунок 5).

По величине достоверности аппроксимации R^2 = 0,9997 можно сделать вывод от том, что наиболее адекватно описывает процесс полиномиальная аппроксимация, для линейной аппроксимации этот показатель составляет равен R^2=0,9827 [16, 17, 18].

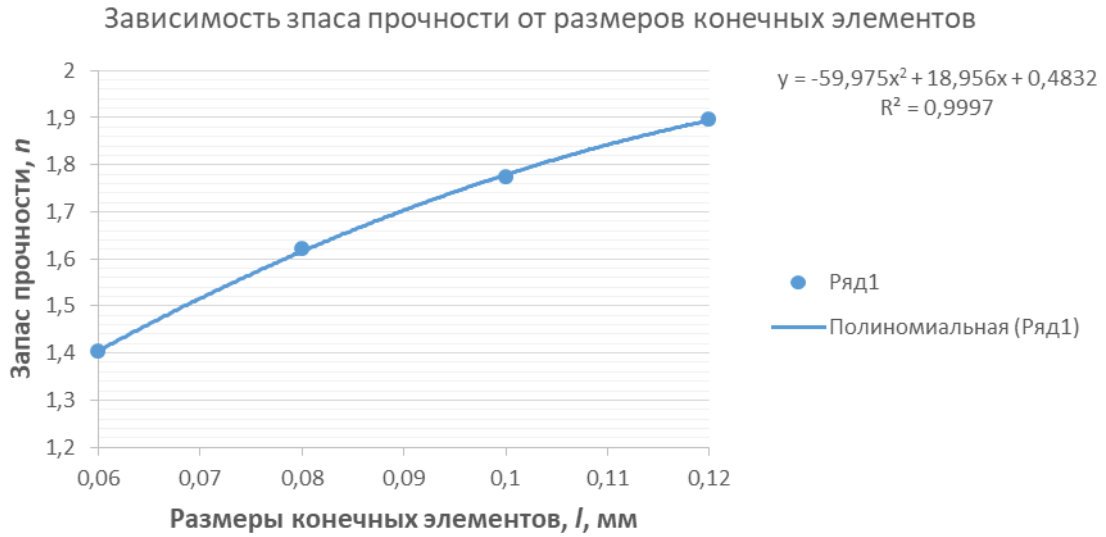

Рисунок 5 – Зависимость запаса прочности конструкции от размеров конечных элементов

Некоторая неясность в исследованиях на первый взгляд формируется в связи с тем, что для одной и той же конструкции, выполненной из определенной марки стали, при одних и тех же нагрузках, приложенных в соответствующих точках для каждого опыта, получаются разные запасы прочности. Это можно объяснить более детальным и подробным рассмотрением детали или конструкции с более подробной конечно-элементной сеткой.

Заключение. По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Предварительные прочностные расчеты методом конечных элементов для новых или модернизируемых конструкций строительных и мелиоративных машин не являются достаточными при значениях запаса прочности близких к минимальным.
2. При значениях запаса прочности близких к минимально допустимым необходимо проводить уточненные прочностные расчеты, подразумевающие разбивку детали на большее количество тетраэдров.
3. Проверка конструкции по максимальным напряжениям и величинам запаса прочности в опасных сечениях желательно проводить при минимальных значениях конечных элементов.

Список литературы

1. Абдулмажидов Х. А., Матвеев А. С. Уточненные прочностные расчеты рабочих органов машин природообустройства в системе Inventor pro // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 3. – С. 7-14.
2. Абдулмажидов Х. А., Матвеев А. С. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor pro // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 2(72). – С. 40-46.
3. Карапетян М. Л., Абдулмажидов Х. Л. Теоретическое исследование динамики рабочего органа каналоочистителя РР-303 // Природообустройство. – 2015. – № 2. – С. 78-80.
4. Теловов Н. К. , Абдулмажидов Х. Л. Экспериментальные исследования физической модели рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 3(91). – С. 22-27. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-22-27.
5. Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И. Расчет машин и оборудования природообустройства. - М.: МЭСХ.-2020. -86 с.
6. Балабанов В.И., Лилова-Маркова С.В., Миташев Д.П. Обеспечение прочности машиностроительных конструкций / Доклады ТСХА: Материалы Международной научной конференции. – 2017. – С. 201-202.

7. Корнеев, А. Ю., Мартынова Н. Б. Плужный рабочий орган для строительства мелиоративных каналов полуэллиптического профиля в зоне осушения // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2017. – № 2(78). – С. 26-29.

8. Механизация растениеводства /В.М. Халанский [и др.]. – М.: РГАУ-МСХА, 2014. – 524с.

9. Суриков, С. Ю. Inventor HSM pro -новое CAD/CAM решение для технологов-машиностроителей / С. Ю. Суриков // Научно-технические и инженерные разработки - основа решения современных экологических проблем: Сборник материалов Юбилейной семидесятой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием: в 3-х частях; Ярославль, 19 апреля 2017 года. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2017. – С. 83-85.

10. Николаев, К. В., Хамитова Д. В. Перспективы использования параметризации Autodesk Inventor и среды Ilogic в производстве // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: XIV Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция, Казань, 06–08 ноября 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 424-429.

11. Круль К., Белов В. А., Олеярчик К. Моделирование и расчет конструкций строительных машин и сооружений: учеб. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2008. – 232 с. – ISBN 5726404696.

12. Макеев В. Н., Сушков С. И. Курсовое и дипломное проектирование дорожно-строительных машин. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2015. – 187 с. – ISBN 9785799405939.

13. Курилин А. В. Обработка и интерполяция числовых данных в Mathcad // Образование – путь к успеху: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 28–29 ноября 2018 года / Под общей редакцией Е.В. Плужника, Т.В. Яблоновской. – Москва: Негосударственное образовательное учреждение высшего образования Московский технологический институт, 2018. – С. 79-82.

14. Рындин В. В., Волкова Л. Ю. Применение системы Mathcad при статистическом анализе экспериментальных данных // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 4. – С. 6-18.

15. Пузанкова Л. В., Павлушина В. А. Изучение возможностей пакета Mathcad в учебном процессе // Информатика и прикладная математика. – 2018. – № 24. – С. 64-65.

16. Кукаркин, И. Д., Сиротенко А. Н. Особенности прочностного расчета несущей конструкции портального самопогрузчика // Актуальные проблемы науки и техники. 2019: Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26–28 марта 2019 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. – С. 375-376.

17. Ертаева Ж. А., Байтуреев А. М. Математическая обработка экспериментальных исследований и проверка адекватности математической модели // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9-3. – С. 489-491.

18. Кудрявцева-Сидоренко И. С. Методика оценки статистических свойств характеристических функций // Омский научный вестник. – 2016. – № 5(149). – С. 121-124.

References

1. Abdulmazhidov H. A., Matveev A. S. Utochnennye prochnostnye raschety rabochih organov mashin prirodoobustrojstva v sisteme Inventor pro // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2018. – № 3. – S. 7-14.

2. Abdulmazhidov H. A., Matveev A. S. Kompleksnoe proektirovanie i prochnostnye raschety konstrukcij mashin prirodoobustrojstva v sisteme Inventor pro // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2016. – № 2(72). – S. 40-46.

3. Karapetyan M. L., Abdulmazhidov H. L. Teoreticheskoe issledovanie dinamiki rabochego organa kanaloochistitelya RR-303 // Prirodoobustrojstvo. – 2015. – № 2. – S. 78-80.

4. Telovov N. K. , Abdulmazhidov H. L. Eksperimental'nye issledovaniya fizicheskoj modeli rabochego organa dvuhurovnevogo glubokoryhlitelya // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2019. – № 3(91). – S. 22-27. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-22-27.

5. Martynova N.B., Abdulmazhidov H.A., Balabanov V.I. Raschet mashin i oborudovaniya prirodoobustrojstva. - M.: MESKH.-2020. -86 s.

6. Balabanov V.I., Lilova-Markova S.V., Mitashev D.P. Obespechenie prochnosti mashinostroitel'nyh konstrukcij / Doklady TSKHA: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – 2017. – S. 201-202.

7. Korneev, A. YU., Martynova N. B. Pluzhnyj rabochij organ dlya stroitel'stva meliorativnyh kanalov poluellipticheskogo profilya v zone osusheniya // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2017. – № 2(78). – S. 26-29.

8. Mekhanizaciya rastenievodstva /V.M. Halanskij [i dr.]. – M.: RGAU-MSKHA, 2014. – 524s.

9. Surikov, S. YU. Inventor HSM pro -novoe CAD/CAM reshenie dlya tekhnologov-mashinostroitelej / S. YU. Surikov // Nauchno-tekhnicheskie i inzhenernye razrabotki - osnova resheniya sovremennyh ekologicheskih problem: Sbornik materialov YUbilejnoj semidesyatoj vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, magistrantov i aspirantov s mezhdunarodnym uchastiem: v 3-h chastyah; YAroslavl', 19 aprelya 2017 goda. – YAroslavl': YAroslavskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2017. – S. 83-85.

10. Nikolaev, K. V., Hamitova D. V. Perspektivy ispol'zovaniya parametrizacii Autodesk Inventor i sredy Ilogic v proizvodstve // Dispetcherizaciya i upravlenie v elektroenergetike: XIV Vserossijskaya otkrytaya molodezhnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Kazan', 06–08 noyabrya 2019 goda. – Kazan': Kazanskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet, 2019. – S. 424-429.

11. Krul' K., Belov V. A., Oleyarchik K. Modelirovanie i raschet konstrukcij stroitel'nyh mashin i sooruzhenij: ucheb. – Moskva: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2008. – 232 s. – ISBN 5726404696.

12. Makeev V. N., Sushkov S. I. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie dorozhno-stroitel'nyh mashin. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2015. – 187 s. – ISBN 9785799405939.

13. Kurilin A. V. Obrabotka i interpolyaciya chislovyh dannyh v Mathcad // Obrazovanie – put' k uspekhu: Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 28–29 noyabrya 2018 goda / Pod obshchej redakciej E.V. Pluzhnika, T.V. YAblonovskoj. – Moskva: Negosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Moskovskij tekhnologicheskij institut, 2018. – S. 79-82.

14. Ryndin V. V., Volkova L. YU. Primenenie sistemy Mathcad pri statisticheskom analize eksperimental'nyh dannyh // Nauka i tekhnika Kazahstana. – 2018. – № 4. – S. 6-18.

15. Puzankova L. V., Pavlushina V. A. Izuchenie vozmozhnostej paketa Mathcad v uchebnom processe // Informatika i prikladnaya matematika. – 2018. – № 24. – S. 64-65.

16. Kukarkin, I. D., Sirotenko A. N. Osobennosti prochnostnogo rascheta nesushchej konstrukcii portal'nogo samopogruzchika // Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2019: Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 26–28 marta 2019 goda. – Rostov-na-Donu: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2019. – S. 375-376.

17. Ertaeva ZH. A., Bajtureev A. M. Matematicheskaya obrabotka eksperimental'nyh issledovanij i proverka adekvatnosti matematicheskoj modeli // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2015. – № 9-3. – S. 489-491.

18. Kudryavceva-Sidorenko I. S. Metodika ocenki statisticheskih svojstv harakteristicheskih funkcij // Omskij nauchnyj vestnik. – 2016. – № 5(149). – S. 121-124.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: hamzat72@mail.ru.

Балабанов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Мартынова Наталья Борисовна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: yourim2@rambler.ru.

Author credentials
Affiliations

Abdulmazhidov Hamzat – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Russia, Moscow, e-mail: hamzat72@mail.ru.

Balabanov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Natalia Martynova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Russia, Moscow, e-mail: yourim2@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 14.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

УДК 621.822.6.004.67:668.3:631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-87-95

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

[1]Ли Роман Иннакентьевич
[2]Псарев Дмитрий Николаевич
[3]Киба Мария Романовна
[1]Мельников Антон Юрьевич

[1]ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Реферат. *Способы восстановления полимерными материалами значительно увеличивают послеремонтный ресурс корпусных деталей, подшипниковых узлов, валов и шестерен. Представляют большой научный и практический интерес исследования наполнения эластомеров углеродными нанотрубками с целью разработки перспективного нанокомпозита для восстановления корпусных деталей автомобилей. Исследовали влияние углеродных нанотрубок «Таунит-М» на деформационно-прочностные и адгезионные свойства эластомера Ф-40С. Деформационно-прочностные свойства не наполненного эластомера Ф-40С и композитов на его основе исследовали по методикам ГОСТ 14236-81 и ГОСТ 12423-66 с использованием оригинальной оснастки и образцов. Адгезию покрытий не наполненного эластомера Ф-40С и композитов на его основе оценивали прочностью связи покрытия с металлической подложкой при отслаивании образцов по методике ГОСТ 21981-76. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50. По результатам исследований определен оптимальный состав нанокомпозита эластомера Ф-40С: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч. Новый нанокомпозит, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, имеет более высокие потребительские свойства: прочность материала увеличилась на 32%, деформация – 1,66 раза, адгезия – 30%. Удельная работа разрушения увеличилась на 82%, что свидетельствует о более высокой выносливости материала и создает условия для повышения долговечности восстановленных посадок подшипников. Увеличение модуля упругости нанокомпозита в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С на 59%, позволит уменьшить податливость восстановленной опоры при радиальном нагружении подшипника, исключить смещение осей подшипника относительно оси отверстия, увеличить предельно допустимую толщину полимерного покрытия при восстановлении корпусных деталей. Разработан перспективный эластомерный нанокомпозит для восстановления корпусных деталей автотракторной техники.*

Ключевые слова: *эластомер, углеродные нанотрубки, нанокомпозит, деформационно-прочностные и адгезионные свойства, корпусная деталь, восстановление.*