

Моделирование эксплуатационных условий работы резьбового соединения

А.С. Гаваев, Е.М. Чикишев

Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Аннотация: В статье рассматривается значимость применения имитационного моделирования при проектировании технологического процесса для анализа технико-эксплуатационных характеристик изделий, выявления вероятных отказов. В работе представлены результаты исследования эксплуатационных условий работы резьбового соединения, сформулированы выводы об эффективности использования программного обеспечения ANSYS при проектировании продукции машиностроения.

Ключевые слова: резьбовое соединение, моделирование, инновационные технологии, оптимизация, запас прочности, эксплуатационные характеристики, шаг резьбы, машиностроение.

Применение методов имитационного моделирования некоторых этапов технологических процессов - перспективное направление развития машиностроительного производства. Моделирование эксплуатационных условий работы резьбового соединения в детали «Корпус запорного устройства» основывается на методе расчета вычислительной гидродинамики, который является основанием для исследования статических и динамических параметров с целью анализа надежности конструкции изделий машиностроения [1].

Проведенное исследование заключается в определении оптимальной конструкции резьбового соединения, с учётом таких эксплуатационных свойств, которые позволяют обеспечить дополнительный запас прочности конструкции, в случае вероятных нарушений условий эксплуатации. В ходе изучения конструкции резьбового соединения запорного устройства рассмотрен такой параметр, как шаг резьбы [2]. В рамках поставленной задачи анализ резьбового соединения производится среди двух вариантов шага резьбы М33: основной шаг – 3,5 миллиметра и мелкий шаг 1,5

миллиметра, в связи с тем, что унификация изделия является неотъемлемой частью процесса производства и дальнейшей эксплуатации [3].

В качестве материала при производстве корпуса запорного устройства возможно использование двух марок стали: конструкционная углеродистая обыкновенного качества Ст3 и сталь конструкционная легированная 40Х [4]. На основании результатов исследования, проведенного ранее, установлено, что применение стали марки 40Х при изготовлении рассматриваемого изделия позволит повысить надежность запорного устройства за счёт снижения вероятности возникновения деформаций и напряжений в процессе эксплуатации [5].

На следующем этапе исследования рассмотрены два типа резьбы с установлением характеристик с более оптимальными значениями для заданных условий эксплуатации запорного устройства. Исследование резьбового соединения проводится с целью предупреждения возможных дефектов [6].

При выполнении анализа работы резьбового соединения применена методика моделирования фиктивной резьбы. Использование фиктивной резьбы позволяет повысить точность расчета резьбовых соединений без необходимости моделировать геометрию резьбы в явном виде. Нормали контактных элементов резьбы и сопрягаемой детали будут развернуты в соответствии с направлением резьбы, в конкретной точке, согласно введенным данным о направлении, диаметре, шаге резьбы и числе заходов [7].

Стоит отметить, что дополнительное преимущество используемого способа выражается в большей точности установления как сил и напряжений непосредственно в резьбе, так и возникающих в другой сопрягаемой детали окружающих напряжений. Фиктивная резьба позволяет определить точную зависимость силы в болте от перемещения, но только до того момента, как

сопряженные детали в резьбе «выскользнут» и соединение потеряет несущую способность.

Расчеты выполнены с использованием программного комплекса Ansys Workbench [8]. Установки параметров исследуемых вариантов резьбового соединения представлены на рисунке 1.

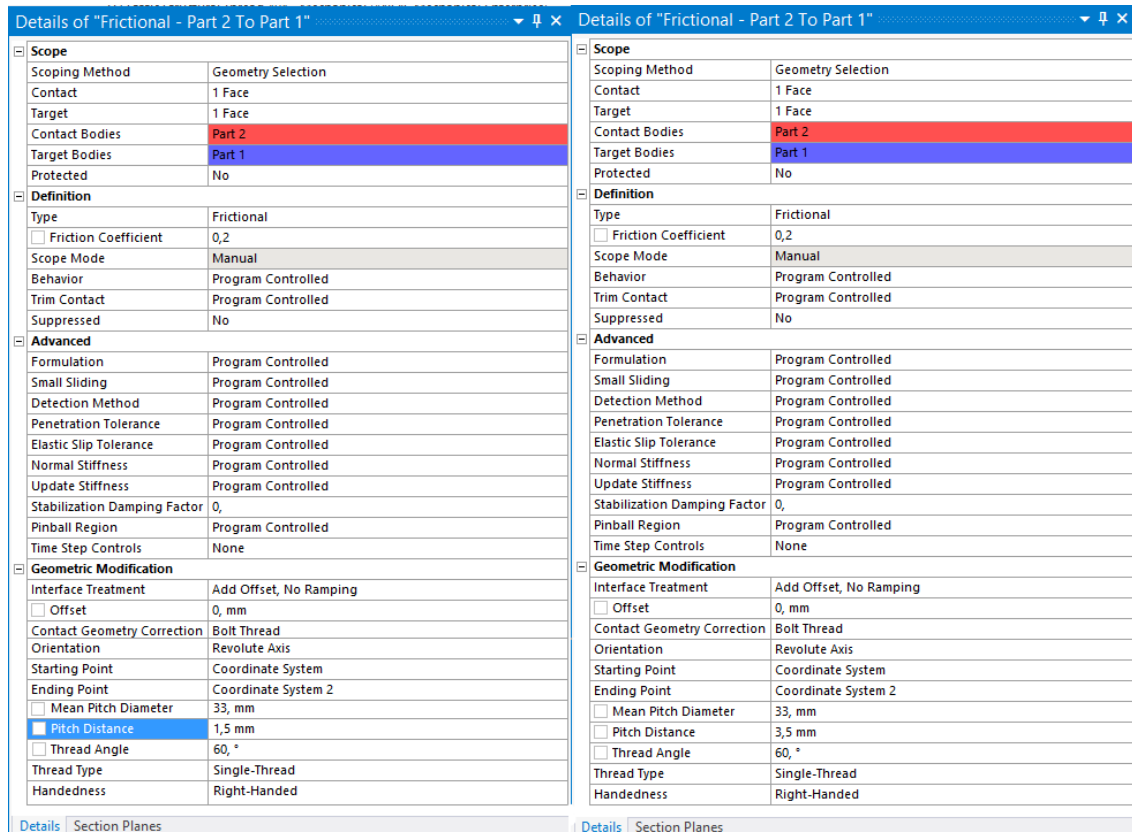


Рис. 1. – Параметры исследуемых вариантов резьбового соединения

Для сравнительного анализа проводится исследование резьбы конструкции резьбового соединения с разным шагом. Задается направление резьбы правое диаметр – 33 миллиметра, число заходов – однозаходная, шаг резьбы 1,5 и 3,5 миллиметра.

В ходе проведения исследования следует добавить граничные условия: усилие предварительной затяжки – Bolt Pretension, сила, действующая на резьбовое соединение и тип ограничения – Fixed Support [9].

Далее формируется список расчетных параметров. Расчетными параметрами для промежуточной визуализации геометрии и исследуемых областей статистического конструкционного анализа выступают перемещение и эквивалентные напряжения Мизеса.

В качестве одной из основных причин повреждения конструкций является усталость материала, которая обуславливается разрушением изделия при повторяющейся циклической нагрузке.

Используя инструмент в дереве исследования Fatigue Tool, можно визуализировать усталостные разрушения конструкции резьбового соединения. В инструмент добавляется два расчетных параметра, это число циклов до разрушения – *Lifr*, и запасы прочности – *Safety Factor*. Промежуточные результаты исследований представлены на рисунке 2.

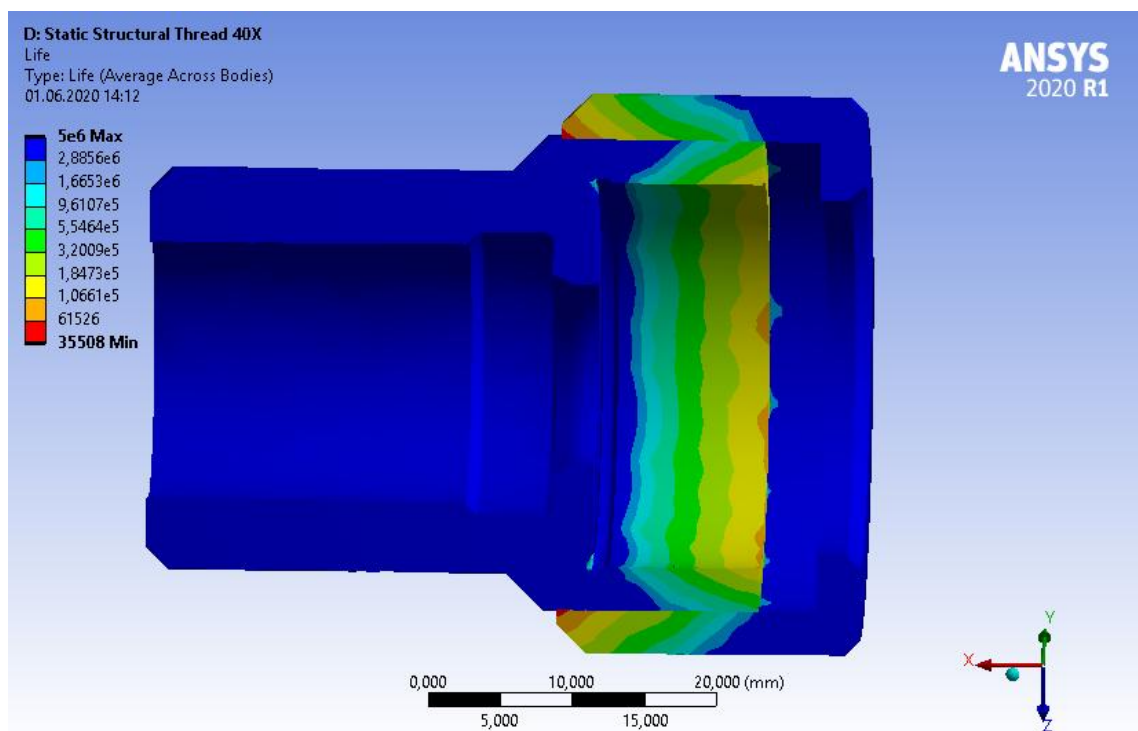


Рис. 2. – Результат расчета числа циклов до разрушения

Описанный набор программных инструментов, расчетных шаблонов, моделей и последовательность их применения позволяет проводить моделирование работы запорного устройства и определения технологических

и эксплуатационных характеристик, как отдельных элементов, так и всего узла [10].

Основные сравнительные показатели надежности конструкций двух вариантов резьбового соединения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Анализ конструкций двух вариантов резьбового соединения

Резьбовое соединение	Предварительная затяжка, Н	Давление, МПа	Перемещение, мм	Напряжение, МПа	Минимальное количество циклов до разрушения
М33х3,5	10	130	0,11324	1370,7	19558
		120	0,11236	1368,4	19701
		110	0,11149	1365,9	19875
		100	0,11063	1362,7	20058
		90	0,10978	1359,7	20263
		80	0,10894	1356,7	20474
		70	0,10811	1353,6	20687
М33х1,5	10	130	0,11202	1282,4	26474
		120	0,11117	1278,7	26823
		110	0,11033	1274,7	27210
		100	0,10952	1270,4	27626
		90	0,10873	1266,2	28046
		80	0,10795	1262,9	28378
		70	0,10718	1260,7	28608

Анализ полученных результатов перемещений, напряжений и минимального количества циклов до разрушения двух вариантов конструкции резьбового соединения, рассматриваемого концевого запорного устройства показал, что, под действием заданного давления и предварительной затяжки резьбы, резьбовое соединение М33х1,5 обладает более высокими технико-эксплуатационными показателями.

На рис. 3 представлена зависимость изменения перемещения от давления.

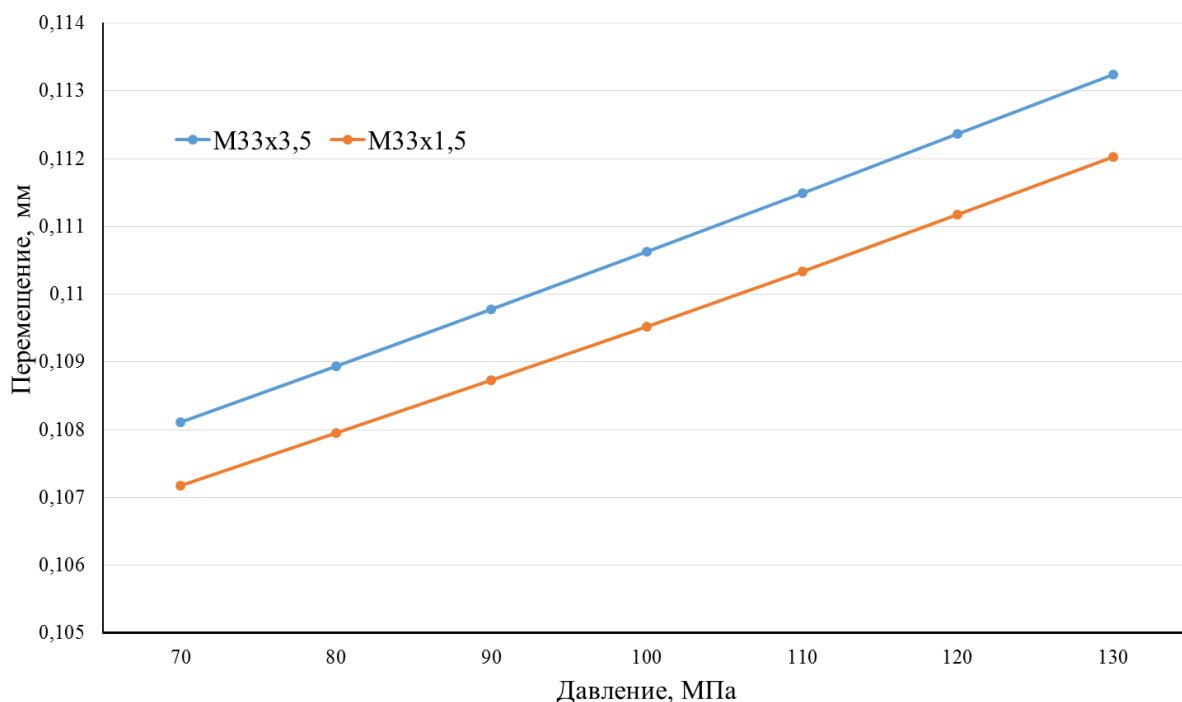


Рис. 3. – Зависимость изменения перемещения от давления

На рис. 4 отражено влияние значения давления изменение напряжения.

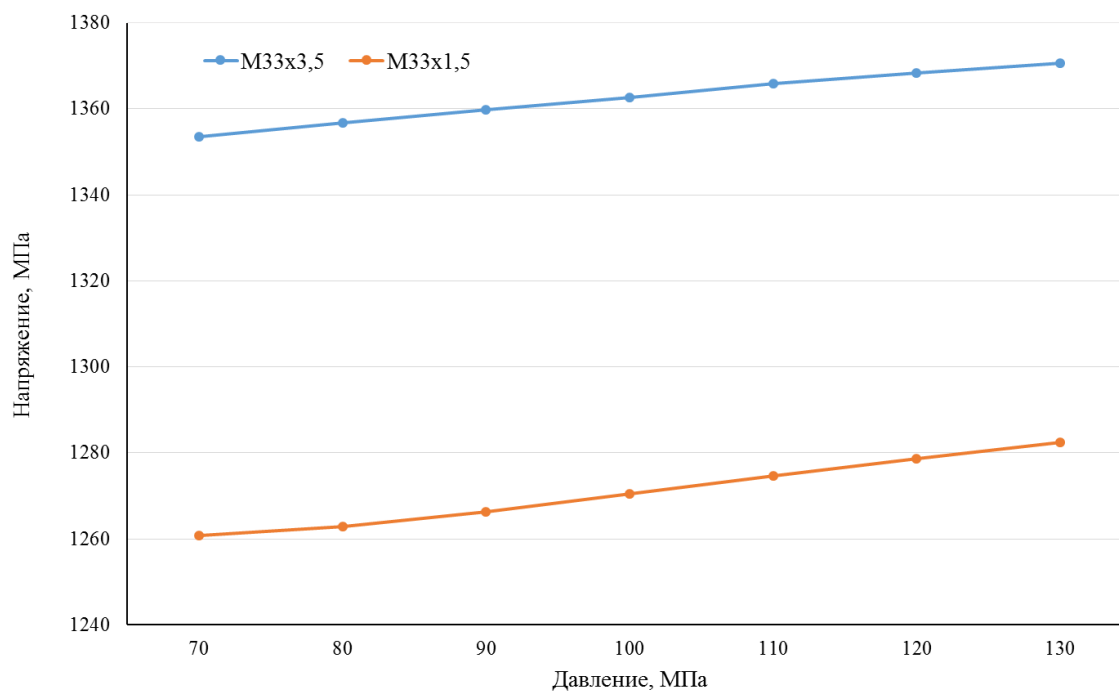


Рис. 4. – Зависимость изменения напряжения от давления

Зависимость изменения минимального количество циклов до разрушения от давления представлена на рис. 5.

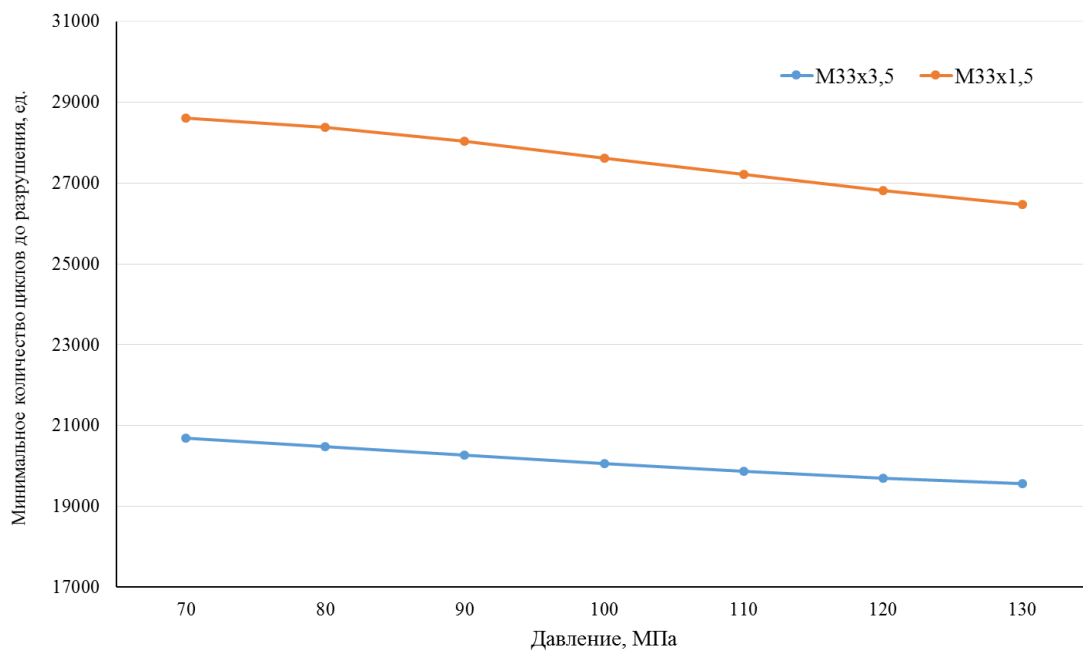


Рис. 5. – Зависимость изменения минимального количества циклов до разрушения от давления

Результаты исследования резьбового соединения М33х3,5 и М33х1,5. Диаграммы перемещения, распределения количества циклов до разрушения представлены на рисунке 6.

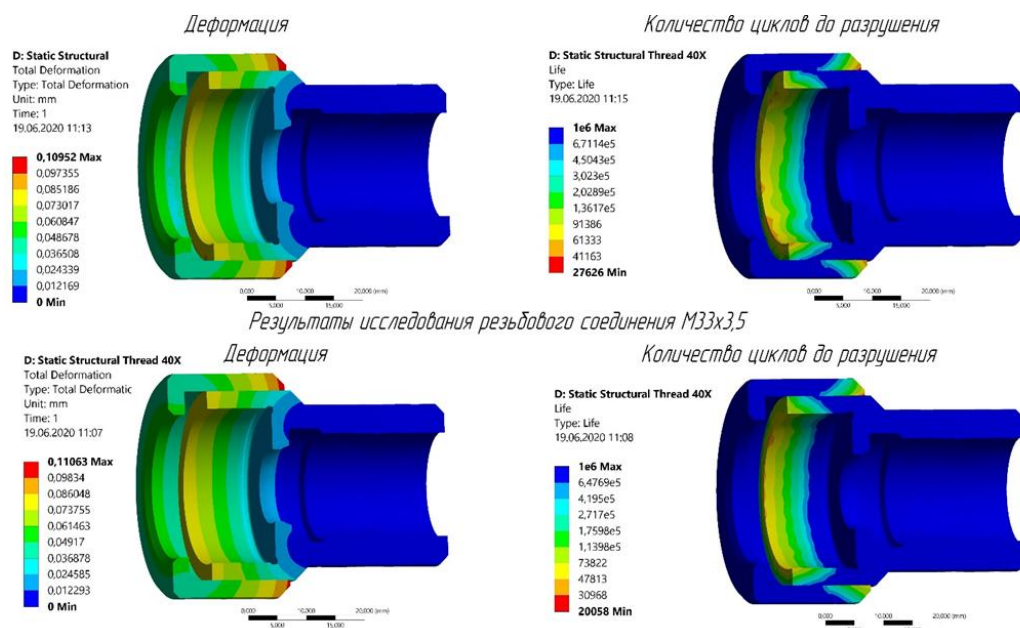


Рис. 6. – Результаты исследования резьбового соединения М33х3,5 и М33х1,5

Управление технологическими процессами на основе внедрения инновационных технологий в производство с использованием расчетной интегрирующей среды неуклонно приводит к повышению производительности труда и удовлетворению требований точности изготовления деталей с учётом требований условий эксплуатации [11]. Наличие возможности использования в качестве инструментов управления универсальных математических пакетов, основанных на расчетах методом конечных элементов, позволяет инженерам, конструкторам, технологам решать широкий круг задач в различных сферах профессиональной деятельности.

Литература

1. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1993. 639 с.
2. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. М.: Машиностроение, 1975. 222 с.
3. Арзамасов Б.Н., Соловьева Т.В., Герасимов С.А. Справочник по конструкционным материалам: Справочник. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. 640 с.
4. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А., Гервасьев М.А., Гредитор М.А., Крылова К.М., Кубачек В.В., Мирмельштейн В.А. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
5. Гаваев А. С., Свистунова В. А., Чикишев Е. М., Ядрышников А.И., Эртман Ю.А. Моделирование эксплуатационных условий работы запорного устройства // Инженерный вестник Дона, 2022, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7418.
6. Гаваев А. С., Максимов В. Е. Исследование свойств детали при использовании различных видов материалов // Инновационные технологии в

машиностроении. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. С. 71-75.

7. Еремин, Ю. А., Булавинцев И. Н. Построение моделей виброползучести резьбовых соединений по результатам натурного эксперимента / Вестник Самарского государственного технического университета. 1999. № 7. С. 181-184.

8. Каплун А. Б., Морозов Е.М., Шамраева М.А. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. М.: Ленанд, 2021. 272 с.

9. Alshoaibi, A.M., Ali Fageehi, Y. 3D modelling of fatigue crack growth and life predictions using ANSYS. Ain Shams Engineering Journal. 2022. vol. 13 (4), № 101636. DOI: 10.1016/j.asej.2021.11.005.

10. Jayachitra T., Priyadarshini R. Smart monitoring system for detection of damage in structural parts by emi and ansys. SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. 2021. vol. 69. № 2. pp. 134-138. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I2P219.

11. Chimakurthi S.K., Reuss S., Tooley M., Scampoli S. Ansys workbench system coupling: a state-of-the-art computational framework for analyzing multiphysics problems. Engineering with Computers. 2018. vol. 34. № 2. pp. 385-411. DOI: 10.1007/s00366-017-0548-4.

References

1. Birger I.A., Shorr B.F., Iosilevich G.B. Raschet na prochnost' detalei mashin [Calculation of the strength of machine parts]. Moskva: Mashinostroenie, 1993. 639 p.

2. Ivashchenko I.A. Tekhnologicheskie razmernye raschety i sposoby ikh avtomatizatsii [Technological dimensional calculations and methods of their automation]. Moskva: Mashinostroenie, 1975. 222 p.

3. Arzamasov B.N., Solov'eva T.V., Gerasimov S.A. et al. Spravochnik po konstrukcionnym materialam [Handbook of structural materials]. Moskva: Izd-vo MGTU im.Baumana, 2005. 640 p.

4. Sorokin V.G., Volosnikova A.V., Vjatkin S.A., Gervas'ev M.A., Greditor M.A., Krylova K.M., Kubachek V.V., Mirmel'shtejn V.A. Moskva: Mashinostroenie, 1989. 640 p.

5. Gavaev A. S., Svistunova V. A., Chikishev E. M., Jadryshnikov A.I., Ertman J.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7418.

6. Gavaev A. S., Maksimov V. E. Innovacionnye tehnologii v mashinostroenii. Tomsk: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet, 2023. pp. 71-75.

7. Eremin, Ju. A., Bulavincev I. N. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 1999. № 7. pp. 181-184.

8. Kaplun A. B., Morozov E.M., Shamraeva M.A. ANSYS v rukah inzhenera. Prakticheskoe rukovodstvo [ANSYS is in the hands of an engineer. Practical guide]. Moskva: Lenand, 2021. 272 p.

9. Alshoaibi, A.M., Ali Fageehi, Y. Ain Shams Engineering Journal. 2022, vol. 13 (4), № 101636. DOI: 10.1016/j.asej.2021.11.005.

10. Jayachitra T., Priyadarshini R. SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. 2021. vol. 69. № 2. pp. 134-138. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I2P219.

11. Chimakurthi S.K., Reuss S., Tooley M., Scampoli S. Engineering with Computers. 2018. vol. 34. № 2. pp. 385-411. DOI: 10.1007/s00366-017-0548-4.