

УДК 004.94:621.88.082

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Канчурин Руслан Ямилевич, магистрант, направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: ruslankanchurin@gmail.com

Тулибаев Егор Сагитович, аспирант, направление подготовки 18.06.01 Химическая технология, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: tulibaew@mail.ru

Русяев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизации производства, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: nermal@mail.ru

***Аннотация.** Статья посвящена разработке системы автоматизированного проектирования резьбовых соединений бурильных труб. Сложные геологические, технологические и климатические условия при бурении новых скважин повышают требования к показателям прочности и надежности элементов колонн. Применение компьютерного моделирования позволяет ускорить и сократить ресурсоемкость проектирования новых конструкций высокопрочных резьбовых соединений.*

В работе представлены результаты разработки программного обеспечения для автоматизированного построения твердотельной модели и инженерного анализа резьбовых соединений в САПР Siemens NX с помощью программного интерфейса. Приводится описание функциональной модели разработки системы автоматизированного проектирования по методологии IDEF0.

***Ключевые слова:** система автоматизированного проектирования, прикладной программный интерфейс, САЕ, САД, инженерный анализ, резьбовые соединения бурильных труб.*

***Для цитирования:** Канчурин Р. Я., Тулибаев Е. С., Русяев А. С. Система автоматизированного проектирования профиля резьбы бурильных труб // Шаг в науку. – 2023. – № 4. – С. 57–63.*

SYSTEM FOR AUTOMATED DESIGN OF DRILL PIPE THREAD PROFILES

Kanchurin Ruslan Yamilevich, postgraduate student, training program 09.04.01 Informatics and Computer Engineering, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: ruslankanchurin@gmail.com

Tulibaev Egor Sagitovich, graduate student, training program 18.06.01 Chemical Technology, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: tulibaew@mail.ru

Rusyaev Aleksandr Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Automation Systems, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: nermal@mail.ru

***Abstract.** The article is devoted to the development of a computer-aided design system for threaded connections of drill pipes. Complex geological, technological and climatic conditions when drilling new wells increase the requirements for the strength and reliability of the column elements. The use of computer modeling makes it possible to accelerate and reduce the resource intensity of designing new structures of high-strength threaded connections.*

The article presents the results of software development for automated construction of a solid-state model and engineering analysis of threaded connections in Siemens NX CAD using a software interface. A functional model of

computer-aided design system development in accordance with the IDEF0 methodology is described.

Key words: computer-aided design system, application software interface, CAE, CAD, engineering analysis, threaded connections of drill pipes.

Cite as: Kanchurin, R. Ya., Tulibaev, E. S., Rusyaev, A. S. (2023) [System for automated design of drill pipe thread profiles]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 57–63.

Стабильное увеличение потребления и большой спрос в мире на твердые полезные ископаемые требуют бурения новых скважин в регионах со сложными геолого-техническими и климатическими условиями. К этим условиям относятся наличие трещиноватых пород, абразивность, большие каверны и искривления, разработка ведется в регионах с низкими среднесуточными температурами (менее минус 50 градусов по Цельсию), а также станки с более высокой мощностью. Резьбовые соединения бурильных труб подвергаются действию значительных нагрузок и являются наиболее уязвимым элементом бурильных колонн [4].

При проектировании резьбовых соединений на каждом цикле (согласно ГОСТ Р 15.301-2016) прово-

дятся натурные испытания серий образцов (от пяти до пятнадцати образцов) для анализа прочностных характеристик. Это приводит к высокой себестоимости проектирования и затратам временных ресурсов.

Применение компьютерного моделирования позволит сократить часть натурных испытаний на стадии предварительных испытаний, заменив их инженерными расчетами, это, наряду с автоматизированным построением твердотельной модели, также позволит сократить время проектирования.

Современные комплексы систем автоматизированного проектирования позволяют в одной среде создавать сложные твердотельные и поверхностные модели, выполнять инженерный анализ и подготовку

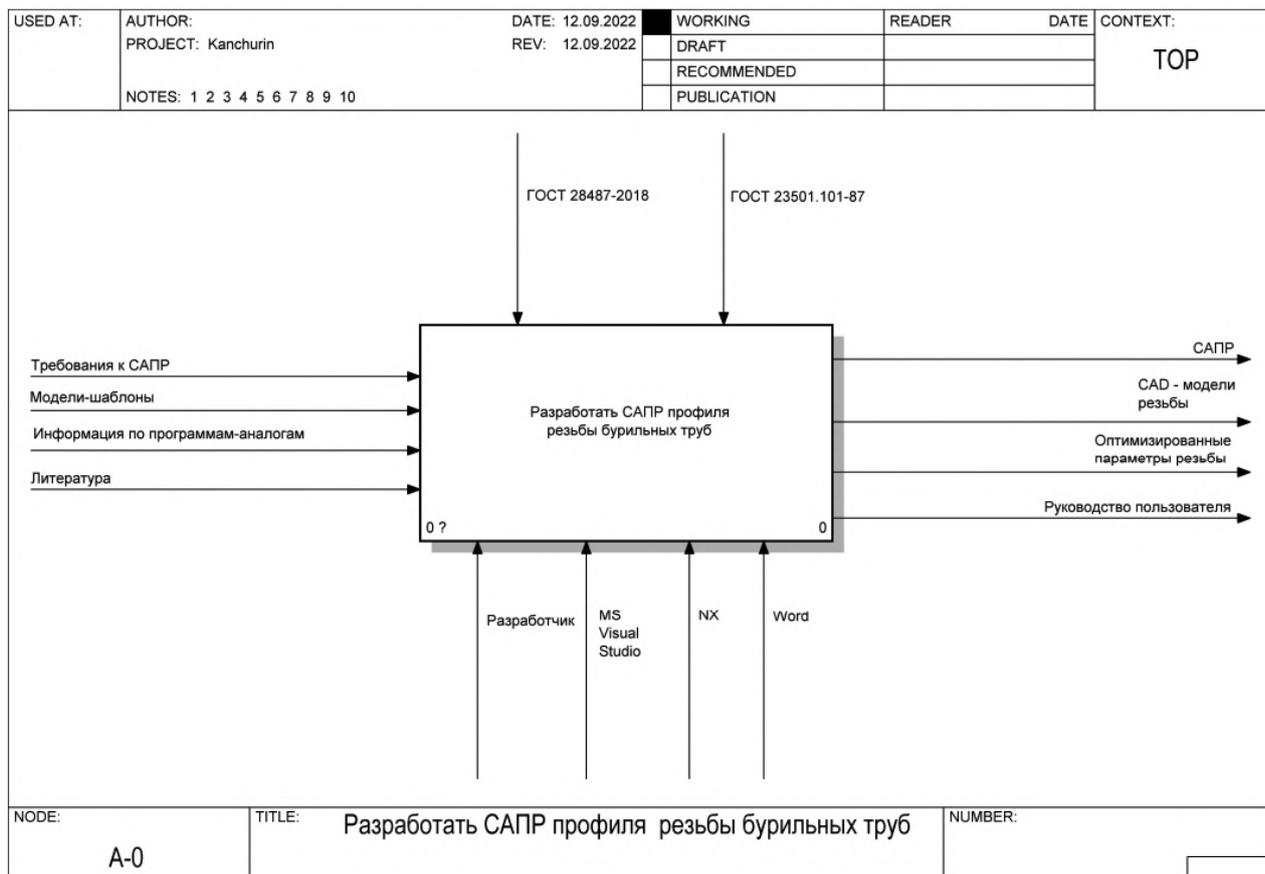


Рисунок 1. Контекстная диаграмма

Источник: разработано автором Канчуриным Р. Я.

производства. Использование этих средств повышает скорость и наглядность проектирования.

Современные требования к качеству инженерного анализа могут быть удовлетворены только при условии рассмотрения трехмерных моделей, учета локальных свойств материала, а также учета случайной составляющей нагрузки. Множество работ посвящено анализу прочности бурильных колонн при помощи аналитики и метода конечных элементов. Исследователи применяют различные методы задания нагрузок, разбиения модели на конечно-элементную сетку. Наиболее полному анализу технических показателей бурильных колонн посвящены книги [2] и [3]. В статье [5] авторы для имитации свинчивания применяют управление температурным расширением. В публикациях [8] и [7] задается момент свинчивания. В работе [6] исследуются характеристики резьбы при действии различных видов нагрузок. В публикации [1] с помощью инженерного анализа исследуется влияние размеров на момент затяжки. В диссертации [9] прове-

дено исследование влияния случайных нагрузок на усталостное разрушение бурильных труб и их резьбовых соединений.

Для построения моделей и инженерного анализа соединений разработана система автоматизированного проектирования профиля резьбы бурильных труб. Рассмотрим функциональную модель разработки системы автоматизированного проектирования по методологии IDEF0. На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма проекта.

Основная задача – «Разработать САПР профиля резьбы бурильных труб». Выходные данные задачи: САПР; CAD-модели резьбы; оптимизированные параметры резьбы; руководство пользователя.

Декомпозиция задачи представляет собой последовательность из четырех задач: изучить литературу и аналоги; выбрать методики, модели и средства; разработать ПО; проверить результаты работы САПР на адекватность. Декомпозиция первого уровня представлена на рисунке 2.

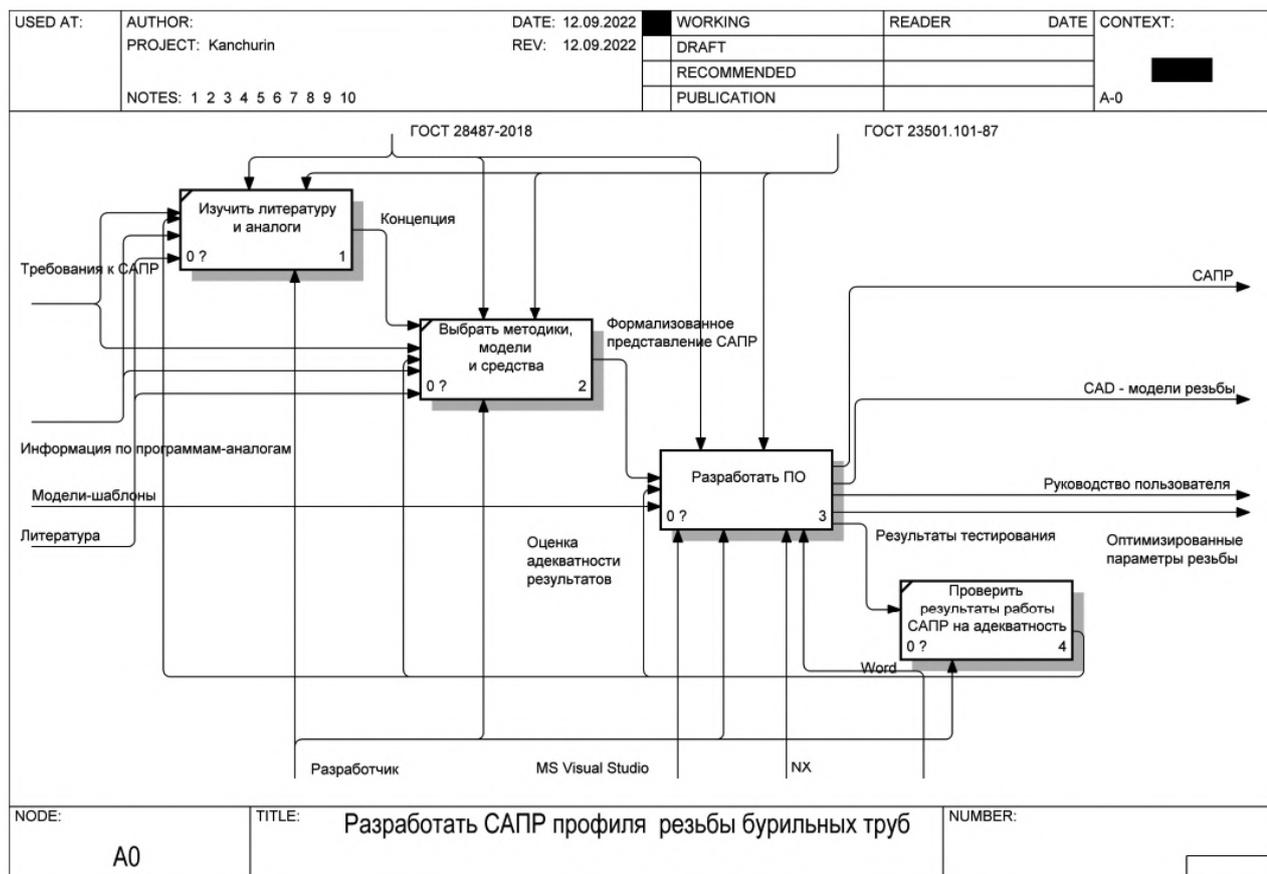


Рисунок 2. Декомпозиция контекстной диаграммы
 Источник: разработано автором Канчуриным Р. Я.

Рассмотрим декомпозицию задачи «Разработать ПО» (рисунок 3). Она состоит из пяти подзадач: разработать алгоритмы; разработать интерфейс пользо-

вателя; разработать программный код; тестировать ПО; написать руководство пользователя.

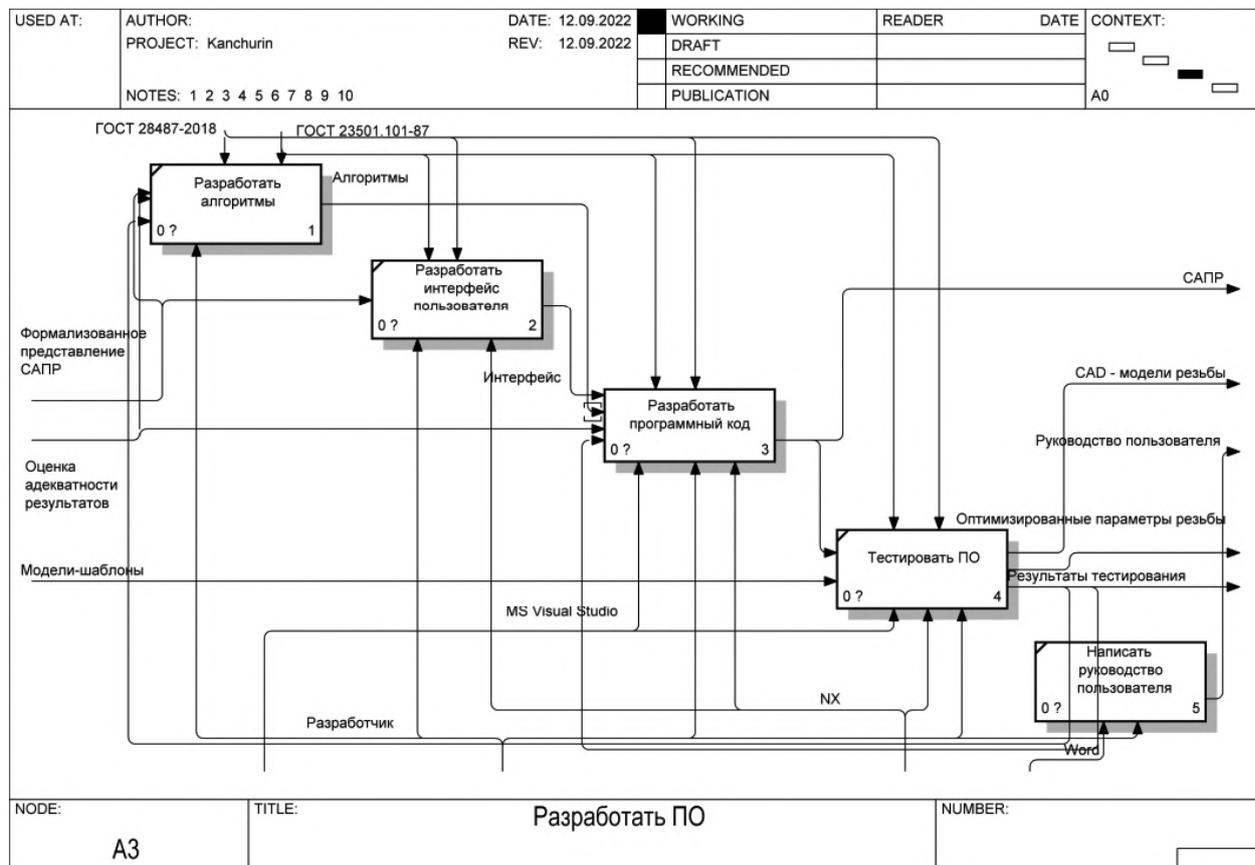


Рисунок 3. Декомпозиция диаграммы «Разработать ПО»

Источник: разработано автором Канчуриным Р. Я.

Задача «Разработать программный код» состоит из трех подзадач (рисунок 4): написать код построения САД-модели; написать код подготовки САД-модели в САЕ; написать код оптимизации параметров.

В результате выполнения проекта разработано программное средство для автоматизированного построения твердотельных моделей соединений (рисунок 5), а также разработана методика инженерного анализа и её программная реализация. Автоматизированное построение модели осуществляется с помощью динамически подключаемой библиотеки (dll), вызываемой из NX и содержащей вызовы функций NX Common API.

Инженерный расчет проводится в решателе Nastran (SOL 601, 106). В соединении имеется взаимо-

действие тел, поэтому необходимо учесть контактные взаимодействия.

При разработке расчетной схемы выполнены следующие этапы:

- задана упруго-пластическая модель материала;
- исследованы и заданы параметры контактного взаимодействия ниппеля и муфты;
- разработана схема разбиения модели на конечно-элементную сетку;
- заданы параметры нагрузок, ограничений и места их приложений.

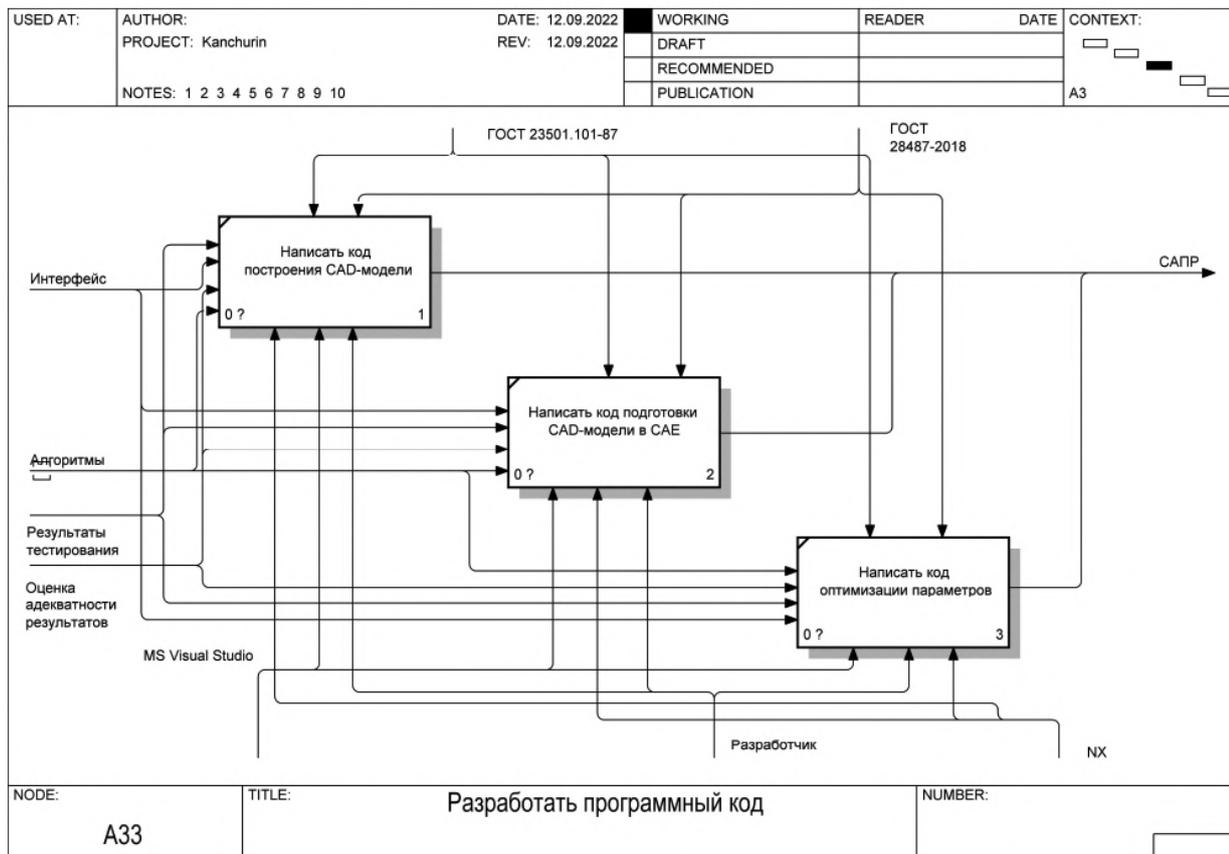


Рисунок 4. Декомпозиция диаграммы «Разработать программный код»
 Источник: разработано автором Канчуриным Р. Я.

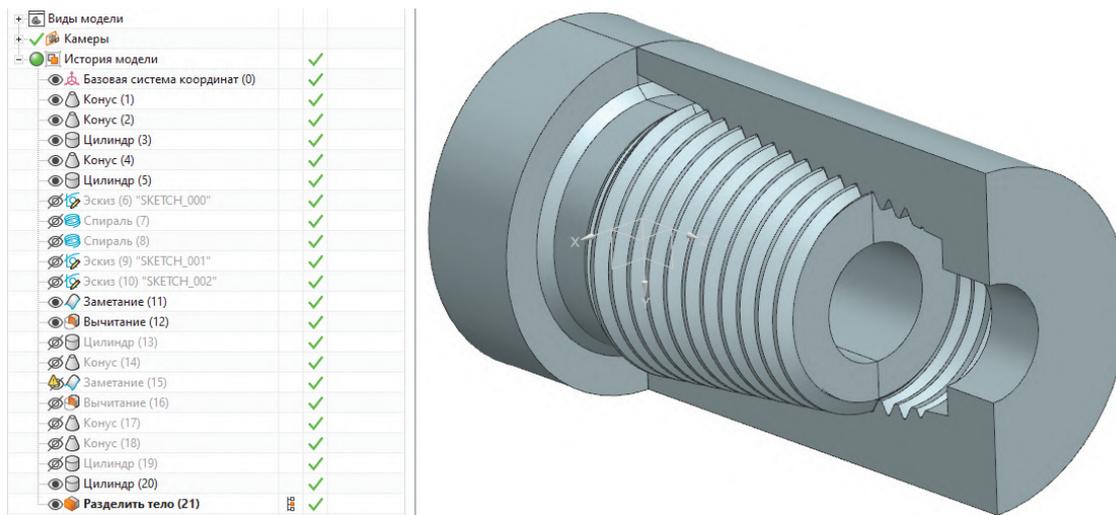


Рисунок 5. Твёрдотельная модель, построенная с помощью разработанной библиотеки
 Источник: разработано автором Канчуриным Р. Я.

Анализ проводится по следующей схеме: при построении модели осуществляется поворот тела ниппеля относительно муфты на определенный угол. Далее на этапе анализа при моделировании контактного взаимодействия, полученное проникновение тел сокращается, после этих операций получается напряженно-деформированное состояние при завинчивании на определенный угол.

Результатом моделирования являются показатели напряженно-деформированного состояния, на основании которых строится вывод о прочности модели. Эти данные могут быть использованы для определения путей улучшения изделий или использоваться в моделях более высоких уровней. На рисунке 6 представлена эпюра напряжений, возникающих при приложении нагрузок, отображенная постпроцессором NX.

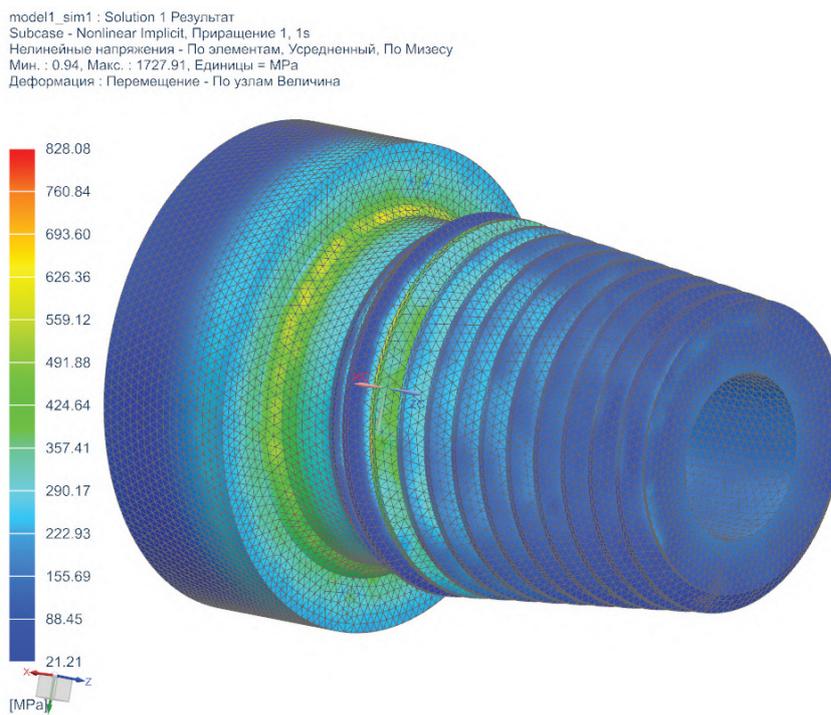


Рисунок 6. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния соединения
Источник: разработано автором Канчуриным Р. Я.

Разработанная система может применяться как для проектирования новых, так и для анализа реальных образцов. Программная реализация всех этапов

позволяет применить методы оптимизации для поиска локальных оптимальных параметров соединений.

Литература

1. Иванов В. А., Халтурин О. А. Теоретическое исследование влияния фактических размеров резьбы на зависимость момента затяжки от угла поворота // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 2–1. – С. 155.
2. Лачинян Л. А. Работа бурильной колонны. – М.: Недра, –1979. – 207 с.
3. Сароян А. Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. – М.: Недра, – 1979. – 231 с.
4. Семин В. И. Применение современных методик проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море* – 2012. – № 7. – С. 6–9.
5. Халтурин О. А., Иванов В. А. К определению оптимального момента затяжки замковых соединений // *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*. – 2017. – Т. 19, № 4. – С. 111–121.
6. Dong L., Zhu X., Yang D. (2019) Study on mechanical behaviors of double shoulder drill pipe joint thread. *Petroleum*. Vol. 5. pp. 102–112. – <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.01.004>

7. Tang D., Zhang Y., Lei W. (2019) Simulation Analysis and Test of the Thread Joint of High Strength Directional Drill Pipe with Large Through Hole. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1314. No 1, pp. 102–115. – <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1314/1/012115>

8. Wang Y. et al. (2016) Model of a new joint thread for a drilling tool and its stress analysis used in a slim borehole. *Mechanical Sciences*. Vol. 7. pp. 189–200. – <https://doi.org/10.5194/ms-7-189-2016>

9. Zheng J. (2015) Fatigue Estimation of Drill-string and Drill-pipe Threaded Connection Subjected to Random Loadings, Newfoundland: Memorial University of Newfoundland, 125 p.

Статья поступила в редакцию: 29.05.2023; принята в печать: 20.11.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.