

**Мухутдинов Аглям Рашидович**

доктор технических наук, профессор кафедры технологии твердых химических веществ, Казанский национальный исследовательский технологический университет, город Казань.

SPIN-код: 1666-2749, AuthorID: 554507

Электронный адрес: muhutdinov@rambler.ru

**Aglyam R. Mukhutdinov**

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of technology solid chemical substances, Kazan National Research Technological University, Kazan.

SPIN-code: 1666-2749, AuthorID: 554507

E-mail address: muhutdinov@rambler.ru

**Минибаев Алмаз Айратович**

магистрант, Казанский национальный исследовательский технологический университет, город Казань.

Электронный адрес: minibaevalmaz65@gmail.com

**Almaz A. Minibaev**

Master's student, Kazan National Research Technological University, Kazan.

E-mail address: amir.raimov.87@mail.ru

**Мухутдинов Тимерхан Аглямович**

старший преподаватель кафедры программной инженерии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, город Казань.

SPIN-код: 7056-2991, AuthorID: 1112862

Электронный адрес: timerking@rambler.ru

**Timerkhan A. Mukhutdinov**

Senior Lecturer at the Department of software engineering, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan.

SPIN-code: 7056-2991, AuthorID: 1112862

E-mail address: timerking@rambler.ru

---

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

**Аннотация.** В данной статье описана разработанная и отработанная комплексная методика компьютерного моделирования прочности стержня штока за счет использования современных информационных технологий. Показана замена материала стержня штока с помощью компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента с 3D-моделями, что позволяет повысить технико-экономические показатели производства. Эксперименты, проведенные на штоке, подтверждают результаты, полученные при использовании стандартных образцов. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных с результатами компьютерного моделирования. Повышение прочностных характеристик и уменьшение себестоимости достигается при замене материала Сталь 25 на Сталь 30. Программа «Компас 3DV23» позволяет определять значение напряжения, которое испытывает шток в момент нагружения.

Моделирование прочности материалов при сжатии  
с использованием современных информационных технологий

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование прочности материалов, Компас 3DV23, APM-FEM, 3D-модель, испытание на сжатие, стержень-шток, Сталь 25, Сталь 30.

**Для цитирования:** Мухутдинов А.Р., Минибаев А.А., Мухутдинов Т.А. Моделирование прочности материалов при сжатии с использованием современных информационных технологий // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2026. № 1. С. 126–133. DOI: 10.18137/RNU.V9187.26.01.P.126

MODELING THE COMPRESSIVE STRENGTH OF MATERIALS  
USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

**Abstract.** This article describes a developed and tested comprehensive methodology for computer modeling of piston rod strength using modern information technologies. It demonstrates how replacing the piston rod material using computer modeling and a computational experiment with 3D models can improve the technical and economic performance of production. Experiments conducted on the piston rod confirm the results obtained using standard samples. A comparative analysis of experimental data and computer modeling results was conducted. Strength improvements and cost reductions were achieved through the following upgrade: replacing Steel 25 with Steel 30. The Kompas 3D V23 software allows for determining the stress experienced by the rod during loading.

**Keywords:** computer modeling of compressive strength of materials, Kompas 3DV23, APM-FEM, 3D model, compression test, rod, Steel 25, Steel 30.

**For citation:** Mukhutdinov A.R., Minibaev A.A., Mukhutdinov T.A. (2026) Modeling the compressive strength of materials using modern information technologies. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management.* No. 1. Pp. 126–133. DOI: 10.18137/RNU.V9187.26.01.P.126 (In Russian).

В настоящее время при разработке новых деталей значительное внимание уделяется выбору материалов, из которых они будут изготовлены. Для этого проводится оценка физико-механических свойств различных веществ с целью определения наиболее подходящего варианта. Однако проведение натурных испытаний каждого материала требует значительных временных и финансовых затрат, а также ресурсов лабораторной инфраструктуры. В связи с этим всё большее число специалистов обращаются к использованию современных программных комплексов и информационных систем, позволяющих моделировать поведение изделия под различными внешними воздействиями. С помощью таких технологий становится возможным выполнение инженерного анализа на ранних стадиях проектирования [1].

Применение САПР, использующих численное моделирование для решения задач, например, прочности изделий, существенно экономит время, ресурсы, позволяет сократить объемы натурных испытаний, а также более тщательно оптимизировать их конструкцию.

**Методика и объект исследования**

Известно, что устройства, которые подвергаются сжатию, широко используются в различных технических системах. Поэтому изучение их прочностных характеристик является важной задачей в различных областях науки и техники. Особое внимание уделяет-

ся стержневым элементам, которые работают на сжатие, поскольку их надёжность напрямую влияет на устойчивость и долговечность конструкции в целом [2–4]. Одним из широко применяемых устройств, обеспечивающих сжимающее усилие, является гидроцилиндр. Конструкция гидроцилиндра представляет собой техническое устройство, предназначенное для преобразования энергии рабочей жидкости в линейное механическое перемещение. В состав гидроцилиндра входят: корпус, поршень, уплотнительные элементы и шток. Шток является одним из основных конструктивных компонентов, обеспечивающих передачу усилия от поршня к внешнему механизму. Это цилиндрический стержень с точно обработанной поверхностью, один конец которого соединён с поршнем, а другой выходит за пределы корпуса цилиндра через уплотнительное устройство. Его работа заключается в обеспечении прямолинейного поступательного движения под действием давления рабочей среды, заполняющей полости гидроцилиндра. При подаче жидкости под давлением в одну из полостей цилиндра поршень перемещается и воздействует на шток, который передаёт усилие на внешнее оборудование [3].

Целью данного исследования является разработка комплексной методики компьютерного моделирования прочности стержня штока за счет замены материала с применением современных информационных технологий.

Объектом исследования является стержень штока, предметом исследования – его прочность.

Предлагаемая комплексная методика состоит из двух частей. Первая часть включает два этапа.

На первом этапе проводится создание 3D-модели образца, применяемого для испытания на сжатие (согласно ГОСТ 25.503) в программе «Компас 3DV23» (см. Рисунок 1).

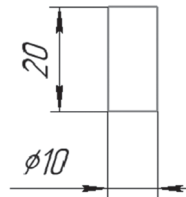


Рисунок 1. Эскиз образца

Источник: здесь и далее рисунки выполнены авторами на основе разработанной методики

На втором этапе проводятся виртуальные испытания на сжатие компьютерных 3D-моделей образцов из материала Сталь 25 в программном модуле *APR-FEM*, являющемся частью программы «Компас 3DV23».

Шаг 1. Загрузка образца в программу 3D-модели.

Шаг 2. Выбор поверхности закрепления образца (нижняя часть модели).

Шаг 3. Определение плоскости приложения сжимающей силы.

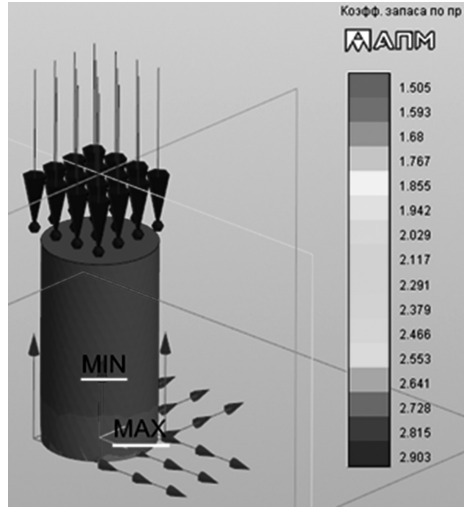
Гранью, к которой будет прилагаться сила, обозначим верхний торец модели. Заключительным этапом является установление значения действующей силы. Для этого в параметрах «Давление» указываем значение нагрузки 15000 Н, чтобы имитировать сжатие. Важно отметить, что действия на этом этапе следует повторить со значения 15000 Н до 20000 Н с шагом 500 Н.

Моделирование прочности материалов при сжатии  
с использованием современных информационных технологий

Шаг 4. Генерация конечных элементов сетки.

Шаг 5. Проведение расчета.

Шаг 6. Вывод карты результатов (см. Рисунок 2).



**Рисунок 2.** Карта результатов эксперимента на сжатие по коэффициенту запаса

Коэффициент запаса по пределу текучести – это отношение предела текучести материала к максимальному рабочему напряжению. Коэффициент запаса по отношению к пределу текучести материала при расчетах деталей из пластичных материалов выбирается 1,5 [5]. По разработанной методике заполнена Таблица 1.

Таблица 1

**Результаты сжатия образца из материала Сталь 25**

Нагрузка, Н	Коэффициент запаса, $n$	Напряжение в образце, Н/мм <sup>2</sup>
15000	1,957	191,7
15500	1,894	198
16000	1,834	204,4
16500	1,779	210,8
17000	1,727	217,2
17500	1,677	223,6
18000	1,631	230
18500	1,587	236,4
19000	1,545	242,8
19500	1,505	249,2
20000	1,468	255,5

Источник: таблица составлена авторами на основе разработанной методики.

Согласно ГОСТ 25.503–97 предел текучести  $\sigma_t$  (предельно допустимое напряжение) для материала Сталь 25 составляет 249,2 Н/мм<sup>2</sup>.

Основываясь на результатах, полученных в ходе вычислительного эксперимента на сжатие образца материала и справочных данных, можно составить сравнительную Таблицу 2.

Таблица 2

### Сравнение расчетных и справочных данных

Материал	Моделируемое значение предельного напряжения, Н/мм <sup>2</sup>	Справочное значение предельного напряжения, Н/мм <sup>2</sup>	Относительная погрешность, %
Сталь 45	249,2	275 [6]	9,1

Источник: таблица составлена авторами на основе результатов вычислительного эксперимента на сжатие образца материала и справочных данных [6].

Разработанная методика проведения виртуального испытания образца на сжатие<sup>1</sup> в соответствии с использованием программы «Компас АРМ-FEM» позволяет получить результаты испытаний, согласующиеся со справочными [6]. Ошибка составляет не более 10 %.

Таким образом, проведенные исследования в первой части работы подтверждают, что программа «Компас 3DV23» позволяет проводить компьютерное моделирование прочности образца и получать приемлемые результаты.

### Результаты исследования и их обсуждение

Убедившись, что программу «Компас 3DV23» можно использовать для моделирования прочности, можно перейти ко второй части работы – повышению прочности стержня штока за счет замены материала. Она также включает два этапа.

На первом этапе проводится создание 3D-модели стержня штока, применяемого в технических системах в программе «Компас 3DV23» (см. Рисунок 3).

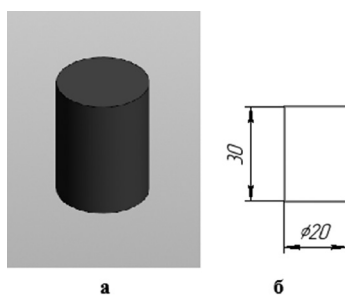


Рисунок 3. Вид стержня штока:  
а – 3D-модель штока; б – эскиз штока

На втором этапе проводятся виртуальные испытания на сжатие компьютерных 3D-моделей стержня штока из различных марок стали в программном модуле «АРМ-FEM».

Шаг 1. Выбор и обоснование материала, который обеспечит лучшие прочностные характеристики и ценовые показатели (см. Таблицу 3).

<sup>1</sup> ГОСТ 25.503-97. Межгосударственный стандарт. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008753?ysclid=mn3ngcmuhp695864490> (дата обращения 22.06.2025).

Моделирование прочности материалов при сжатии с использованием современных информационных технологий

Таблица 3

Характеристики двух марок сталей

Свойство	Сталь 25	Сталь 30	Разница, %
Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	450	490	8,8
Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	275	295	7,3
Стоимость, руб./т	35000	32500	7,1

Источник: таблица составлена авторами на основе веб-ресурсов: Сталь 25 // АТИС СТАЛЬ. URL: <https://www.atisteel.ru/konstrukcionnaja-stal/uglerodistaja-konstrukcionnaja-stal/stal-25/> (дата обращения 22.06.2025); Сталь 30 // АТИС СТАЛЬ. URL: <https://www.atisteel.ru/konstrukcionnaja-stal/uglerodistaja-konstrukcionnaja-stal/stal-30/> (дата обращения 22.06.2025).

В настоящее время в качестве материала стержня штока используется Сталь 25. Для проведения сравнительного эксперимента выбрана в качестве примера Сталь 30.

Остальные шаги соответствуют второму этапу виртуальных испытаний на сжатие компьютерных 3D-моделей образцов (см. Рисунок 1).

Для сравнения двух материалов с характеристиками, которые приведены в Таблице 3, было проведено виртуальное испытание на сжатие 3D-моделей стержня штока с помощью модуля «АРМ-ФЕМ» (Рисунок 4). Результаты испытаний приведены в Таблице 4.

Таблица 4

Результаты сжатия 3D-модели стержня штока (нагрузка с шагом 2000 Н)

Нагрузка, Н		Коэффициент запаса, n		Напряжение в образце, Н/мм <sup>2</sup>	
Сталь 25	Сталь 30	Сталь 25	Сталь 30	Сталь 25	Сталь 30
70000	75 000	1,72	1,71	222,8	238,7
72000	77 000	1,67	1,67	229,2	245,1
74000	79 000	1,63	1,62	235,6	251,5
76000	81 000	1,59	1,58	241,9	257,8
78000	83 000	1,56	1,54	248,3	264,2
80000	85 000	1,51	1,504	254,7	271,2
82000	87 000	1,47	1,47	261,0	277

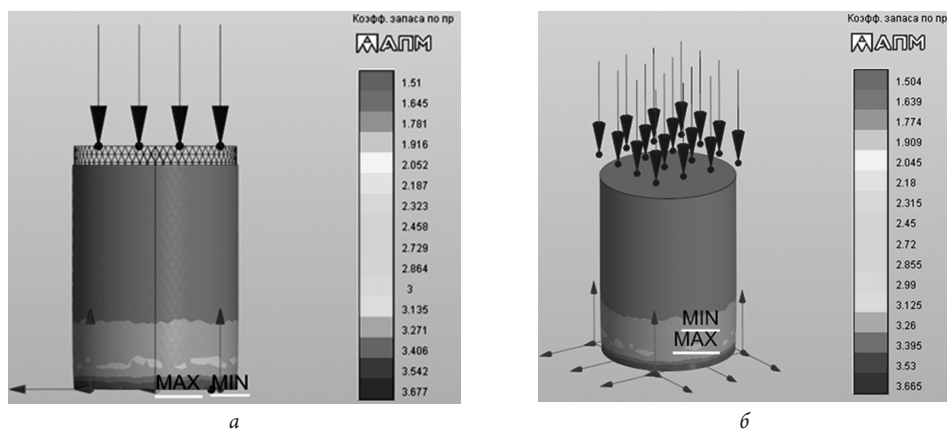


Рисунок 4. Карта результатов по коэффициенту запаса:

а – 3D-модель штока из материала Сталь 25; б – 3D-модель штока из материала Сталь 30

Результаты вычислительного эксперимента и справочные данные растяжения 3D-модели штока из различных материалов приведены в Таблице 5.

Таблица 5

#### Сравнение расчетных и справочных данных

Материал	Расчетное напряжение, Н/мм <sup>2</sup>	Справочное значение предельного напряжения, Н/мм <sup>2</sup>	Относительная погрешность, %
Сталь 25	254,7	275 [6]	7,38
Сталь 30	271,2	295 [ГОСТ 1050-2013]	8,1

Источник: таблица составлена авторами на основе результатов вычислительного эксперимента и справочных данных<sup>2</sup> [6].

Результаты моделирования и анализ данных показали, что материал Сталь 30 обеспечивает:

- существенно более высокую прочность, что критически важно для элементов, работающих на сжатие; это позволяет значительно повысить надёжность и долговечность штока гидроцилиндра, работающего в условиях циклических и динамических нагрузок;
- экономическую эффективность (стоимость материала Сталь 30 дешевле материала Сталь 25 на 7,1 %), а также снижение затрат, связанных с аварийными простоями оборудования, заменой разрушившихся элементов и проведением внеплановых ремонтов технических систем.

Таким образом, замена материала Сталь 25 на материал Сталь 30 является технически и экономически целесообразной для применения в технических системах.

#### Заключение

1. Разработана и отработана комплексная методика проведения виртуального испытания 3D-модели стержня штока на сжатие (ГОСТ 25.503) с использованием программы «Компас 3Dv23», которая позволяет получить результаты, согласующиеся со справочными данными. Ошибка не превышает 10 %.

2. Разработана и отработана комплексная методика компьютерного моделирования прочности стержня штока за счет использования современных информационных технологий. Показано, что 3D-модель стержня штока из материала Сталь 30 обладает наибольшим коэффициентом запаса прочности при сжатии по сравнению с материалом Сталь 25.

3. Дано научно-практическое обоснование замены материала Сталь 25 на материал Сталь 30 при изготовлении стержня штока.

#### Литература

1. Мухутдинов А.Р., Ефимов М.Г., Вахидова З.Р. Модернизация элемента изделия на основе вычислительного эксперимента // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 2(66). С. 28–37. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).28-37. EDN SCLRPC.

<sup>2</sup> ГОСТ 1050-2013. Межгосударственный стандарт. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных специальных сталей. Общие технические условия // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114294?ysclid=mn3nvwscu8287246090> (дата обращения 22.06.2025).

Моделирование прочности материалов при сжатии  
с использованием современных информационных технологий

2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов : Учебник для вузов. 10-е изд. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 592 с. ISBN 5-7038-1371-9.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3 т. Т. 2. 8-е изд. / Под ред. И.Н. Жестковой. М. : Машиностроение, 2001. 900 с. ISBN 5-217-02964-1.
4. Зайдес Н.В., Рудых Н.В. Экспериментальная оценка напряженного состояния стальных образцов по металлографическому изображению // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 5(45). С. 26–32. EDN MVVNDJ.
5. Иванов С.И., Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А. и др. Сопротивление материалов : Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Самара : Изд-во Самарского университета, 2018. 144 с. ISBN 978-5-7883-1333-7.
6. Сорочкин В.Г., Волоснякова А.В., Вяткин С.А. Марочник сталей и сплавов / Под общ. ред. В.Г. Сорочкина. М. : Машиностроение, 1989. 640 с. ISBN 5-217-00509-2.

**References**

1. Mukhutdinov A.R., Efimov M.G., Vakhidova Z.R. (2020) Modernization of a Product Element Based on a Computational Experiment. *Modern Technologies. Systems Analysis. Modeling*. No. 2(66). Pp. 28–37. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).28-37. (In Russian).
2. Feodosyev V.I. (1999) *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials] : Textbook for Universities. 10<sup>th</sup> edition. Moscow : Bauman Moscow State Technical University. 592 p. ISBN 5-7038-1371-9. (In Russian).
3. Anuriev V.I. (2001) *Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya* [Handbook of a Mechanical Engineer] : In 3 vols. Vol. 2. 8<sup>th</sup> edition. Ed. by I.N. Zhestkova. Moscow : Mashinostroenie Publ. 900 p. ISBN 5-217-02964-1. (In Russian).
4. Zaides S.A., Rudykh N.V. (2010) Experimental evaluation of stressed state of steel samples by the metallographic image. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. No. 5(45). Pp. 26–32. (In Russian).
5. Ivanov S.I., Pavlov V.F., Kirpichev V.A., et al. (2018) *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials] : Textbook : In 2 parts. Part 1. Samara : Samara University. 144 p. ISBN 978-5-7883-1333-7. (In Russian).
6. Sorokin V.G., Volosnyakova A.V., Vyatkin S.A. (1989) *Marochnik staley i splavov* [Brand book of steels and alloys]. Moscow : Mashinostroenie Publ. 640 p. ISBN 5-217-00509-2. (In Russian).

Поступила в редакцию: 05.02.2026

Received: 05.02.2026

Поступила после рецензирования: 04.03.2026

Revised: 04.03.2026

Принята к публикации: 15.03.2026

Accepted: 15.03.2026