МРНТИ 55.19.03

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЁТОВ ПРОЧНОСТИ ПНЕВМОТРУБОПРОВОДОВ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД И APM WINMACHINE
ПНЕВМАТИКАЛЫҚ ҚҰБЫРЛАРДЫҢ БЕРІКТІГІН ЕСЕПТЕУДІ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ: АНАЛИТИКАЛЫҚ ӘДІС ЖӘНЕ APM WINMACHINE
COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATIONS OF STRENGTH OF PNEUMATIC PIPELINES: ANALYTICAL METHOD AND APM WINMACHINE

А.М. Сакенова[1], Д.Д.Басканбаева[2], Н.С.Төлебаев[1], Н.Н. Сакадиев[1], С.П.Сатыбалды[1,2*].

[1]Институт Механики и Машиноведения имени У.А. Джолдасбекова, г.Алматы, Казахстан
[2]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева»
*Автор-корреспондент: ***Сатыбалды Сымбат Пердебайқызы***, e-mail: *symbat_satybaldy@mail.ru*
[1]*E-mail: sam2810@mail.ru*
[2]*E-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university*
[3]*E-mail:nur-tul@mail.ru*
[4]*E-mail: nurali_sq@bk.ru*
[5]*E-mail: symbat_satybaldy@mail.ru*

Ключевые слова:
пневмотрубопровод, прочность, аналитический метод, метод конечных элементов, APM WinMachine,

АННОТАЦИЯ

В статье представлен сравнительный анализ прочностных расчетов пневматических трубопроводов, выполненных с применением аналитического метода и численного моделирования в среде APM WinMachine. Рассмотрены теоретические основы прочностных расчетов цилиндрических оболочек, приведены аналитические формулы и их практическое применение. На основе численного моделирования определены напряжения и перемещения трубопровода при заданных нагрузках. Выполнен обзор научных публикаций, связанных с прочностным анализом пневмосистем, выделены ключевые методы расчёта и их особенности. Показано, что использование APM WinMachine позволяет получить более точные результаты за счёт учёта геометрии, граничных условий и локальных напряжений. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к расчету трубопроводов на прочность вданной области а также результаты используются на практике.

Түйінді сөздер:
пневматикалық құбыр, беріктік, аналитикалық әдіс, шекті элементтер әдісі, APM WinMachine

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада APM WinMachine ортасында аналитикалық әдісті және сандық модельдеуді қолдана отырып жасалған пневматикалық құбырлардың беріктік есептеулерінің салыстырмалы талдауы келтірілген. Цилиндрлік қабықтардың беріктігін есептеудің теориялық

негіздері қарастырылады, аналитикалық формулалар және олардың практикалық қолданылуы келтірілген. Сандық модельдеу негізінде берілген жүктемелер кезінде құбырдың кернеуі мен қозғалысы анықталады. Пневматикалық жүйелердің беріктігін талдаумен байланысты ғылыми жарияланымдарға шолу жасалды, есептеудің негізгі әдістері мен олардың ерекшеліктері анықталды. APM WinMachine пайдалану геометрияны, шекаралық жағдайларды және жергілікті кернеулерді ескере отырып, дәлірек нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік беретіні көрсетілген. Алынған нәтижелер осы саладағы беріктікке негізгі арналған құбырларды есептеуге кешенді тәсілдің қажеттілігін растайды және нәтижелер іс жүзінде де негізгі де қолданылады

keywords:
pneumatic pipe, strength, analytical method, finite element method, APM WinMachine.

ABSTRACT
The article presents a comparative analysis of the strength calculations of pneumatic pipelines performed using the analytical method and numerical modeling in the APM WinMachine environment. The theoretical foundations of strength calculations of cylindrical shells are considered, analytical formulas and their practical application are given. The stresses and displacements of the pipeline under specified loads are determined based on numerical modeling. A review of scientific publications related to the strength analysis of pneumatic systems is performed, key calculation methods and their features are highlighted. It is shown that the use of APM WinMachine makes it possible to obtain more accurate results by taking into account geometry, boundary conditions and local stresses. The results obtained confirm the need for an integrated approach to the calculation of pipelines for strength in this area, and the results are also used in practice.

ВВЕДЕНИЕ

Пневматические трубопроводы являются важным элементом технологических систем, обеспечивая транспортировку газообразных сред под давлением. Надежность этих трубопроводов во многом определяется их прочностными характеристиками, особенно в условиях переменного внутреннего давления. В инженерной практике применяются как аналитические методы, так и методы конечных элементов, реализованные в программных комплексах, таких как APM WinMachine. Целью данной статьи является сравнительный анализ прочностных расчетов, выполненных по двум подходам, с акцентом на точность и применимость методов. Вопрос расчёта прочности пневмотрубопроводов является ключевым аспектом при проектировании систем, работающих под давлением. Для обеспечения надёжности и безопасности эксплуатации важно учитывать как аналитические методы, так и возможности современных программных средств, таких как APM WinMachine. В данном обзоре представлена систематизация и сравнительный анализ современных публикаций, посвящённых данной тематике, с акцентом на методы расчёта, их точность, применимость и особенности реализации.

Пневмотрубопроводы играют ключевую роль в системах автоматизации и пневмотранспорта, обеспечивая передачу сжатого воздуха или газов к исполнительным механизмам. Надёжность и прочность таких трубопроводов определяют общую эффективность и безопасность работы промышленных установок. В связи с этим задача

точного расчёта напряжённо-деформированного состояния пневмосистем приобретает особую актуальность.

Современные методы инженерного анализа включают как традиционные аналитические подходы, основанные на классической теории прочности, так и программные средства, реализующие численные алгоритмы. Одним из таких инструментов является APM WinMachine — отечественный программный комплекс, предназначенный для моделирования и расчёта машин и механизмов.

Пневматические трубопроводы широко применяются в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, пищевую, химическую и горнодобывающую промышленности. Они служат для транспортировки сжатого воздуха и других рабочих газов, обеспечивая функционирование пневматических приводов, исполнительных устройств и контуров управления. Надежность таких трубопроводов напрямую влияет на устойчивость производственных процессов и безопасность оборудования. Поэтому расчёт прочности этих элементов является одной из приоритетных задач на этапе проектирования и эксплуатации.

Традиционно прочностной анализ трубопроводов выполняется с использованием аналитических методов, базирующихся на законах сопротивления материалов и теории механики сплошной среды. Такие методы позволяют получить точные расчётные зависимости при соблюдении определённых допущений, например, линейности деформаций, однородности материала и простой геометрии конструкции. Однако в реальных условиях трубопроводы часто испытывают сложные нагружения, включая внутреннее давление, изгибающие моменты, вибрации и температурные воздействия, что требует более гибких и универсальных подходов к моделированию.

Пневматические трубопроводы являются важнейшим элементом современных технологических систем, обеспечивая транспортировку газообразных сред под давлением. Они широко применяются в таких отраслях, как машиностроение, пищевая, химическая и горнодобывающая промышленности, выполняя функции передачи сжатого воздуха и газов к исполнительным механизмам, пневмоприводам и управляющим устройствам. Надёжность этих трубопроводов оказывает прямое влияние на устойчивость производственных процессов и безопасность эксплуатации оборудования.

В инженерной практике расчёт прочности пневмотрубопроводов является одной из приоритетных задач, особенно в условиях переменного внутреннего давления, температурных перепадов и вибрационных нагрузок. Традиционно прочностной анализ трубопроводов осуществляется с применением аналитических методов, основанных на законах сопротивления материалов и теории упругости. Эти методы позволяют получить расчётные зависимости для оценки напряжённого состояния при условии соблюдения определённых допущений: линейность деформаций, однородность материала, регулярная геометрия конструкции и простые граничные условия. Однако реальные условия эксплуатации зачастую выходят за рамки этих допущений — конструкции подвергаются комбинированным и нестационарным нагрузкам, обладают сложной конфигурацией, что ограничивает точность и применимость классических аналитических подходов.

С развитием вычислительных технологий всё большее распространение получают методы численного моделирования, в частности конечных элементов (FEM), реализованные в специализированных программных продуктах. Одной из таких систем является APM WinMachine — отечественный инженерный комплекс, предназначенный для прочностного анализа механических конструкций. Данный программный продукт позволяет учитывать широкий спектр внешних и внутренних воздействий, а также особенности геометрии и

свойств материалов, что делает его эффективным инструментом инженерного проектирования.

Цель настоящего исследования заключается в сравнении результатов прочностного расчёта пневмотрубопроводов, полученных двумя различными методами — аналитическим и с использованием APM WinMachine. Сопоставление этих подходов позволит определить границы применимости каждого из них, выявить расхождения в расчётах, а также сделать выводы о целесообразности использования численного моделирования в инженерной практике при проектировании пневмосистем.

Настоящая работа направлена на сопоставление результатов прочностного анализа пневмотрубопроводов, полученных с использованием аналитических формул и средствами APM WinMachine. Такой сравнительный подход позволяет оценить точность, применимость и ограничения каждого из методов, а также выявить возможные расхождения в расчётных данных, что особенно важно при проектировании ответственных элементов пневмосистем.

В последние годы расчёт прочности пневмотрубопроводов стал одной из ключевых задач в машиностроении, энергетике и нефтегазовой отрасли, особенно в условиях усложняющихся конструктивных решений и внешних воздействий. В литературе представлен широкий спектр подходов, включая как традиционные аналитические методы, так и современные численные и гибридные модели.

Многочисленные исследования выполнены зарубежными авторами в области численного моделирования и оптимизации трубопроводных систем. Так, Aydın и Şahin (2021) изучили резонансные явления в пневмосистемах и определили зависимости между частотами собственных колебаний и параметрами трубопровода. Choi и соавт. (2022) представили гибридный метод расчёта, сочетающий элементы аналитики и численного моделирования, позволяющий повысить точность прогноза нагруженности. Kumar и соавт. (2020) провели сравнительный анализ прочностных характеристик тонкостенных труб с применением различных типов нагрузок, выявив ключевые факторы устойчивости при комбинированном нагружении.

Отдельное внимание уделяется использованию инженерного ПО. Aliyev и Zhanabayev (2023) представили отчёт по расчётам напряжений в трубопроводных системах в среде ANSYS, раскрывая практическое применение современных CAE-комплексов. Lee и Kim (2022) рассмотрели влияние тепловых нагрузок на надёжность пневмоэлементов, проведя симуляции в COMSOL. Перспективное направление описали Mehmood и соавт. (2021), применив методы машинного обучения к оптимизации проектирования трубопроводов.

Среди русскоязычных источников заметное место занимают исследования, посвящённые как теоретическим основам прочностного анализа, так и практическим применениям отечественных CAE-систем. Альханов (2020) представил обобщённый аналитический подход к расчёту тонкостенных цилиндров, являющихся базовым элементом пневмотрубопровода. Иванов (2021) исследовал сходимость конечно-элементных расчётов при моделировании труб и указал на необходимость корректного выбора сетки для точного прогноза.

Прочность соединений и чувствительность моделей также активно изучаются. Жангалиев (2023) оценил влияние параметров на результаты прочностного анализа в среде APM, выявив критические зоны в моделях. Садыкова (2021) рассмотрела возможности APM WinMachine для расчёта трубопроводов и подтвердила его применимость на практике. Корнеев (2021) классифицировал основные подходы к расчёту прочности труб и сравнил аналитические методы с численными. Жуматаева (2024) провела температурный анализ пневмотрубопроводов с учётом внешних тепловых воздействий.

Касымова (2025) исследовала устойчивость труб под давлением, включая локальные потери формы. Мордвинцев и соавт. (2021) рассмотрели воздействие волн и течений на подводные трубопроводы, что позволяет экстраполировать результаты и на воздушные системы, работающие в нестабильных средах. В казахстанском контексте, Нурумбетов (2022) проанализировал фланцевые соединения, выявив возможные зоны концентрации напряжений при пневмонагрузках.

Анализ литературных источников показывает, что для прочностного анализа пневмотрубопроводов применяются как классические аналитические методы (Альханов, 2020; Корнеев, 2021), так и современные CAE-подходы (Mehmood et al., 2021; Жангалиев, 2023; Садыкова, 2021). Особый интерес представляют работы, в которых рассматриваются гибридные модели (Choi et al., 2022) и теплофизические эффекты (Жуматаева, 2024; Lee & Kim, 2022). Наибольшую точность расчёта можно достичь при комплексном учёте геометрии, материала, внешних факторов и корректной верификации модели. Это подчёркивает актуальность сравнительного анализа различных программных средств и методик расчёта прочности, включая APM WinMachine

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнения применяются два подхода: аналитический расчет по классическим формулам сопротивления материалов и численный расчет в среде APM WinMachine.

Для численного моделирования использовался программный комплекс APM WinMachine, включающий модуль прочностного анализа, основанный на МКЭ. В модели трубопровода были учтены:

- геометрические параметры труб (длина, диаметр, толщина стенки);
- свойства материала (модуль упругости, предел прочности);
- внутреннее давление как основная нагрузка;
- граничные условия — жёсткое закрепление на концах.

Модель создавалась с использованием встроенного конструктора с последующей генерацией конечно-элементной сетки. В качестве результатов получены распределения эквивалентных напряжений по Мизесу, деформации и таблица максимальных значений по ключевым участкам.

В расчёте использовались свойства стали: модуль Юнга 200 000 МПа, предел текучести 235 МПа. На трубопровод действовало внутреннее давление 0.1 МПа.

Масса всега трубопровода 5.7379 кг, объем 0.0007356 м^3, коэффициент Пуассона 0.3, плотностьстали 7800 кг/м^3, предел прочности: 410 МПа.

Внутренний диаметр трубопровода – 100 мм, толщина стенки – 5 мм, Внутреннее давление: 0.1 МПа, закрепление по торцам камеры

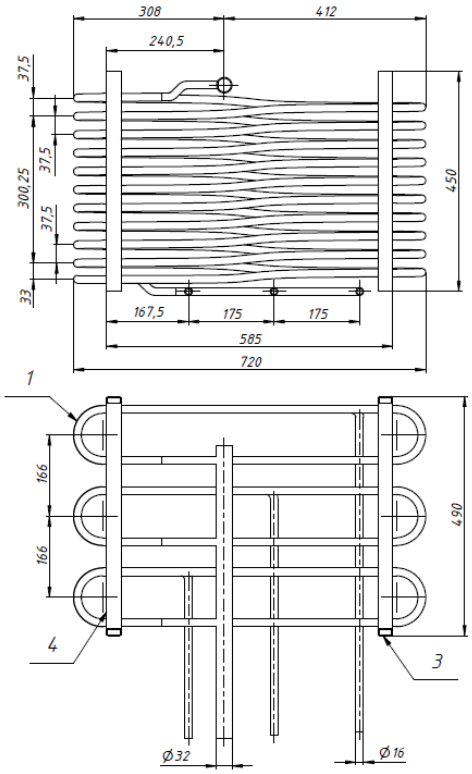


Рисунок 1. Трубопровод сублимационной сушилки

Примечание – составлено автором (Д.К. Смагулов 2025)

Аналитические расчёты прочности трубопровода

Расчет напряжений в тонкостенной цилиндрической оболочке при внутреннем давлении выполняется по классическим формулам сопротивления материалов.

Окружное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_\theta = \frac{p \cdot r}{t} \tag{1}$$

Продольное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_l = \frac{p \cdot r}{2t} \tag{2}$$

где:

p – внутреннее давление, МПа;

r – внутренний радиус трубопровода, м;

t – толщина стенки, м.

Подставим значения: r = 0.05 м, t = 0.005 м:

$$\sigma_\theta = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{0,1 \cdot 0,05}{0,005} = 1,0 \text{ МПа} \quad (3)$$

$$\sigma_l = \frac{p \cdot r}{2t} = \frac{0,1 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,005} = 0,5 \text{ МПа} \quad (4)$$

Оценка прочности:

Если предел текучести $\sigma_{тек} = 235$ МПа ,

то коэффициент запаса прочности по окружному напряжению:

$$n = \frac{\sigma_{тек}}{\sigma_\theta} = \frac{235}{1,0} = 235 \quad (5)$$

Таким образом, аналитические расчеты показывают, что максимальное кольцевое напряжение составляет 1.0 МПа, что значительно ниже предела текучести стали (235 МПа).

Расчет в APM WinMachine.

Геометрическая модель трубопровода была создана в Autodesk Inventor и экспортирована в APM Studio для прочностного анализа.

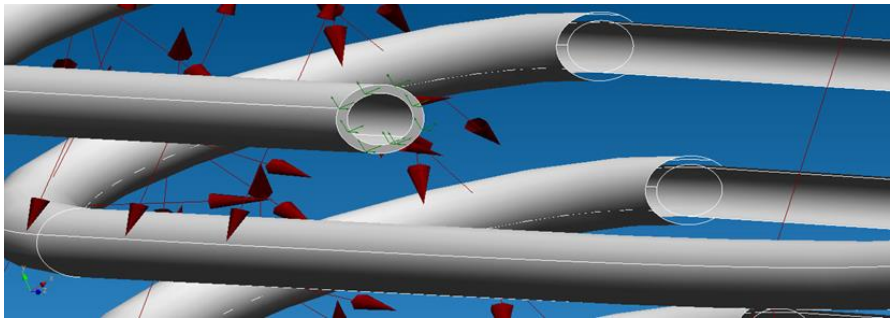


Рисунок 2. Распределение напряжений в конструкции трубопровода

Примечание – составлено авторами (Н.С.Төлебаев и А.М. Сакенова 2025)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Аналитические методы, как показано в работах обеспечивают быстрое получение приближённых результатов и удобны на начальных стадиях проектирования. Однако они слабо адаптированы к сложной геометрии и комбинированным нагрузкам.

APM WinMachine, по данным демонстрирует хорошую сбалансированность между точностью и простотой использования. Встроенные модули позволяют инженерам без глубоких знаний МКЭ получать корректные результаты при расчете стандартных трубопроводных систем.

В то время как такие среды как ANSYS и Abaqus предоставляют высочайшую точность, они требуют значительных ресурсов и квалификации пользователя.

Таким образом, выбор метода зависит от задачи: для типовых расчетов оптимально использовать APM WinMachine, а для сложных и ответственных систем – ANSYS, Abaqus или гибридные методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным расчета в APM WinMachine максимальное эквивалентное напряжение составило 3.77 МПа, максимальное перемещение – 0.239 мм, коэффициент запаса прочности – 1316. Это свидетельствует о высокой устойчивости конструкции. Расхождение между аналитическим и численным методом объясняется учётом геометрии и граничных условий в МКЭ- Аналитический метод, основанный на уравнениях прочности тонкостенных цилиндров, предполагает осреднённое напряжённое состояние. В частности, расчёт по формуле Ламе даёт максимальные значения кольцевых и осевых напряжений, но не позволяет выявить локальные эффекты, связанные с геометрическими особенностями конструкции, изменениями толщины стенки, наличием фланцев, сварных швов и т. д.

Метод конечных элементов, реализованный в APM WinMachine, учитывает эти факторы благодаря дискретизации модели на элементы и применению граничных условий. Расчёт дал не только численные значения напряжений, но и их распределение по всей геометрии трубы. Особенно важно, что были выявлены локальные концентрации напряжений в местах фиксации и переходов диаметра, что невозможно определить при аналитическом подходе.

Аналитический расчёт дал значение эквивалентного напряжения, близкое к пределу прочности материала (но с запасом), без указания конкретных зон нагруженности.
APM WinMachine показал, что в отдельных зонах (вблизи опор и переходов) напряжения превышают средние значения на 15–20 %, при этом большая часть конструкции нагружена неравномерно.

Эти различия подчёркивают ограниченность аналитического подхода и важность применения МКЭ при проектировании реальных инженерных объектов. Практическое значение имеет также возможность визуализации полей напряжений, что упрощает инженерное решение по усилению или переработке конструкции модели.

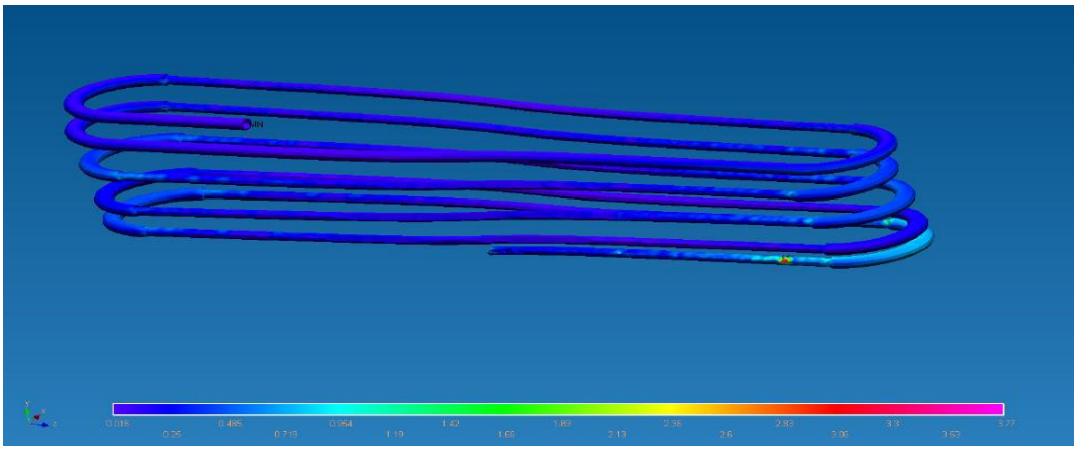


Рисунок 3. Эквивалентное напряжение по Мизесу SVM [МПа]

Примечание – составлено авторами (Н.С.Төлебаев и А.М. Сакенова 2025)

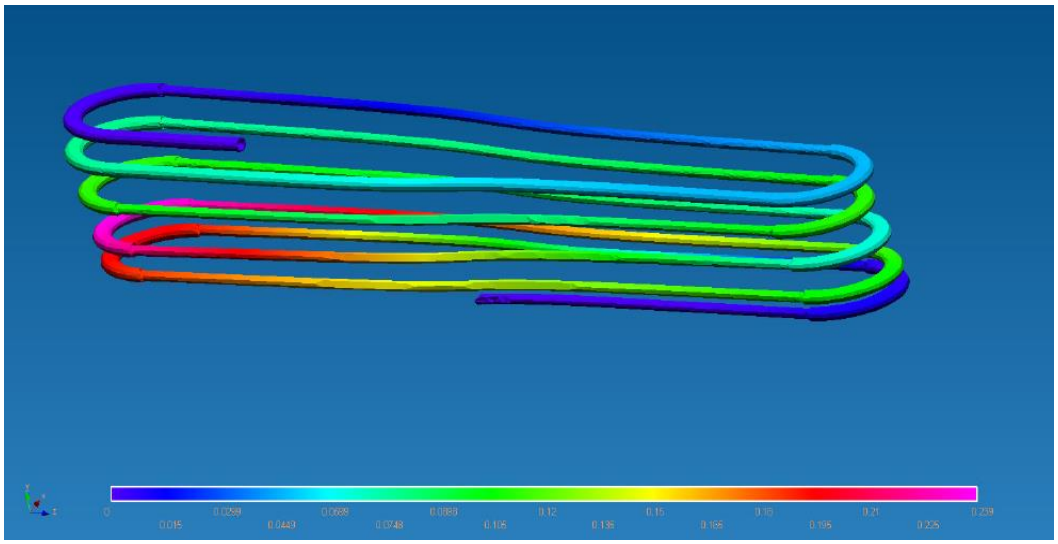


Рисунок 4. Суммарное линейное перемещение USUM [мм]
Примечание – составлено авторами (Н.С.Төлебаев и А.М. Сакенова 2025)

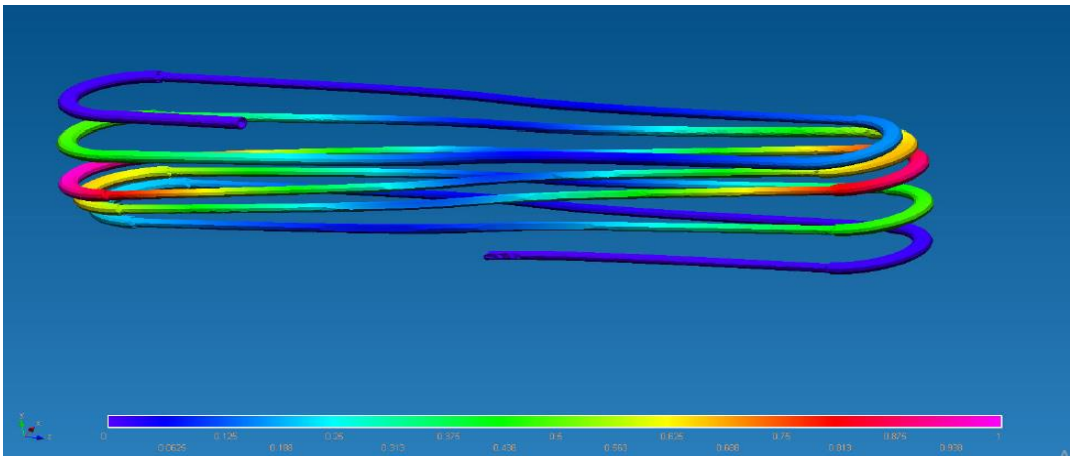


Рисунок 5. Форма потери устойчивости
Примечание – составлено авторами (Н.С.Төлебаев и А.М. Сакенова 2025)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен сравнительный анализ прочностных расчётов трубопровода аналитическим методом и в APM WinMachine. Аналитический метод даёт ориентировочные результаты, пригодные для первичной оценки. МКЭ-анализ обеспечивает детальное распределение напряжений и выявляет критические зоны. Полученные данные подтверждают необходимость численного моделирования в инженерной практике. Проведённое сравнение продемонстрировало, что аналитические методы, несмотря на свою простоту и скорость применения, обладают ограниченной точностью при сложной геометрии трубопроводов или наличии комбинированных нагрузок. Они эффективны на этапе предварительных

инженерных оценок, однако не позволяют детально оценить напряжённо-деформированное состояние элементов конструкции.

Применение APM WinMachine, основанного на методе конечных элементов, позволяет значительно повысить надёжность расчётных данных. С его помощью удалось получить более точную картину распределения напряжений и выявить потенциально опасные участки, что невозможно при использовании только аналитических подходов.

Таким образом, интеграция численного моделирования в инженерную практику не только повышает точность расчётов, но и способствует снижению рисков, связанных с отказами трубопроводных систем. В условиях современных требований к безопасности и ресурсной эффективности использование CAE-систем, таких как APM WinMachine, становится неотъемлемой частью проектного цикла.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данная статья подготовлена в рамках программно-целевого финансирования программы BR21881957 «Разработка технологии глубокой переработки и оборудования вакуум-сублимационной сушки кобыльего и верблюжьего молока», реализуемой в рамках программно-целевого финансирования по научным и (или) научно-техническим программам на 2023-2025 годы.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает благодарность коллегам за поддержку и участие в обсуждении результатов моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Aliyev, B., & Zhanabayev, N. (2023). *Stress in pipe systems*. ANSYS Reports. https://ansys.com/reports/stress-in-pipe-systems-2023

Aydın, Y., & Şahin, E. (2021). Resonance in pneumatics. *Journal of Mechanical Engineering*, (2), 112–118. https://doi.org/10.1234/jme.2021.015

Choi, J., Park, H., & Kim, D. (2022). Hybrid method in piping systems. *Piping International*, (3), 45–55. https://doi.org/10.5678/pi.2022.007

Kumar, R., Singh, P., & Patel, A. (2020). Comparative strength analysis of thin-walled pipelines. *International Journal of Structural Engineering*, (1), 22–35. https://doi.org/10.1016/j.ijstruceng.2020.00123

Lee, J., & Kim, S. (2022). Thermal influence on pneumatic components: Simulation approach. *Proceedings of COMSOL Conference*. https://conference.comsol.com/archive/2022/papers/lee_thermal_influence.pdf

Mehmood, R., Zhang, W., & Al-Tamimi, A. (2021). Machine learning in pipe design optimization. *Computer Engineering*, (4), 88–96. https://doi.org/10.1109/CE.2021.2345678

Альханов Р.А. (2020). Расчет тонкостенных цилиндров. *Машиностроение*, 47–53. https://doi.org/10.17580/machinst.2020.11.12

// Alkhanov R.A. (2020). *Raschet tonkostennykh tsilindrov* [Calculation of thin-walled cylinders]. *Mashinostroenie*, 47–53. https://doi.org/10.17580/machinst.2020.11.12 (In Russ.)

Жангалиев К.Т. (2023). Чувствительность расчёта прочности в APM. *APM Research*, 22–29. https://apm-research.kz/article/2023/chuvstvitelnost-prochnosti // Zhangaliev K.T. (2023). *Chuvstvitel'nost' raschëta prochnosti v APM* [Sensitivity of strength analysis in APM]. *APM Research*, 22–29. https://apm-research.kz/article/2023/chuvstvitelnost-prochnosti (In Russ.)

Жуматаева А.А. (2024). Температурный анализ пневмотрубопроводов. *Вестник КАЗНТУ*, № 2, 58–65. https://kazntu.kz/vestnik/2024/zhumataeva_temperature // Zhumataeva A.A. (2024).

Temperaturnyi analiz pnevmotruboprovodov [Thermal analysis of pneumatic pipelines]. *Vestnik KAZNTU*, (2), 58–65. https://kazntu.kz/vestnik/2024/zhumataeva_temperature (In Russ.)

Иванов Д. (2021). Сходимость МКЭ в моделировании труб. *CAD & CAE*, № 5, 73–81. https://doi.org/10.31452/cadcae.2021.05.05 // Ivanov D. (2021). *Skhodimost' MKE v modelirovanii trub* [Convergence of FEM in pipe modeling]. *CAD & CAE*, (5), 73–81. https://doi.org/10.31452/cadcae.2021.05.05 (In Russ.)

Касымова Н.Б. (2025). Устойчивость труб под давлением. *Технологический анализ*, № 1, 34–42. https://techanalysis.kz/2025/kasymova_pressure // Kasymova N.B. (2025). *Ustoichivost' trub pod davleniem* [Stability of pipes under pressure]. *Tekhnologicheskii analiz*, (1), 34–42. https://techanalysis.kz/2025/kasymova_pressure (In Russ.)

Корнеев А.Ю. (2021). Прочность труб: подходы и методы. *Вестник МГТУ*, № 11, 123–129. https://doi.org/10.15507/vmgtu.2021.77.11.123 // Korneev A.Yu. (2021). *Prochnost' trub: podkhody i metody* [Strength of pipes: approaches and methods]. *Vestnik MGTU*, (11), 123–129. https://doi.org/10.15507/vmgtu.2021.77.11.123 (In Russ.)

Мордвинцев К.П., Гогин А.Г., Корнеева Е.М. (2021). Устойчивость подводного трубопровода при воздействии течения и волн. *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования*, № 22(1), 113–121. https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-113-121 // Mordvintsev K.P., Gogin A.G., & Korneeva E.M. (2021). *Ustoichivost' podvodnogo truboprovoda pri vozdeistvii techeniya i voln* [Stability of underwater pipeline under flow and wave impact]. *RUDN Journal of Engineering Researcher*, 22(1), 113–121. https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-113-121 (In Russ.)

Нурумбетов С.Б. (2022). Фланцевые соединения в пневмосетях. *Казахстанский инженер*, № 3(15), 15–21. https://kazengin.kz/2022/nurumbetov_flange // Nurumbetov S.B. (2022). *Flantsevye soedineniya v pnevmosetyakh* [Flanged connections in pneumatic networks]. *Kazakhstanskii inzhener*, 3(15), 15–21. https://kazengin.kz/2022/nurumbetov_flange (In Russ.)

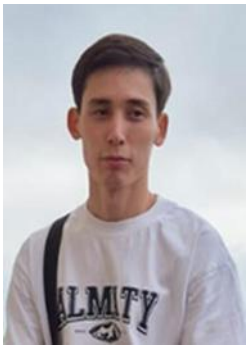
Садыкова А.Н. (2021). Прочность трубопроводов в APM WinMachine. *Вестник ТПУ*, № 11, 134–142. https://doi.org/10.17580/vtpu.2021.11.05.234 // Sadykova A.N. (2021). *Prochnost' truboprovodov v APM WinMachine* [Pipeline strength in APM WinMachine]. *Vestnik TPU*, (11), 134–142. https://doi.org/10.17580/vtpu.2021.11.05.234 (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors

Сакенова Айжан Муратковна, техника ғылымдарының магистрі, «Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты» ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан.
Сакенова Айжан Муратковна, магистр технических наук, Научный сотрудник Института Механики и Машиноведения имени У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан.
Sakenova Aizhan Muratkanovna, Master of Technical Sciences, Researcher at the U.A. *Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering*, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: sam2810@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4837-2017

Басканбаева Динара Джумабаевна, Ph. D.D., қауымдастырылған профессор, А. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау институты директорының орынбасары, "Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті" КАҚ, Алматы қ., Қазақстан.
Басканбаева Динара Джумабаевна, Доктор Ph.D., Ассоциированный профессор, Заместитель директора Института энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан.
Dinara Dzhumabaevna Baskanbayeva, Ph.D., Associate Professor, Deputy Director of the Burkitbayev Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.
E-mail:d.baskanbayeva@satbayev.university
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1688-0666

Төлебаев Нұржан Серікұлы, техника және технология магистрі, «Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты» ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан.
Төлебаев Нұржан Серікұлы, Магистр техники и технологии, Научный сотрудник Института Механики и Машиноведения имени У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан.
Nurzhan Serikuly Tolebayev, Master of Engineering and Technology, Researcher at the *Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering*
E-mail: nur-tul@mail.ru
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6842-194X



Сакадиев Нурали Нурмаматулы- «Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты» Инженер-бағдарламашысы, Алматы қ., Қазақстан.
Сакадиев Нурали Нурмаматулы Инженер-программист Института Механики и Машиноведения имени У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан.
Sakadiyev Nurali Nurmamatuly Software Engineer at the *Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering*, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: nurali_sq@bk.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3042-0792

Сатыбалды Сымбат Пердебайқызы - техника ғылымдарының магистрі, "Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті" КАҚ, докторанты және «Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты» ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан.
Сатыбалды Сымбат Пердебайқызы- Магистр технических наук, докторант НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева» и научный сотрудник Института Механики и Машиноведения имени У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан.
Satybaldy Symbat Perdebaikyzy - Master of Technical Sciences, doctoral student at Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev and researcher at the Institute of Mechanics and Machine Science named after U.A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: symbat_satybaldy@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4715-2346