

Список использованной литературы

1. Методические указания тяговых расчетов. – Введ. 11.11.2021, приказ № 949713. – Минск: 2021. – 275 с.
2. Чурков Н.А. Аэродинамика железнодорожного поезда: принципы конструирования подвижного состава, минимизирующие воздействия воздушной среды на железнодорожный поезд / Н.А. Чурков. – М.: Желдориздат, 2006. – 332 с.
3. Baker C. Cross-wind effects on road and rail vehicles / C. Baker et al. // Vehicle system dynamics. – 2009. – Vol. 47. – Iss. 8. – P. 983-1022. – DOI: 10.1080/00423110903078794.
4. Гребнев И.А. К оценке влияния ветровой нагрузки на грузовой поезд / И.А. Гребнев, О.Е. Пудовиков // Известия Транссиба. – 2022. – № 4 (52). – С. 13-22.
5. Алямовский А.А. Инженерные расчеты и SolidWorksSimulation / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
6. Baker C. A review of train aerodynamics Part 1–Fundamentals / C. Baker // The Aeronautical Journal. – 2014. – Vol. 118. – Iss. 1201. – P. 201-228. – DOI: 10.1017/S000192400000909X.
7. Ramlan I. Comparison between SolidWorks and Ansys flow simulation on aerodynamic studies / I. Ramlan, N. Darlis // Journal of Design for Sustainable and Environment. – 2020. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 1-9.
8. Демьянчук О.В. Влияние граничных условий на результаты моделирования обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона / О.В. Демьянчук // Сборник научных трудов «Современные проблемы машиноведения». Ч. 1. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 113-117.

УДК 656.073

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКИХ ГРУЗОВ НА ПАРАМЕТРЫ ИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ВО ФЛЕКСИТАНКАХ

М.Г. Гегедеш^{1,2}, А.А. Маркавцов^{2,3}

¹*Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь*

²*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
Республика Беларусь*

³*Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния температуры жидких грузов на параметры их колебаний при

перевозке во флекситанках. Использование пакета ANSYS CFX 19.2 позволило проанализировать динамику максимальных скоростей частиц жидкости и максимальных значений давления в зависимости от времени и температуры, учитывая значительное изменение вязкостных свойств глицерина. Установлено, что повышение температуры приводит к изменению динамики колебаний жидкости, что может оказывать значительное влияние на безопасность и эффективность транспортировки. Исследование подчеркивает критическую роль температурного фактора при работе с глицерином и может быть полезно при проектировании и эксплуатации флекситанков.

Ключевые слова: жидкие грузы, флекситанки, температура, колебания, скорость частиц, давление, транспортировка.

INVESTIGATION OF LIQUID CARGO TEMPERATURE ON THE PARAMETERS OF THEIR OSCILLATIONS AT TRANSPORTATION IN FLEXITANKS

M.G. Gegedesh^{1,2}, A.A. Markavtsov^{2,3}

¹Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

²Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

³Design and Technical Center of the Belarusian Railway, Minsk, Belarus

Abstract. *The article presents the results of a study of the effect of the temperature of liquid cargoes on the parameters of their fluctuations during transportation in flexitanks. Using the ANSYS CFX 19.2 package, it was possible to analyze the dynamics of maximum velocities of liquid particles and maximum pressure values as a function of time and temperature, taking into account a significant change in the viscous properties of glycerin. It has been established that an increase in temperature leads to a change in the dynamics of fluid fluctuations, which can have a significant impact on the safety and efficiency of transportation. The study highlights the critical role of the temperature factor when working with glycerin and may be useful in the design and operation of flexitanks.*

Keywords: *liquid cargo, flexitanks, temperature, fluctuations, particle velocity, pressure, transportation.*

В настоящее время получают все большее распространение мультимодальные перевозки грузов с использованием универсальных контейнеров, которые могут быть как железнодорожным, так и другими видами транспорта с минимальными трудовыми и временными затратами при перегрузке с одного вида транспорта на другой [1]. Интермодальные перевозки жидких грузов также возможны, при этом жидкости транспортируются в танк-контейнерах и флекситанках.

Танк-контейнеры, как правило, являются собственными, имеют высокую стоимость и возвращаются грузоотправителю в порожнем состоянии. Флекситанк представляет собой универсальный контейнер с размещенной внутри гибкой емкостью для жидкого груза, стоимость которой на порядок меньше стоимости танк-контейнера. После завершения перевозки гибкие емкости утилизируются.

Анализ литературных источников показал, что флекситанки имеют большие преимущества по сравнению с вагонами-цистернами и танк-контейнерами (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики подвижного состава для перевозки жидких грузов

Показатель	Вагон-цистерна	Танк-контейнер	Флекситанк
Скорость погрузки и разгрузки груза	Средняя	Средняя	Высокая
Трудовые и временные затраты на загрузку и разгрузку груза	Высокие	Высокие	Низкие
Потери при погрузке и разгрузке груза	Высокие	Высокие	Низкие
Очистка тары после транспортировки груза	Сложная	Сложная	Не требует
Стоимость транспортировки груза	Высокая	Средняя	Средняя
Габариты и вес	Высокие	Высокие	Средние
Возможность перевозки груза всеми видами транспорта	Нет	Да	Да
Необходимость наличия дополнительного оборудования для выгрузки груза	Нет	Нет	Да
Перевозка опасных грузов	Да	Да	Нет
Возможность штабелирования тары	Нет	Да	Да

Интермодальные перевозки подразумевают погрузку, перемещение и выгрузки контейнеров в областях с различными климатическими условиями, однако исследования влияния температуры окружающей среды на параметры перетекания жидких грузов внутри флекситанка не изучены. Целью представленной работы является анализ влияния температуры перевозимых во флекситанках жидких грузов на параметры их колебания внутри контейнера на основе компьютерного моделирования.

Флекситанки, несмотря на их широкое применение в транспортировке жидких грузов, подвержены значительным нагрузкам, которые могут привести к нарушению их целостности и прочности. Корпус контейнера, в котором размещается флекситанк, испытывает значительные давления, особенно при изменении условий транспортировки, таких как ускорения, торможения или резкие повороты. Эти давления могут вызывать деформации стенок контейнера и повреждения самого флекситанка, что приводит к утечкам и потере груза [2, 3].

Для проведения исследования использован пакет инженерного анализа ANSYS CFX [4]. Геометрическая модель представляет собой резервуар, форма которого соответствует форме универсального 20-футового контейнера (размеры: 6,058×2,438×2,591 м). Предполагалось, что гибкая емкость занимает 70 % объема универсального контейнера и принимает его форму.

Анализ физических свойств наиболее часто транспортируемых во флекситанках грузов показал, что наибольшему изменению вязкости в зависимости от температуры окружающей среды подвержен глицерин, вязкость которого изменяется в 10 раз в диапазоне температур от 0 до 40 °С [5, 6].

В работе рассматривался случай экстренного торможения (с замедлением, равным 4g) транспортного средства, имеющего начальную скорость 15 м/с, с установленным на нем универсальным контейнером. Оценка интенсивности колебаний жидкого груза производилась на основе определения максимальных скоростей частиц жидкости, максимальных значений давления внутри резервуара.

Максимальная скорость частиц демонстрирует нелинейную зависимость от температуры. Наблюдается рост скорости с увеличением температуры от 0 до 30 °С (с 117,7 до 143,4 м/с), после чего при 40 °С скорость снижается до 133,5 м/с. Пиковая скорость зафиксирована при 30 °С (143,4 м/с), что на 22 % выше, чем при 0 °С (рисунок 1). При такой скорости могут создаваться гидродинамические ударные нагрузки на стенки флекситанка, повышая риск деформации или излома частей контейнера. Снижение скорости при 40 °С (на 7 % по сравнению с 30 °С) может указывать на изменение вязкости жидкости или переход из ламинарного потока в турбулентный.

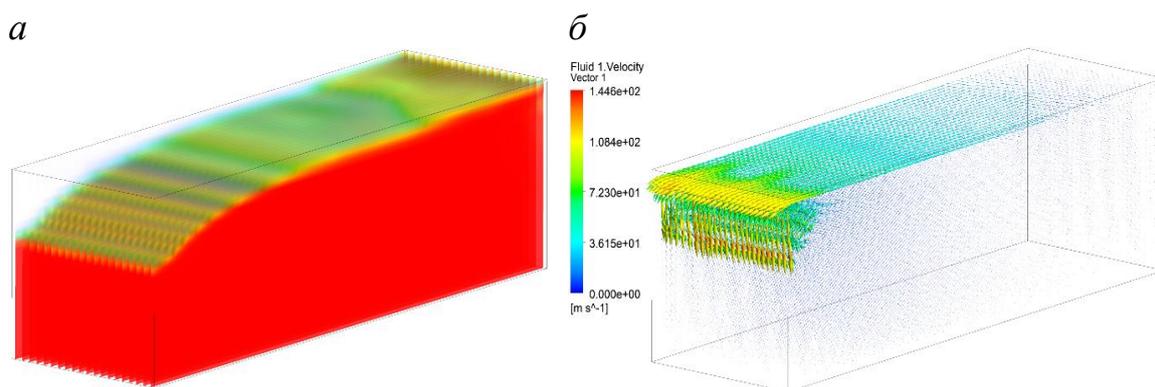


Рисунок 1 – Результаты моделирования в ANSYS при температуре 30 °С:
а – положение свободной поверхности жидкости; *б* – максимальная скорость частиц жидкости в момент времени 0,03 с

Следовательно, температура оказывает значительное влияние на скорость частиц жидкости, увеличивая ее при повышении температуры.

Максимальные значения давлений внутри резервуара нелинейно зависят от температуры (рисунок 2). Для малых временных диапазонов (от 0,001 до 0,003 с) давление значительно снижается с ростом температуры. Например: при 0 °С: 16,07 МПа ($t = 0,001$) → 0,402 МПа ($t = 0,003$); при 40 °С: 15,56 МПа ($t = 0,001$) → 0,349 МПа ($t = 0,003$).

Для промежуточных диапазонов времени (от 0,004 до 0,006 с) давление сначала снижается (до $t = 0,004$ с), затем начинает расти (от 0,005 до 0,006 с).

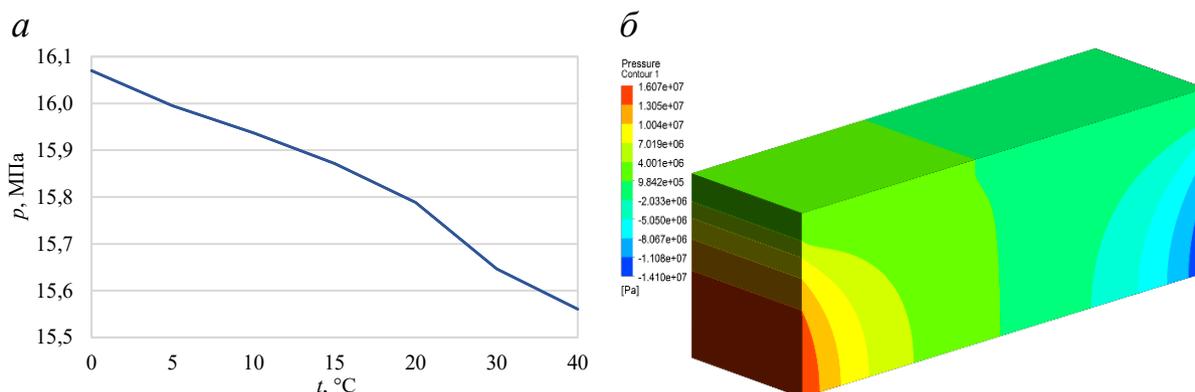


Рисунок 2 – Результаты моделирования в ANSYS в момент времени 0,001 с: *a* – зависимость максимального давления p (МПа) от температуры t (°С); *б* – максимальное давление при температуре 0 °С

Для больших временных диапазонов (от 0,007 до 0,01 с) давление монотонно увеличивается с температурой и временем, достигая максимума при 40 °С.

При низких температурах (от 0 до 15 °С) давление более чувствительно к изменениям времени, особенно на ранних этапах. При высоких температурах (от 30 до 40 °С) давление стабилизируется, а его рост со временем становится более плавным.

Минимум давления наблюдается при $t = 0,003$ с для всех температур. Максимальные значения давления зафиксированы при $t = 0,001$ с для 0 °С (16,07 МПа).

Наибольшие изменения происходят в первые моменты времени ($t < 0,004$ с), где температура оказывает сильное влияние. После $t = 0,005$ с система, вероятно, переходит в более стабильный режим, где давление растет с температурой.

Для всех значений вязкости жидкости картина распределения давлений выглядит аналогичным образом.

Анализ данных показал, что с увеличением температуры в начальный момент времени наблюдается снижение давления внутри резервуара. Это может быть связано с изменением вязкости жидкости при повышении температуры, что влияет на ее динамические свойства.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить зависимость параметров колебаний жидких грузов от температуры при их перевозке во флекситанках. Основные выводы: скорость частиц жидкости увеличивается с ростом температуры, что свидетельствует о возрастающей интенсивности колебаний. Однако при 40 °С скорость частиц жидкости уменьшается; повышение температуры приводит к снижению давления внутри резервуара, особенно в начальные моменты времени.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации условий транспортировки жидких грузов с учетом температурных факторов, а также при проектировании, эксплуатации и исследовании флекситанков.

Список используемой литературы

1. Маркавцов А.А. Использование контейнеров с установленными гибкими емкостями для перевозки жидких грузов / А.А. Маркавцов // Материалы научно-технической конференции «Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника». – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 136-137.

2. Jason G.W. Effects of Variation Straps Length Towards the Reduction of Liquid Sloshing in a Downscaled Flexitank // G.W. Jason et al. / Progress in Engineering Application and Technology. – 2023. – Vol. 4. – Iss. 1. – P. 731-740.

3. Challenges of Flexitanks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unioncargo.pl/en/the-challenges-of-flexitanks/> (дата обращения: 21.04.2025).

4. Кузнецова М.Г. Анализ подходов к моделированию колебаний ньютоновских и неньютоновских жидкостей в замкнутых резервуарах / М.Г. Кузнецова // Механика. Исследования и инновации. – Гомель: БГУТ, 2016. – № 9. – С. 67-77.

4. Рахманкулов Д.Л. Физические и химические свойства глицерина / Д.Л. Рахманкулов, Б.Х. Кимсанов, Р.Р. Чанышев. – М.: Химия, 2003. – 200 с.

5. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.