

нию может быть применен для широкого диапазона направлений и проблем, связанных с планированием работы флота и портов.

Основные положения анализа и прогнозирования тренд-сезонных колебаний работы морского транспорта позволяет вести разработку и реализацию современных информационных технологий в общей системе отраслевого управления.

#### Список использованных источников:

1. Леонтьев И.В. Понятие и сущность сезонных экономических явлений / И.В. Леонтьев. – М.: Статистика, 2003. – С. 38-45.
2. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белоусов» в ледовую навигацию по Азовскому морю / В.В. Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научн. техн. сб. ОНМА. – Вып.27. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2011. – С. 39-44.
3. Кильдышев Г.С. Анализ временных рядов и прогнозирование / Г.С. Кильдышев, А.А. Френкель. – М.: Статистика, 2005. – С. 25-28.

#### Bibliography:

1. Leontyev I.V. The concept and essence of seasonal economic phenomena / I.V. Leontyev. – М.: Statystyka, 2003. – P. 38-45. (Rus.)
2. Golikov V.V. The experience of piloting the icebreaker «Kapitan Belousov» in ice navigation in the Azov sea / V.V. Golikov, A.A. Lysyi, P.A. Kostenko // Ship power plant : scient. tech. coll. ONMA. – Ed. 27. – Odessa: IzdatInform ONMA, 2011. – P. 39-44. (Rus.)
3. Kildyshev G.S. Time series analysis and forecasting / G.S. Kildyshev, A.A. Frenkel. – М.: Statystyka, 2005. – P. 25-28. (Rus.)

Рецензент: А.М. Берестовой  
д-р техн. наук, проф., АМИ ОНМА

Статья поступила 30.04.2015

УДК 629.423

© Воропай В.С.\*

### РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНОВ

*В статье предложен расчетно-экспериментальный метод обоснования срока эксплуатации вагонов-цистерн, которые эксплуатируются химическими промышленными предприятиями. Разработана принципиальная схема расстановки датчиков тензометрирования и приведены результаты испытаний вагонов-цистерн.*

**Ключевые слова:** *безопасность, промышленные предприятия, вагоны-цистерны, остаточный ресурс, показатели использования, механические напряжения, обечайка котла, сжиженный газ.*

**Воропай В.С.** *Розрахунково-експериментальний метод обґрунтування терміну експлуатації вагонів. У статті запропонований метод обґрунтування терміну експлуатації вагонів-цистерн, які експлуатуються хімічними промисловими підприємствами. Розроблена принципова схема розташування датчиків тензометрування та наведені результати випробувань вагонів-цистерн.*

**Ключові слова:** *безпека, промислові підприємства, вагони-цистерни, залишковий ресурс, показники використання, механічні напруги, обечайка котла, зріджений газ.*

\* канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [uvoropay86@mail.ru](mailto:uvoropay86@mail.ru)

*V.S. Voropaj. Calculation-experimental method justifies the life of wagons. The article proposed a method to evaluate the technical state of tank wagons operating in chemical industry. An algorithm for evaluation the technical state of tank wagons was developed, that makes it possible on the basis of diagnosis and analysis of current condition to justify a further period of operation. The complex of works on testing the tanks and mathematical models for calculations of the design strength and reliability were proposed. The article is devoted to solving the problem of effective exploitation of the working fleet of tank wagons. Opportunities for further exploitation of cars, the complex of works on the assessment of their technical state and the calculation of the resources have been proposed in the article. Engineering research of the chemical industries park has reduced the shortage of the rolling stock for transportation of ammonia. The analysis of the chassis numerous faults and the main elements of tank wagons supporting structure after 20 years of exploitation was made. The algorithm of determining the residual life of the specialized tank wagons operating in an industrial plant has been proposed. The procedure for resource conservation of tank wagons carrying cargo under high pressure was first proposed. The improved procedure for identifying residual life proposed in the article has both theoretical and practical importance.*

**Keywords:** safety, industrial plants, tank wagons, the residual resource, utilization rates, mechanical stresses, a shell of the boiler, liquefied gas.

**Постановка проблеми.** Обеспечение безопасности движения грузовых поездов – главное направление в области решения сложных задач на железнодорожном транспорте. Химическая промышленность стран СНГ на своих предприятиях эксплуатирует парк грузовых вагонов, в большинстве своем состоящем из вагонов-цистерн (далее – цистерн) для перевозки сжиженных газов и другой продукции. Поиск решений для повышения безопасности при эксплуатации этого вида подвижного состава – приоритетное направление для науки, так как в случае аварии возникают опасные последствия для жизнедеятельности человека.

По результатам анализа работы цистерн на одном из предприятий химической промышленности сделан вывод, что парк цистерн постепенно сокращается (рис. 1). Для обеспечения функционирования предприятия на высоком уровне необходимо, чтобы заданное количество цистерн обеспечивало перевозочный процесс. Как видно на графике, такое количество начинает снижаться. Расход технического ресурса – основная причина этого процесса. При выполнении плановых ремонтно-восстановительных воздействий определенное количество цистерн подлежит экономически обоснованному восстановлению ресурса. А дефицит цистерн возникает вследствие того, что ресурс некоторых групп цистерн отсутствует, его восстановление экономически нецелесообразно, парк цистерн необходимо пополнять за счет приобретения новых цистерн. Возникает следующая причина дефицита – ограниченное финансирование обновления эксплуатационного парка предприятия.

Среднестатистический капитально-восстановительный ремонт обходится собственнику примерно в 5 раз дешевле, чем приобретение нововогаона [1]. После проведения технического диагностирования и капитального ремонта с продлением срока эксплуатации срок эксплуатации цистерн увеличивается на 5-15 лет в зависимости от остаточного ресурса этих вагонов.

Таким образом, в условиях действия рыночных механизмов большое значение приобретает продление срока эксплуатации цистерн. Подобные мероприятия проводятся на основании технической диагностики вагонов и определения их остаточного ресурса.

Были проведены исследования условий и режимов работы цистерн в транспортно-технологическом цикле промышленного предприятия, их результаты представлены в [2]. Следовательно, важной и актуальной становится научно-техническая задача по практическому использованию парка цистерн с имеющимся остаточным ресурсом. Одним из основополагающих вопросов для решения задачи по возможной эксплуатации цистерн в условиях окончания назначенного срока службы становится разработка комплексной методики по определению остаточного ресурса работы цистерн.

#### **Анализ последних исследований и публикаций.**

Среди научно-исследовательских работ, опубликованных за последний период по рассматриваемому вопросу, следует отметить [3-5].

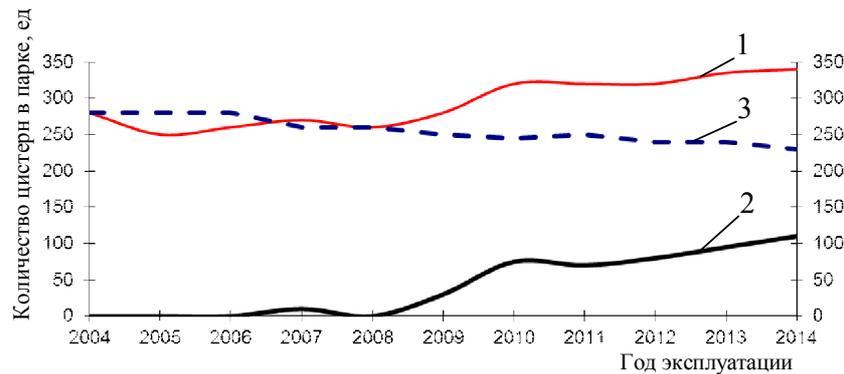


Рис. 1 – Суммарный баланс парка собственных вагонов-цистерн для перевозки химических грузов на период с 2004 по 2014 гг. (на примере промышленного предприятия): 1 – потребный парк; 2 – дефицит вагонов; 3 – цистерны, обеспечивающие перевозку, с наличием остаточного ресурса

В работе Кельриха М.Б. [6] была предложена практическая реализация метода определения надежности и прочности вагонов – вибрационная установка для усталостных испытаний железнодорожных цистерн, что явилось одним из новых методов испытания вагонов.

Методические положения по управлению индивидуальным ресурсом цистерн в эксплуатации были разработаны ученым Третьяковым А.В. [7]. Также в данной работе предложена методика по исследованию и управлению индивидуальным ресурсом вагонов при перевозке горячих грузов (пек).

Методика по определению остаточного ресурса цистерн с котлами из алюминиевых сплавов была предложена Битюцким Н.А. В работе [8] проведено научно-техническое исследование и оценка ресурса котлов таких цистерн, влияние перевозимого груза на прочность металла котла при различных нагрузках и режимах эксплуатации.

В результате анализа указанных публикаций был сделан вывод о том, что в настоящее время не существует методики оценки ресурсных возможностей цистерн, работающих в особо сложных условиях (перевозящих груз под высоким давлением). Такая методика позволила бы разработать принцип управления дальнейшим жизненным циклом цистерн с остаточным ресурсом.

Следовательно, решение этой важной задачи связано с необходимостью разработки расчетно-экспериментального метода, основанного на результатах технической диагностики в режиме реального времени.

В целом этот вопрос был рассмотрен в [3], что послужило основой для дальнейших исследований.

**Цель статьи** – разработка расчетно-экспериментального метода по обоснованию срока эксплуатации вагонов промышленных предприятий.

**Изложение основного материала.** В последние годы широко ведутся работы по продлению срока эксплуатации грузовых вагонов промышленных предприятий [7]. В Технических условиях на вагон конкретной модели в разделе «Показатели надежности» указывается назначенный срок службы. Это календарная продолжительность, при достижении которой эксплуатация объекта (вагона) должна быть прекращена независимо от его технического состояния. Цель установления назначенного срока службы – обеспечить принудительное заблаговременное прекращение использования вагона по назначению, исходя из условий эксплуатации, безопасности, технико-экономических показателей и долговечности [8].

После достижения вагоном назначенного срока службы в зависимости от его назначения, особенностей эксплуатации, технического состояния и других факторов, он может быть списан или может быть принято решение обосновать возможность продолжить его эксплуатацию с продлением срока эксплуатации.

Интенсивность эксплуатации характеризуется техническим ресурсом вагона, т.е. работой, которую вагон выполняет в период от начала эксплуатации до наступления предельного состояния.

В статье предложен расчетно-экспериментальный метод определения остаточного ресурса, согласно которому:

- 1) остаточный ресурс определяется для тех цистерн, назначенный срок службы которых истек;
- 2) остаточный ресурс определяется на основании анализа условий эксплуатации и результатов обследования технического состояния каждой цистерны;
- 3) метод включает в себя уточненный перерасчет базовых, полученных экспериментальным путем механических напряжений от испытательных нагрузок в соотношении с расчетными нагрузками, а также расчет коэффициента запаса сопротивления усталости [9, 10].
- 4) определение остаточного ресурса предлагается проводить по нескольким критериям:
  - превышению напряжений в элементах металлоконструкции при сочетании нагрузок, предусмотренных «Нормы...» [10];
  - накоплению повреждений при малоцикловом нагружении [9].

При оценке напряженного состояния конструкции цистерны согласно «Нормы...» [10] во время действия статических и динамических нагрузок вычислялись суммарные напряжения по I, III, испытательному режимам и режиму соударения – режимам, которые имитируют сочетание основных нагрузок, существующих нагрузок в реальной эксплуатации.

I-му расчетному режиму соответствует осаживание и трогание тяжеловесного состава с места, столкновения вагонов при маневрах, в том числе, при распускании с горок, экстренное торможение при малых скоростях.

II-й режим – это специальный режим, который устанавливается только для отдельных типов вагонов, как сочетание нагрузок, характерных для этих вагонов. Необходимость такого расчета устанавливается в техническом задании для разработки и испытания цистерн. Особенности конструкции цистерн, которые проходили процедуру оценки остаточного ресурса, не предусматривали расчет по этому режиму, поэтому в статье расчет не приведен.

Для III-го режима рассматривается сочетание нагрузок, характерных для нормальной работы вагона: движение вагона в составе поезда по прямым и кривым участкам пути с допустимой скоростью и доконструкционной при периодических служебных регулируемых торможениях, штатной работы узлов и механизмов.

Испытательный режим распространяется на цистерны, перевозящие грузы под давлением, и предусматривает испытание пробным давлением.

Суммарные напряжения по I-му режиму  $\Sigma\sigma_I$ , МПа, составят [9]:

$$\Sigma\sigma_I = \sigma_{\text{вр1}} + \sigma_{\text{р1}} \leq [\sigma]_I, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{вр1}}$  – механические напряжения от вертикальной статической  $Q_{\text{вр1}}$  нагрузки (имитация реального груза);

$\sigma_{\text{р1}}$  – напряжения от расчетного внутреннего давления для I режима,  $P_1$  ;

$[\sigma]_I$  – допускаемые напряжения для I режима;

По III-му режиму суммарные напряжения  $\Sigma\sigma_{III}$ , МПа, составят [9]:

$$\Sigma\sigma_{III} = \sigma_{\text{вр1}} + \sigma_{\text{рIII}} + \sigma_{\text{дин}} + \sigma_{\text{бок}} \leq [\sigma]_{III}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{рIII}}$  – напряжения от расчетного внутреннего давления для III режима  $P_{III}$ , МПа;

$\sigma_{\text{дин}}$  – напряжения от динамической добавки, которую получим умножением напряжений от статической нагрузки  $Q_{\text{вр1}}$  на коэффициент вертикальной динамики

$\sigma_{\text{дин}} = \sigma_{\text{вр1}} \cdot K_d$ , МПа;

$\sigma_{\text{бок}}$  – напряжения от боковой нагрузки, которая составляет 10% напряжений от статической нагрузки  $Q_{\text{вр1}}$  -  $\sigma_{\text{бок}} = 0,1\sigma_{\text{вр1}}$ , МПа;

$[\sigma]_{III}$  – допускаемые напряжения для III режима, МПа.

По III-му режиму предусматривается действие горизонтальных продольных и поперечных сил, возникающих при растяжении-сжатии вагона-цистерны в эксплуатации. Однако, как правило, при продлении срока эксплуатации испытаниям подвергается котел, как наиболее дорогостоящий элемент несущей конструкции, а рама подлежит замене на новую, серийно выпускаемую, в период капитального ремонта с продлением срока полезного использования. А так как вышеуказанные силы действуют на раму вагона, в данном случае испытание на растя-

жение-сжатие и расчет для этих нагрузок проводить нецелесообразно.

Испытательный режим [9]:

$$\sigma_{бр2} + \sigma_{рп} < [\sigma]_{исп} \text{ (МПа)}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{бр2}$  – напряжения от вертикальной статической нагрузки  $Q_{бр2}$ , МПа;  
 $\sigma_{рп}$  – напряжения от испытательного давления в котле  $P_p$ , МПа;  
 $[\sigma]_{исп}$  – допустимые напряжения для испытательного режима, МПа.

При ресурсных ударных испытаниях суммарные напряжения составят [9]:

$$\Sigma\sigma_{уд} = \sigma_{бр1} + \sigma_{рраб} + \sigma_{уд N=3,5} \leq [\sigma]_{уд} \text{ (МПа)}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{рраб}$  – напряжения от внутреннего рабочего давления  $P_{раб}$ , МПа;  
 $\sigma_{уд N=3,5}$  – при ударе в автосцепное устройство с силой 3,5 МН;  
 $[\sigma]_{уд}$  – допустимые напряжения для режима соударения, МПа.

Для определения эквивалентных напряжений необходимо привести суммарные напряжения к главным суммарным напряжениям. Для этого использовались следующие формулы [9]:

$$\sigma_x = 1,1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E + 0,33 \cdot \varepsilon_2 \cdot E, \quad (5)$$

$$\sigma_y = 1,1 \cdot \varepsilon_2 \cdot E + 0,33 \cdot \varepsilon_1 \cdot E, \quad (6)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y$  – главные напряжения, МПа;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – главные деформации, ед.;

$E$  – модуль упругости первого рода, для стали (материала, из которого изготовлен котел)  $E = 2,1 \cdot 10^5$ , МПа.

Эквивалентные напряжения определяются по формуле [9]:

$$\sigma_{э} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \text{ (МПа)}. \quad (7)$$

Оценку остаточного ресурса вагона-цистерны по критерию накопления повреждений при количестве циклов нагружения от 1000 до 500000 (малоцикловая усталость) необходимо проводить по основной зависимости [9, 10]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,э}} \geq [n], \quad (8)$$

где  $\sigma_{a,N}$  – предел выносливости элемента конструкции, который получаем экспериментально путем проведения форсированных испытаний, МПа;

$\sigma_{a,э}$  – величина эквивалентной приведенной амплитуды динамических напряжений, которая определяется расчетным путем, МПа;

$[n]$  – допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости.

Предложенный расчетно-экспериментальный метод включает в себя впервые полученную зависимость для расчета величины амплитуды динамических напряжений, МПа, которая учитывает особенности конструкции цистерны для перевозки сжиженного газа. Эта зависимость позволяет вычислить суммарные эквивалентные напряжения, возникающие при возможном самом неблагоприятном сочетании одновременно действующих нагрузок [10] в эксплуатации, и учитывает действие изменения внутреннего давления во время проведения сливно-наливных операций:

$$\sigma_{a,э} = \sqrt{(\sigma_{a,э}^B)^2 + (\sigma_{a,э}^{np})^2 + (\sigma_{a,э}^д)^2}, \quad (9)$$

где  $(\sigma_{a,э}^B)$  – величина эквивалентного напряжения, которая учитывает динамическое действие вертикальных сил при движении поезда, МПа;

$(\sigma_{a,э}^{np})$  – величина эквивалентного напряжения, которая учитывает действие продольных сил в случае ударных воздействий в автосцепку, МПа;

$(\sigma_{a,э}^д)$  – величина эквивалентного напряжения, которая учитывает действие изменения внутреннего давления во время проведения сливно-наливных операций, МПа.

Напряжения определяются для каждой из контрольных точек металлоконструкции цистерны. Количество точек и их месторасположение определяются согласно утвержденной программе проведения испытаний. Пример расположения датчиков тензометрирования на цистерне показан на рисунке 2, где номера являются тензодатчиками, обозначенными для регистрации напряжений.

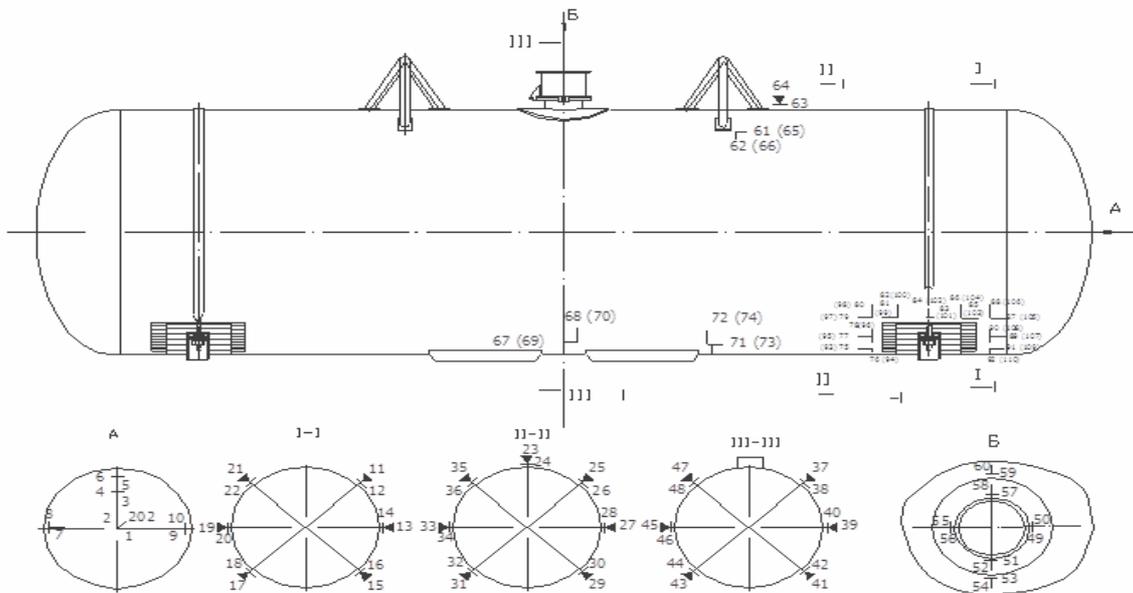


Рис. 2 – Расположение датчиков тензометрирования на котле цистерны:  $\perp$ ,  $\perp$ ,  $\blacktriangleright$  – условные обозначения датчиков тензометрирования

В результате проведения испытаний опытного образца цистерны и обработки данных испытаний были получены коэффициенты запаса сопротивления усталости (см. таблицу).

Таблица

Расчетно-экспериментальные коэффициенты запаса усталостной прочности

Зона исследования	№ точки	Напряжения при сбрасывании с клиньев, МПа, $\sigma_{a,кл}$	Приведенная эквивалентная амплитуда, $\sigma_{a,э}$	Достигнутый при испытаниях уровень выносливости конструкции МПа, $\sigma_{a,N}$	Коэффициент запаса сопротивлению усталости $n$
Днище	7	13,7	7,39	21,20	2,87
	9	5,70	3,08	8,55	2,78
Зона приварки днищ (сечение I)	13	10,1	2,08	7,3	3,5
	17	12,3	4,1	9,2	2,2
Обечайка котла	27	3,8	5,2	19,3	3,7
	28	12,1	4,2	20,1	4,8
	33	4,2	3,7	15,7	4,2
	45	15,01	2,09	7,07	3,4
Опоры	99	7,90	4,26	12,33	2,89
	100	7,90	4,31	19,2	4,45
Лапы	79	<b>2,56</b>	<b>1,38</b>	<b>2,17</b>	<b>1,57</b>
	81	0,90	0,49	1,05	2,16
	87	1,2	5,5	9,2	1,7
	91	8,5	4,3	7,1	1,7
	2079	3,3	1,38	2,5	1,8
	86	0,8	5,2	10,7	2,1
	93	1,7	6,8	11,9	1,8
	82	9,1	4,1	9,7	2,4
Люк	85	1,5	6,01	10,2	1,7
	59	4,4	2,4	10,01	4,2
	50	5,4	3,09	12,1	3,9
	49	6,0	7,9	14,0	1,8

Продолжение таблицы

Дуги	61	10,7	8,08	15,03	1,9
	62	7,9	4,5	10,2	2,3
	64	4,3	4,5	8,05	1,8

Наименьший коэффициент запаса сопротивления усталости по результатам испытаний получен в зоне лап цистерны в точке 79.

Если полученный коэффициент запаса сопротивления усталости  $n \geq [n]$ , тогда цистерна имеет запас остаточного ресурса на весь расчетный срок эксплуатации, где  $n$  – коэффициент запаса сопротивления усталости, достигнутый при испытаниях.

В случае  $n < [n]$  в одной или нескольких контрольных точках конструкции цистерны цистерна не обладает ресурсом на расчетный срок эксплуатации.

Расчет коэффициента запаса сопротивления усталости предполагает определение количества циклов динамических и статических нагрузок, действующих на цистерну. Располагая расчетными данными по количеству таких нагрузок за расчетный срок службы цистерны, и, имея данные по количеству циклов в результате проведения испытаний, можно определить срок эксплуатации испытываемой цистерны по следующей зависимости [9]:

$$T_c^n = \left( \frac{n}{[n]} \right)^m \bar{T}, \quad (10)$$

где  $m$  – степень амплитуды динамических напряжений в уравнении кривой усталости;

$T_c^n$  – срок эксплуатации, рассчитанный расчетно-экспериментальным методом, лет;

$\bar{T}$  – расчетный срок службы, лет.

### Выводы

1. Расчетно-экспериментальный метод позволяет определить безопасный срок эксплуатации цистерны.

2. Особенность предложенного метода состоит в том, что он включает в себя зависимость для расчета величины амплитуды динамических напряжений, которая учитывает особенности конструкции цистерны для перевозки сжиженного газа. Эта зависимость позволяет вычислить суммарные эквивалентные напряжения, возникающие при возможном самом неблагоприятном сочетании одновременно действующих нагрузок [1] в эксплуатации и учитывает действие изменения внутреннего давления во время проведения сливо-наливных операций.

3. Научная новизна предложенного метода и полученных результатов заключается в обосновании основных эксплуатационных параметров для цистерн, перевозящих аммиак, в соответствии с испытательными нагрузками, что позволяет использовать эти опытные данные в последующей эксплуатации аналогичных по конструкционным особенностям цистерн.

### Список использованных источников:

1. Дьомін Ю.В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення) / Ю.В. Дьомін. – К. : Юнікон Прес, 2001. – 352 с.
2. Воропай В.С. Методика по оценке технического состояния вагонов-цистерн парка промышленных предприятий / В.С.Воропай // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. : Технічні науки : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2010. – Вип. 29. – С. 222-230.
3. Воропай В.С. Повышение ресурсных возможностей парка вагонов-цистерн промышленных предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.12 / В.С. Воропай; ГВУЗ «ПГТУ». – Маріуполь, 2013. – 21 с.
4. Цистерны. (Устройство, эксплуатация, ремонт) : справочное пособие / В.К. Губенко [и др.]. – М. : Транспорт, 1990. – 151 с.
5. Положение о продлении сроков службы грузовых вагонов курсирующих в международном сообщении (Приложение №39) // Протокол 52 заседания Совета СНГ и Балтии от 13-14 мая 2010г.

6. Кельрих М.Б. Вибрационные испытания вагонов / М.Б. Кельрих, Г.А. Беспалов // Тез. докл. Всесоюзн. конф. по вибрационной технике. – Кутаиси-Тбилиси, 1981. – С. 11.
7. Третьяков А.В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов в эксплуатации / А.В. Третьяков. – СПб.: ОМ-Пресс, 2004. – 348 с.
8. Надёжность и эффективность в технике: справочник: в 10 кн. кн.8: Эксплуатация и ремонт / под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
9. Долматов А.А. Динамика и прочность четырехосных железнодорожных цистерн : сборник научных трудов / А.А. Долматов, Н.Н. Кудрявцев. – Москва : Трансжелдориздат, 1963. – 124 с.
10. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – 1996. – 354 с.

**Bibliography:**

1. Demin J.V. Railway technology of international transport systems (freight) / J.V. Demin. – K. : Unicon Pres, 2001. – 352 p. (Ukr.)
2. Voropaj V.S. Technique for assessing the technical condition of tank wagons of industrial park / V.S. Voropaj // Reporter of the Priazovskyi state technical university. Section : Technical sciences : collection of scientific works / SHEE «PSTU». – Mariupol, 2013. – Issue 29. – P. 222-230. (Rus.)
3. Voropaj V.S. Increase of resource opportunities of the park of tank wagons of industrial enterprises : the abstract of the dissertation on competition of a scientific degree / V.S. Voropaj; State Higher Educational Institution «PSTU». – Mariupol, 2013. – 21 p. (Rus.)
4. Tanks. (a device, a maintenance, a repair) : a reference guide / V.K. Gubenko [and others]. – M. :Transport, 1990. – 151 p. (Rus.)
5. The provision extending the service life of freight cars plying in international traffic (Annex 39) // Protocol 52 meetings of the Council of the CNS and Baltic States from may 13-14, 2010. (Rus.)
6. Kelrih M.B. Vibration tests of cars / M.B. Kelrih, G.A. Bepalov // Abstracts of all-Union conference for vibration technique. –Kutaisi-Tbilisi, 1981. – P. 11. (Rus.)
7. Tretyakov A.V. Extending the service life of rolling stock / A.V. Tretyakov. – SPb.: OM-Press, 2004. – 348 p. (Rus.)
8. Reliability and efficiency in a technique: reference book: in b.10, b.8: Exploitation and repair / under a rel. V.I. Kuznecova and E.Yu. Barzilovich. – М.: Buildingcar, 1990. – 320 p. (Rus.)
9. Dolmatov A.A. Dynamics and strength of four-axle railway tanks : proceedings / A.A. Dolmatov, N.N. Kudryavtsev. – Moscow : Transgeldorizdat, 1963. – 124 p. (Rus.)
10. Norms for a calculation and planning of carriages of railways of MWR of track 1520 mm (unself-propelled) / St.SDIR-ASDIRRT. – 1996. – 354 p. (Rus.)

Рецензент: В.Э. Парунакян  
д-р техн. наук, проф., ГБУЗ «ЛПГУ»

Статья поступила 16.03.2015