

Проверка своевременного внесения изменений в схемы в соответствии с указаниями ГТСС осуществляется группой функций модуля «Проверка принципиальных схем на соответствие указаниям». Для решения этой задачи потребовалось создать формализованную базу указаний ГТСС и разработать функции поиска фрагментов на схеме на основе теории графов [11]. В настоящее время база содержит набор указаний по пожарной безопасности. Для проверки на соответствие другим указаниям достаточно внести дополнительную информацию в базу без изменения самого модуля проверки.

Разработанные модули, осуществляющие экспертизу технической документации, активно внедряются на железной дороге в составе АРМ ВТД. Их применение сокращает число ошибок, что ведет к сокращению затрат времени на обработку технической документации и одновременно — благодаря своевременному выявлению ошибок — обеспечивает повышение безопасности движения поездов. ■

Литература

1. Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» от 27 октября 2005 г. № 1701 «Об утверждении инструкции о порядке разработки, согласования и утверждения проектной документации на строительство объектов, финансируемое ОАО «РЖД»» (В ред. распоряжений ОАО «РЖД» от 12.10.2009 г. № 2076, от 13.08.2010 г. № 1748). ОАО «РЖД», 2005.
2. Рекомендации по формированию технических условий для проектирования реконструкции и технического перевооружения объектов ЖАТ в составе инвестиционных проектов ОАО «РЖД».
3. Образец технического задания. Департамент автоматизации и телемеханики ОАО «РЖД». 2008.
4. Люггер Дж. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2005.
5. Гладкий А. В. Формальные языки и грамматики. М.: Наука, 1973.
6. Безродный Б. Ф., Василенко М. Н., Денисов Б. П., Седых Д. В. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). 2008. № 9. С. 22–24.
7. Кочетков А. А., Василенко М. Н., Денисов Б. П., Трясов М. С., Максименко О. А. Система контроля и обеспечения качества проектной документации // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). 2006. № 8. С. 9–11.
8. Тележенко Т. А. Автоматизированная система экспертизы схемных решений // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). 2009. № 5. С. 24–26.
9. Василенко М. Н., Горбачев А. М. Оптимизация синтеза кабельных сетей // Мир транспорта. 2010. № 4. С. 98–105.
10. Василенко М. Н., Горбачев А. М., Зуев Д. В., Григорьев Е. В. Автоматизированная система экспертизы схемных решений железнодорожной автоматизации и телемеханики // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 5 (36). С. 64–67.
11. Харари Ф. Теория графов. М.: Либроком. 2009.

Оценка влияния конструктивных форм днища на напряженное состояние котла цистерны под давлением



В. И. Богачев,
аспирант кафедры
«Вагоны и вагонное
хозяйство», Московский
государственный
университет путей
связи (МИИТ)

В вагоностроении тонкостенные оболочки вращения используются в качестве несущих элементов котлов. Котел при этом имеет сложную конструкцию и в процессе эксплуатации подвижного состава испытывает разнообразные воздействия. К тонкостенным конструкциям предъявляются жесткие требования в отношении надежности и одновременно легкости, поэтому расчет таких конструкций является достаточно сложной задачей, для решения которой в последние годы широко применяются специализированные программные комплексы. С целью оптимизации конструкции котла было проведено исследование влияния конструктивных форм днищ на их напряженно-деформированное состояние (НДС).

Одним из важнейших параметров вагона-цистерны является грузоподъемность. Увеличение грузоподъемности позволяет повысить производительность вагона, т. е. количество перевозок, выполняемых вагоном в единицу времени, увеличить вес поездов, оптимизировать использование мощности локомотивов

и стационарных устройств, снизить расходы на маневровую работу, текущее содержание, обслуживание вагонов и т. д. В конечном счете все это ведет к увеличению провозной способности железных дорог и снижению себестоимости перевозок.

Днище является частью конструкции котла, объем которой в определен-

ной степени влияет на параметры цистерны в целом. В связи с этим интерес представляет задача нахождения такого значения вылета днища, при котором обеспечивается максимальная грузоподъемность при удовлетворении условий прочности котла.

Данная задача решалась с использованием программного комплекса NASTRAN.

В качестве объекта исследования был выбран котел четырехосной цистерны модели 15-1443 для перевозки бензина и светлых нефтепродуктов.

Расчетная схема представляет собой конечно-элементную модель котла, в которой учитывалась симметрия конструкции относительно поперечной вертикальной плоскости, т. е. рассматривалась половина котла, получаемая при рассечении этой плоскостью. В плоскости симметрии на модель котла накладывались соответствующие граничные условия. В модели не учитывались верхняя и нижняя горловины, сливной уклон, поскольку влияние перечисленных элементов конструкции на НДС днища незначительно.

Оболочка котла радиусом 1,5 м представлена совокупностью сеток конечных элементов (КЭ сеток) цилиндрической части и эллиптического днища. КЭ сетки создавались вращением [1] вокруг продольной горизонтальной оси котла, причем для броневого, двух верхних и двух продольных листов котла были созданы отдельные КЭ сетки. При создании КЭ сетки эллиптического днища было учтено, что днище имеет цилиндрический участок длиной 0,05 м. При построении конечно-элементной схемы использовались следующие конечные элементы: плоские четырехугольные — для листов обечайки котла, плоские четырехугольные и треугольные — для днища.

Конечно-элементная модель включает в себя 23 836 конечных элементов и 23 837 узлов.

Толщины листов заданы в свойствах элементов и составляют: 9 мм — для верхних и продольных листов обечайки; 11 мм — для броневых листов и 10 мм — для днища.

Материал котла задан как изотропный со следующими характеристиками: модуль Юнга равен $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона — 0,3.

Для днища котла внутреннее давление является определяющим внешним воздействием. Из результатов экспе-

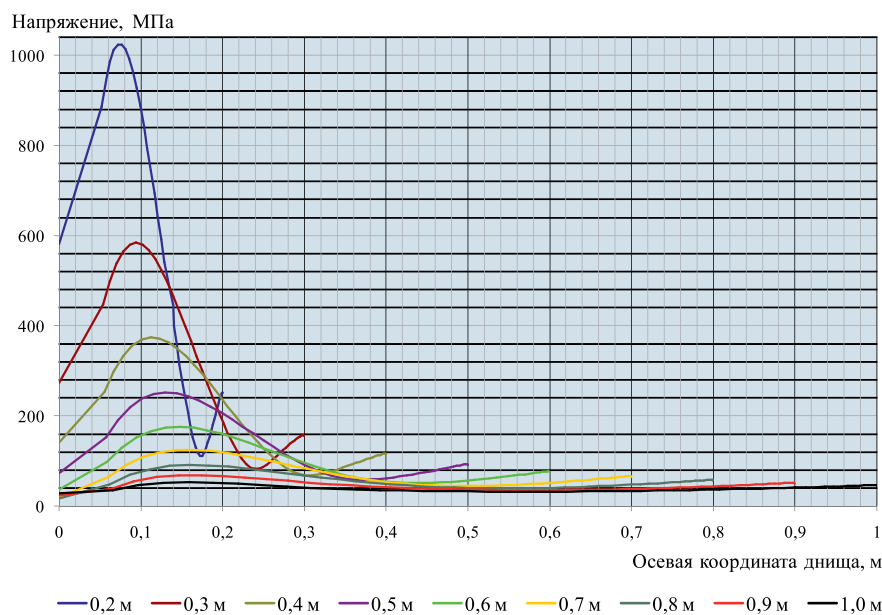


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в днище при варьировании его вылетом

риментальных исследований [2] следует, что нагружение котла внутренним давлением вызывает в днищах напряжения, составляющие не менее 80 % от суммарных напряжений, которые характеризуют прочность конструкций согласно требованиям норм [3]. Поэтому нагрузка в расчетной схеме была представлена в виде давления, значение которого принималось равным 0,4 МПа (давления, создаваемого в котле при гидравлическом испытании).

Влияние остальных сил учитывалось в величине допускаемых напряжений для днища по первому расчетному режиму.

В соответствии нормами [3] допускаемые напряжения $[\sigma]$ для стали 09Г2С для первого расчетного режима принимаются равными пределу текучести материала (325 МПа), взятому с коэффициентом 0,9. Величина вылета днища согласно поставленной задаче изменялась в пределах от 0,2 до 1,5 м, поэтому расчетная модель котла создавалась отдельно для каждого значения вылета.

Описывая напряженное состояние модели, следует отметить, что вследствие краевого эффекта в переходной зоне от цилиндрической части котла к эллиптическому днищу можно наблюдать максимальный всплеск напряжений. С увеличением вылета их величина снижается. При вылете днища, равном 0,9 м, величины максимальных эквивалентных напряжений в обечайке котла и эллиптическом днище практически равны. Дальнейшее увеличение вылета

приводит к росту напряжений в обечайке и снижению их в днище.

На рис. 1 показано распределение эквивалентных напряжений в днище при варьировании его вылетом. Наибольшие величины напряжений наблюдаются в сечении, расположенном на расстоянии 0,15–0,35 м вылета днища. Для днищ с вылетами больше 1,0 м графики отсутствуют по той причине, что напряжения в таких днищах меньше, чем в цилиндрической части котла, и практически кривые вырождаются в прямые.

По результатам расчетов построен график зависимости максимальных эквивалентных напряжений в днище котла от величины его вылета (рис. 2). Уровень максимальных эквивалентных напряжений в днищах с вылетами больше 1,0 м остается одинаковым, т. е. график представляет собой прямую параллельную горизонтальной оси. С увеличением вылета уменьшается и объем котла, поэтому использование таких котлов нерационально.

Результаты расчетов показали, что при величине вылета, равной 0,4 м, максимальные эквивалентные напряжения в днище составляют 374 МПа, а при вылете 0,5 м — 253 МПа при величине допускаемых напряжений 292,5 МПа.

Для уточнения оптимальной величины вылета днища, начиная с 0,4 м, варьировался с более мелким шагом 0,01 м. Оказалось, что при величине вылета 0,47 м эквивалентные напряжения составляют 283 МПа. Именно это значение

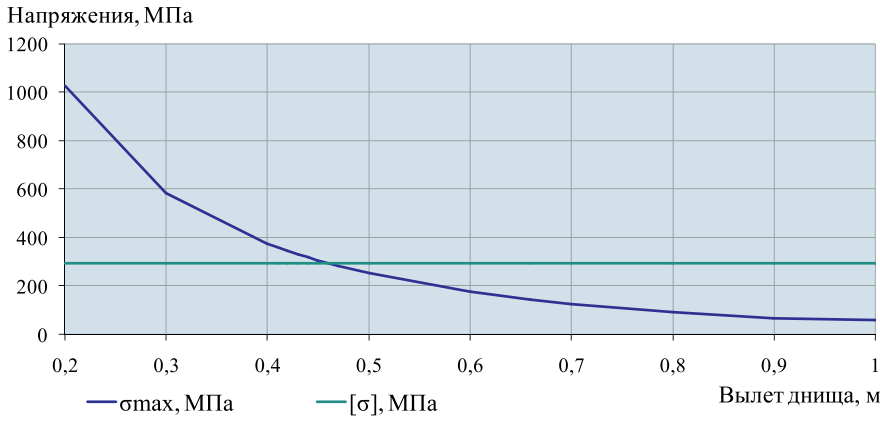


Рис. 2. График зависимости максимальных эквивалентных напряжений σ_{max} в днище котла от величины его вылета

вылета было принято оптимальным по условию прочности.

Интерес также представлял вопрос о том, насколько можно уменьшить вылет днища, а соответственно, увеличить объем котла за счет увеличения толщины днища. Оказалось, что при толщине листов 13 мм днища с вылетом 0,4 м можно дополнительно понизить величину эквивалентных напряжений с 374 МПа до 282 МПа и, следовательно, принять этот вариант котла за оптимальный.

На рис. 3 представлены графики зависимости максимальных эквивалентных напряжений в днище котла от величины его вылета при варьировании толщины.

Также был выполнен расчет объема котла и грузоподъемности цистерны 15-1443 с различными вылетами днищ котла при неизменной общей длине последнего. Получена зависимость объема и грузоподъемности от вылета днища. Результаты расчетов приведены в таблице.

При оптимальном по условию прочности вылете днища, равном 0,47 м (в таблице выделено голубым цветом), объем увеличивается практически на 1 м³, а грузоподъемность повышается на 0,7 т по сравнению с базовым вариантом цистерны с вылетом 0,66 м (выделено розовым цветом). У цистерны с вылетом днища 0,4 м толщиной 13 мм (выделено желтым цветом) грузоподъемность увеличивается до 1 т по сравнению с базовой.

Не меньший интерес представляет влияние возможных очертаний меридиана днища на НДС.

Предлагается очертание меридиана днища описывать уравнением обобщенного суперэллипса:

$$\left| \frac{x}{a} \right|^m + \left| \frac{y}{b} \right|^n = 1,$$

где $a = 0,47$ м — оптимальное из условия прочности значение вылета днища;
 $b = 1,5$ м — радиус цилиндрической части котла;
 m, n — положительные числа, больше 1.

С целью сравнительного анализа исследовались варианты днищ, меридиан которых задавался вышеприведенным уравнением:

- вариант 1: $m = 4, n = 4$;
- вариант 2: $m = 4, n = 2$;
- вариант 3: $m = 3, n = 3$;
- вариант 4: $m = 3, n = 2$;
- вариант 5 (эллиптическое днище): $m = 2, n = 2$.

Задача решалась с использованием программного комплекса NASTRAN. Оболочка котла представлена совокупностью КЭ сеток цилиндрической части и днища с меридианом, который описывается вышеприведенным уравнением. В остальном расчетная схема модели котла, характер приложения нагрузок и граничные условия, описанные выше, остались без изменения.

По результатам расчетов, варианты 1–4 не удовлетворяют условию прочности котла согласно [3], несмотря на то, что получено лучшее по сравнению с вариантом 5 (эллиптическое днище)

Таблица. Результаты расчетов грузоподъемности при варьировании вылетом днища

Вылет днища, м	Объем котла, м ³	Грузоподъемность, т
0,20	75,38	61,77
0,30	74,91	61,38
0,40	74,44	61,00
0,41	74,40	60,97
0,42	74,35	60,93
0,43	74,30	60,89
0,44	74,25	60,84
0,45	74,21	60,81
0,46	74,16	60,77
0,47	74,11	60,73
0,50	73,97	60,61
0,60	73,50	60,23
0,66	73,22	60,00
0,70	73,03	59,84
0,80	72,56	59,46
0,90	72,09	59,07
1,00	71,62	58,69

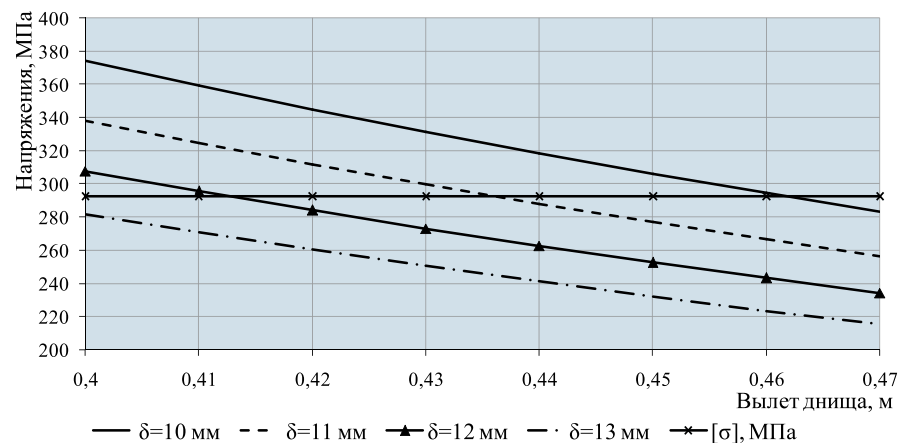


Рис. 3. Графики зависимости максимальных эквивалентных напряжений в днище котла от величины его вылета при варьировании толщины δ

распределение напряжений: максимальные эквивалентные напряжения возникают в сечениях днища, расположенных на расстоянии, равном (по оси) более 0,5 вылета днища (рис. 4). Наибольшие напряжения в днище возникают в местах резкого изменения кривизны меридиана.

Если построить графики кривизны кривых 1–5, то при движении вдоль образующей из области стыка цилиндрической части котла и днища к полюсу последнего наиболее плавно изменяется кривизна эллипса, т. е. рациональным по условию прочности вариантом меридиана будет кривая, которая близка к эллипсу. В связи с этим рассматривались кривые, для которых показатель m варьировался в интервале (2,3) при постоянном $n = 2$. Наиболее рациональным по условию прочности был признан вариант кривой с $m = 2,28$, $n = 2,28$ (вариант 6). На рис. 4 видно, что кривые 5 и 6 близки, но распределение напряжений в днище варианта 6 лучше, чем в эллиптическом днище.

Согласно полученным результатам расчетов, имеется некоторый дополнительный запас для дальнейшей оптимизации конструкции днища. Поэтому вылет днища варьировался с шагом 0,01 м начиная с вылета 0,47 м. Днище с геометрией меридиана по варианту 6 и с вылетом 0,455 м стоит признать рациональным для котла четырехосной железнодорожной цистерны, так как в этом варианте обеспечивается наибольший геометрический объем котла.

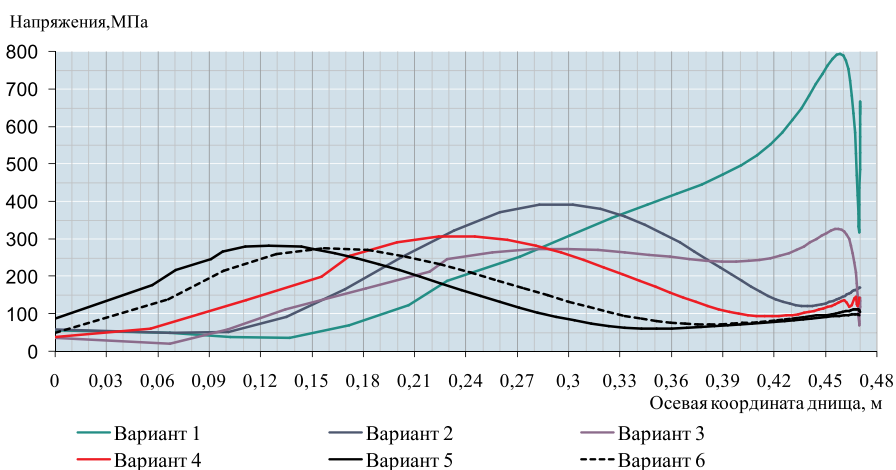


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений в днищах разных конструктивных форм

Таким образом, в ходе исследования

- проведены расчеты по определению НДС днища котла цистерны 15-1443 с использованием программного комплекса NASTRAN, для чего была построена конечно-элементная расчетная схема котла с разными значениями вылета днища;

- по результатам расчетов получена зависимость максимальных эквивалентных напряжений от вылета днища;

- из условия прочности найдено оптимальное значение вылета, при котором можно улучшить параметры базовой цистерны: увеличить объем котла и повысить грузоподъемность на 0,7 т;

- изучена и доказана возможность дополнительного увеличения объема котла и грузоподъемности (на 1 т)

за счет увеличения толщины листов днища;

- изучено влияние очертания меридиана днища котла на его НДС; выбран наиболее рациональный вариант днища, обеспечивающий наибольший геометрический объем котла.

Литература

1. Рычков С. П. MSC.visualNASTRAN для Windows. М.: ИТ Пресс, 2004. 552 с.
2. Медведев В. П. Исследование прочностных характеристик сложных оболочек вращения, применяемых в цистерностроении. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М.: МИИТ, 1972. 215 с.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. 319 с.

портал для специалистов транспортной отрасли
www.rostransport.com

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ЭКОНОМИКЕ, ПРАКТИКЕ
ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Об издании | Распространение | Мероприятия | Подписка | Реклама | Авторам | Редакция | Поиск

Рассказы

№1 (1) / 2005 | №1 (2) / 2006 | №2 (3) / 2006 | №3 (4) / 2006 | №4 (5) / 2006 | №5 (6) / 2006 | №6 (7) / 2006 | спецвыпуск / 2007 | №1 (8) / 2007

Новый номер выдан 31.10.2012 №5 (43) / 2012
Тема номера: Транспортные системы России: перспективы развития
Data: сайт

№ (42) Транспортные системы России: перспективы развития
Статьи журнала: ГОСУДАРСТВО И ТРАНСПОРТ
Водный транспорт: актуальные вопросы правового регулирования. Интервью с В. А. Олерским
Дмитриев Н. Э. Пространство 1520: перспективы интеграции [english]
Фрейдлин И. В. Комплексное развитие Новороссийского транспортного узла

Библиотека | Блоги | Наука для транспорта
Перспективные и новейшие разработки ученых