



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО  
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

ТОМ 4, №3, 2008, 151-159

УДК 624.014

## МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛЕБЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРА ПРИ УДАРІ КУТОМ ДНА ОБ ЖОРСТКУ ПОВЕРХНЮ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

**В.О. Попов**

*Вінницький національний технічний університет,  
вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 7, 21021, м. Вінниця, Україна.  
E-mail: xvivix@mail.ru.*

*Отримана 28 серпня 2008; прийнята 01 вересня 2008.*

**Анотація.** У статті розроблено ефективний метод моделювання напружено-деформованого стану сталобетонного контейнера під дією динамічних навантажень, що виникають при ударі кутом біля дна об жорстку поверхню з врахуванням демпферної дії кутових стійок; розроблені відповідні математичні та кінцево-елементні моделі засобами програмного комплексу "Lira 9.4"; виявлені найбільш небезпечні з точки зору міцності ділянки; доведена неминучість руйнування стику кришки та корпусу і, відповідно, необхідність влаштування додаткових кріплень даної ділянки; запропоновані рекомендації щодо удосконалення конструкції контейнера.

**Ключові слова:** сталобетонний контейнер, радіоактивні відходи, напружено-деформований стан, раціональне проектування, ударне навантаження.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕБЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРА ПРИ УДАРЕ УГЛОМ ДНИЩА О ЖЕСТКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**В.А. Попов**

*Винницкий национальный технический университет,  
ул. Воинов-Интернационалистов, 7, 21021, г. Винница, Украина.  
E-mail: xvivix@mail.ru.*

*Получена 28 августа 2008; принята 01 вересня 2008.*

**Аннотация.** В статье разработан эффективный метод моделирования напряженно-деформированного состояния сталобетонного контейнера под действием динамических нагрузок, возникающих при ударе углом у днища о жесткую поверхность с учетом демпфирующего действия боковых стоек; разработаны соответствующие математические и конечно-элементные модели средствами программного комплекса "Lira 9.4"; выявлены наиболее опасные участки с точки зрения прочности; доказана неминучесть разрушения стыка крышки и корпуса и, следовательно, необходимость дополнительных креплений в этом месте; предложены рекомендации по усовершенствованию конструкции контейнера.

**Ключевые слова:** сталобетонный контейнер, радиоактивные отходы, напряженно-деформированное состояние, рациональное проектирование, ударная нагрузка.

## MODELING OF TENSE-DEFORMED CONDITION OF STEEL-CONCRETE CONTAINER WHILE THE IMPACT BY THE CORNER AT THE BOTTOM AGAINST THE HARD SURFACE FOR THE RATIONAL DESIGNING

V.A. Popov

*Vinnitsa national technical university,  
Warriors-internationalist str., 7, 21021, Vinnitsa, Ukraine  
E-mail: xvivix@mail.ru.*

*Received 28 August, 2008; accepted 01 September, 2008.*

**Abstract.** In this article worked out the an effective method of modeling had been method the tense-deformed condition steel-concrete container under the dynamic loads appearing while the impact with the corner against the tough surface at the bottom considering damping action of the side posts; correspondent mathematical and finite-elements models by means of the program complex Lira 9.4 have been elaborated; the most parts; dangerous from the point of had been established inevitability view of durability have been found out; the inevitable destruction of cover and joint hence the necessity of additional fastenings in this plase has been proved recommendations have been offered to improve container design.

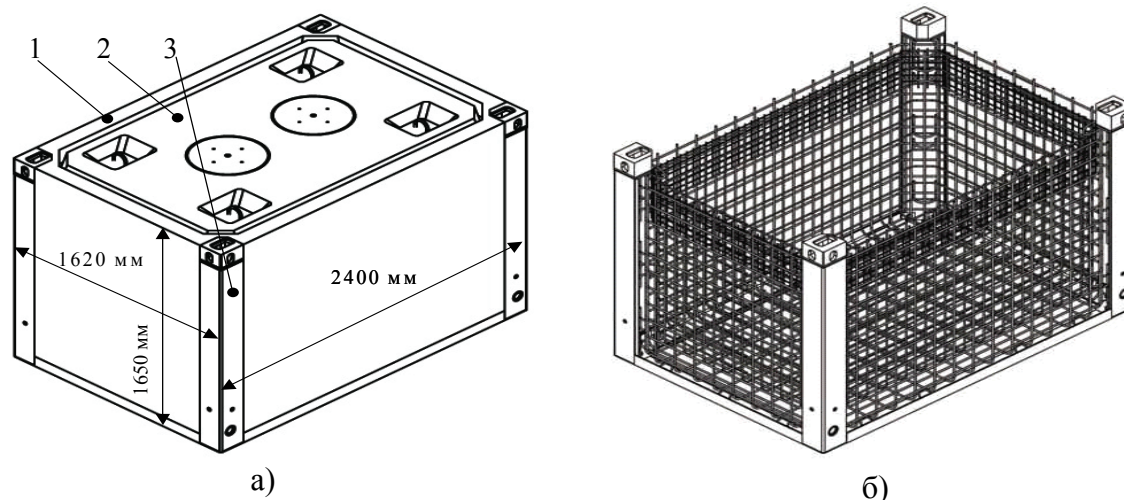
**Key words:** steel-concrete container, radioactive products, tense-deformed condition, rational design, impact load.

### Вступление

На данный момент в наиболее развитых странах мира, в том числе и в Украине, особенно после катастрофы на Чернобыльской АЭС, существует актуальная проблема утилизации отходов ядерной энергетики. Одним из наиболее эффективных способов утилизации таких материалов является упаковка в герметичные контейнеры и их дальнейшее складирование в подземных хранилищах. Материал контейнеров и их конструкция зависит, в основном, от массы и активности отходов. На данный момент в мировой практике в качестве контейнеров для слабоактивных отходов используются стальные и железобетонные емкости прямоугольной и цилиндрической формы для утилизации 3...20 т отходов, причем предпочтение отдается прямоугольным, как более компактным и удобным при складировании. Геометрические размеры контейнера определяются, в основном, транспортальностью. Конструкцию контейнеров в Украине принято проектировать и рассчитывать согласно [2, 4, 6, 13].

### Анализ последних исследований и публикаций

Изучением динамического воздействия разной природы на сталебетонные конструкции занимались такие известные ученые как М.Ф. Барштейн, И.М. Рабинович, Е.С. Со рокин, Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев, О.В. Лужин, Л.Х. Блюмин, М.Я. Гербажевский и др. [1, 5]. Вопросами разработки рациональных конструкций стальных и бетонных контейнеров, а также радиоактивно непроницаемых материалов для них занимаются В.В. Сакало, В.И. Гавриленко, Е.Н.Бабич, В.Р. Сердюк. Последние исследования, посвященные данной тематике, принадлежат В.А. Огородникову, А.Н. Бамбу ре, А.Б. Гурковскому. В работах этих ученых проанализированы особенности работы стальных и железобетонных контейнеров под действием различных статических и динамических нагрузок, оговоренных в [7, 12]. Для железобетонных контейнеров емкостью более 10 т А.Н. Бамбурой и А.Б. Гурковским доказана необходимость ввода дополнительных демпфирующих элементов в конструкцию контейнера для поглощения



**Рис. 1.** Контейнер: а – общий вид, где 1 – контейнер, 2 – крышка, 3 – стойки; б – схема армирования корпуса.

энергии удара [7], возникающей при падении с транспортной платформы высотой 0,6 м, однако практическая реализация данных предложений нашла свое место лишь в [9]. Открытым на данный момент остается вопрос о надежности подобных конструкций, критерием которой является сохранение целостности после испытаний, заключающихся в сбросе с нормированной высоты на стальную мишень много большей массы. Все сказанное выше обуславливает актуальность и целесообразность исследований, посвященных рационализации конструкции контейнеров и развитию методов моделирования их работы под действием динамических нагрузок.

### Постановка проблемы

На основании анализа напряженно-деформированного состояния модели реального контейнера под действием динамических нагрузок методами математического и конечно-элементного моделирования необходимо оценить его прочность согласно требований [8, п.п. 4.5.12], а именно, при испытаниях на динамическое усилие, возникающее при сбрасывании углом у дна на стальную мишень общей массой не менее 10 масс контейнера, замоналиченную в грунт.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать эффективный метод расчета;
- выполнить соответствующее математическое и конечно-элементное моделирование средствами программного комплекса “Lira 9.4”;

- произвести анализ полученных результатов, оценить прочность, жесткость и трещиностойкость элементов контейнера;
- представить рекомендации по рационализации конструкции контейнера.

### Основная часть

Подробное описание конструкции контейнера, созданного на основе [10, 11], содержится в [14]. Следующие данные приведены для более полного понимания методов расчета и результатов работы. Контейнер имеет форму полого параллелепипеда размерами 2400х1650х1620 мм. Углы притуплены фасками ~150 мм со стальными накладками (стойками) из полого гнутого трехгранника из листа толщиной  $\Delta_{\sigma} = 5 \text{ мм}$ . Крышка контейнера после установки омоноличивается, при этом обеспечивается жесткое сопряжение граней крышки и стенок (табл. 1, рис. 1).

Стенки и днище контейнера имеют четырехрядное основное армирование и в верхнем сечении – шестирядное: наружный объемный коробчатый каркас (стенки и днище) армирован Ш10 мм с шагом 150 мм, средний каркас (верхняя часть стенок на высоту 320 мм) армирован Ш5 мм с шагом 50 мм, внутренний объемный коробчатый каркас (стенка и днище) армирован Ш8 мм с шагом 150 мм (рис. 1,б).

При моделировании приняты следующие допущения, которые являются достаточно общими для общей теории сопротивления материалов и строительной механики.

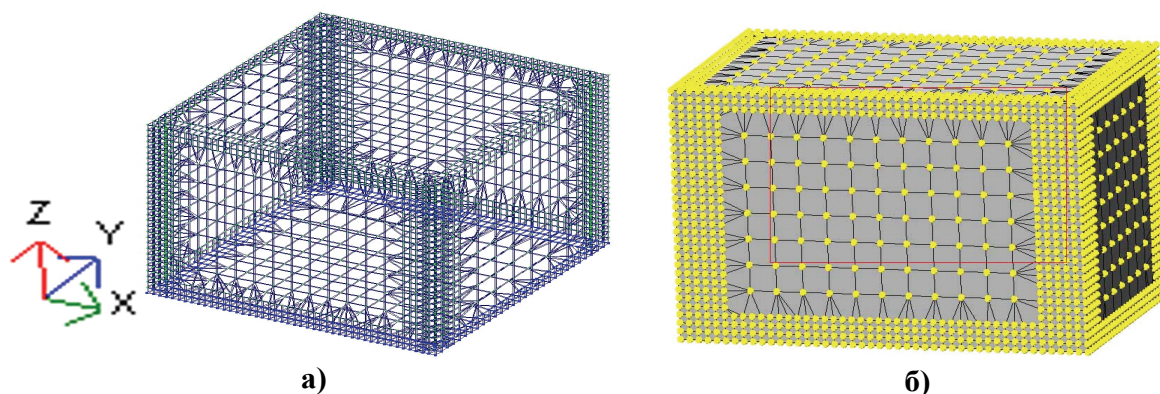


Рис. 2. Конечно-элементная модель контейнера: а – расчетная схема, б – 3D-визуализация расчетной схемы.

Таблица 1. Толщины основных железобетонных элементов контейнера.

Элемент контейнера	Толщина, мм
Стенка	
в уровне крышки	71
в сечении под крышкой	150
в нижнем сечении (у днища)	170
Крышка	150
Днище	150

1. Опора, на которую падает контейнер, является абсолютно жесткой, не деформируемой, плоской поверхностью.
2. Бетон является изотропным, линейно деформируемым телом в пределах сжатия и не работает на растяжение.
3. В расчете принято, что внутреннее содержимое контейнера не придает ему дополнительной прочности (является деформируемым материалом), однако обеспечивает связность работы его элементов.
4. Принято, что 75% энергии удара расходуется на упруго-пластическую деформацию и разрушение элементов контейнера (контейнер после взаимодействия с опорной поверхностью не подпрыгивает). Остальные 25% расходуются на разрушение внутренних связей наполнителя и его уплотнение.
5. Контейнер при падении с высоты  $H=0,6$  м не имеет вращательной составляющей, т.е. движется только под действием силы тяжести.
6. Согласно [3, 8] принято, что в наиболее невыгодном случае центр масс контейнера лежит на одной прямой с вектором приложения реакции опоры.

Стенки, днище и крышка контейнера смоделированы пластинчатыми 3-х и 4-х узловыми конечными элементами. При моделировании

учтены стальные стойки, связанные с бетоном арматурными выпусками (рис. 2).

Предложенная модель разработана в физически нелинейной постановке с учетом особенностей поведения железобетона под действием комплекса нагрузок. Эквивалентные напряжения в опасных сечениях металлических стоек вычислены по теории прочности Губера-Хенки-Мизеса. Эквивалентные напряжения в бетонных элементах вычислены по теории прочности Мора.

Полезная нагрузка контейнера (наполнитель) представляет собой отвердевший цементно-песчаный раствор, в который замоноличены емкости с отработанным таблетированным радиоактивным материалом средней плотностью  $\rho_m = 1,0 \cdot 10^3$  кг. Средняя плотность цементно-песчаного раствора и таблетированного материала  $\rho_0 = 2,0 \cdot 10^3$  кг.

Масса контейнера, заполненного полезной нагрузкой, согласно данных конструкторской документации  $m = 1,50 \cdot 10^4$  кг, где  $m_o \approx 0,8 \cdot 10^4$  кг – ориентировочная масса отходов.

Бетон основных элементов контейнера согласно [13] имеет класс прочности на сжатие В30, арматура – А400С, А240С, Вр-I.

Конечная скорость контейнера при падении с высоты  $H = 0,6$  м определяется по закону

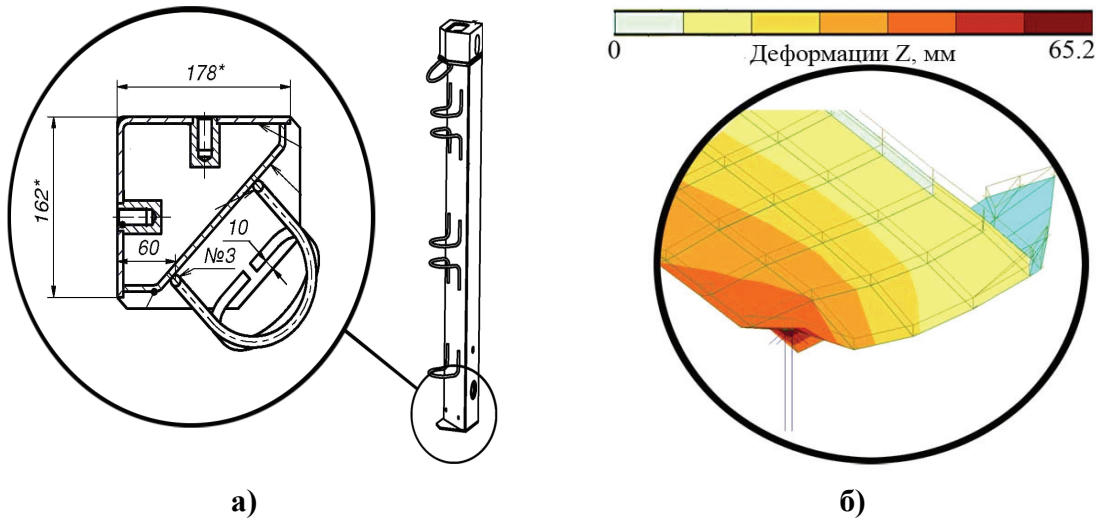


Рис. 3. Деформации угловых накладок до контакта с бетоном: а – нижняя часть стойки, б – деформации при ударе.

сохранения энергии

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,6} = 3,431 \text{ м/с}.$$

Исходя из предположения, что координата центра масс контейнера в процессе соударения изменяется незначительно, кинетическая энергия в момент соприкосновения с опорной поверхностью

$$E_k \approx m \cdot V^2 / 2 = 1,5 \cdot 10^4 \cdot 3,431^2 / 2 = 88,3 \text{ кДж}.$$

Так как ~25% энергии удара тратится на разрушение наполнителя контейнера, коэффициент динамичности  $k_d$  согласно общей теории удара [3, с.517 – 520]:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + 0,75 \cdot \Delta E_k / U_{cm}}. \quad (1)$$

Полная потенциальная энергия статической деформации:

$$U_{cm} = U_{\phi} + U_V + U_{внутр} \approx (1-2\mu) \cdot \int_V \frac{\sigma_{экс}^2}{6 \cdot E} dV + (1+\mu) \cdot \int_V \frac{\sigma_{экс}^2}{3 \cdot E} dV. \quad (2)$$

При падении на угол процесс удара может состоять из одного или двух основных этапов. На протяжении первого этапа угол (нижняя часть стойки) сминаются на величину  $\Delta_y$ . При этом часть кинетической энергии расходуется на данные деформации, а угол выполняет роль своеобразного демфера. Элементы контейнера находятся при этом под действием сил инерции. В случае, когда потеря кинетической энергии, необходимой для полного смятия угла меньше полной кинетической энергии сбрасываемого контейнера, ударное взаимодействие этим и ограничивается. Если же полная кинетическая энергия больше тре-

буемой на смятие угла на  $\Delta_y \approx 65 \text{ мм}$ , то после его смятия происходит процесс разрушения (смятия) участка бетона под накладкой.

На рис. 3а схематически показана опорная стойка контейнера в виде полого гнутого трехгранника из листа толщиной 6 мм. Материал всех элементов стойки – Ст3сп2 ( $R_y = 230 \text{ МПа}$ ,  $R_u = 350 \text{ МПа}$ ). Программный расчет показал, что для смятия угла стойки на величину ~ 65 мм необходимо затратить энергию  $E_{n1} = 160 \text{ кДж} > E_k = 88,3 \text{ кДж}$ . Следовательно, деформации контейнера при падении на угол проходят лишь один этап (при котором происходит упруго-пластическое смятие угла стойки на величину  $\Delta_{y1} \approx 45 \text{ мм}$ ).

Очевидно, что не вся кинетическая энергия удара расходуется на деформацию угла стойки. Часть кинетической энергии идет на изменение формы и объема других конструктивных элементов контейнера, а также растрескивание наполнителя, однако для оценки времени соударения потерями энергии пренебрегаем, что в дальнейшем приведет к увеличению коэффициента запаса прочности.

Скорость смятия:

$$V_{cp} = V / 2 = 3,431 / 2 = 1,716 \text{ м/с}.$$

Оценочное время ударного взаимодействия

$$t_{y1} = \Delta_{y1} / V_{cp} = 0,045 / 1,716 = 0,026 \text{ с}.$$

Максимальное избыточное ускорение частиц контейнера



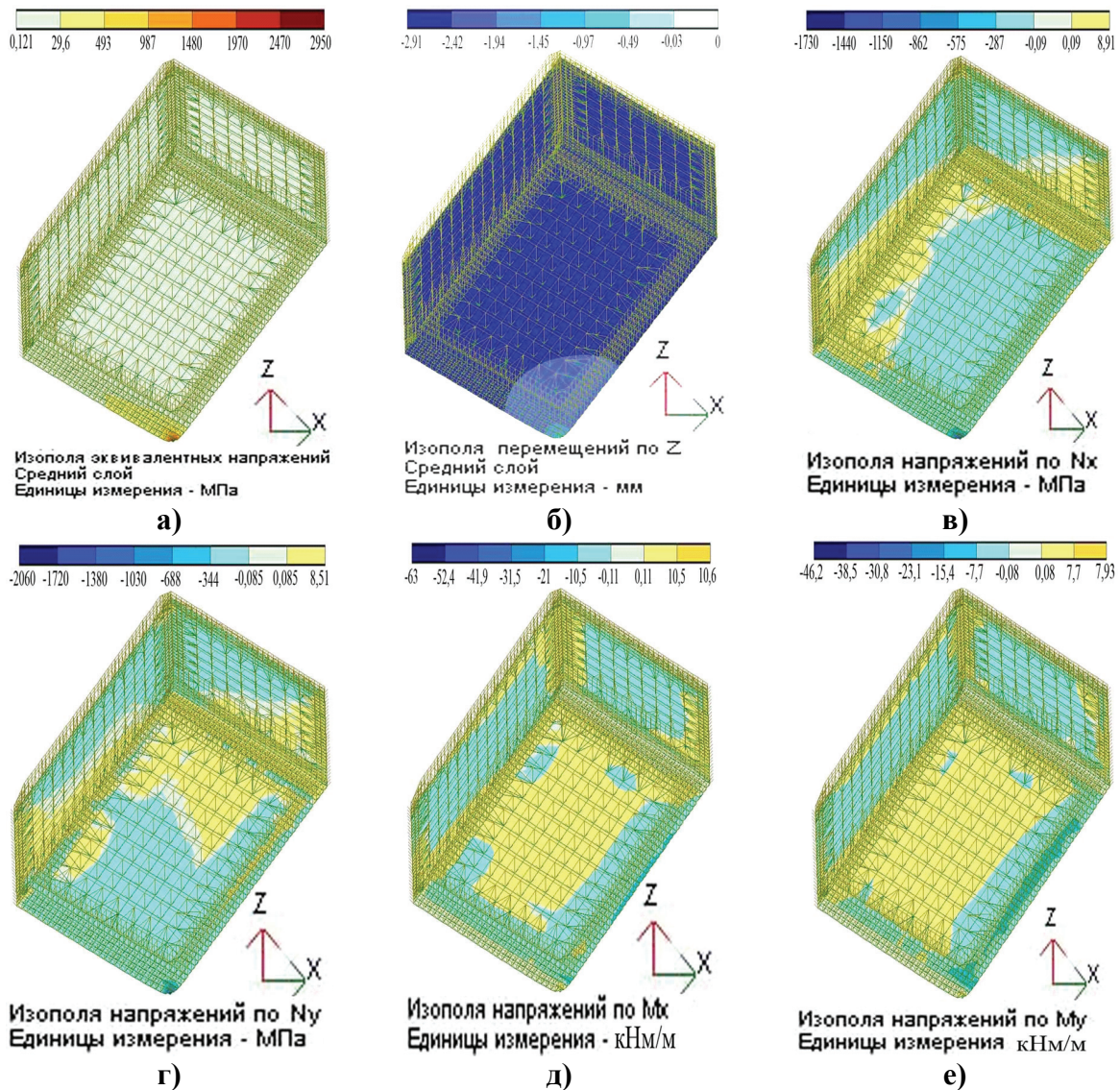


Рис. 4. Падение контейнера на угол: а – эквивалентные напряжения; б – деформации по Oz; напряжения: в –  $N_x$ ; г –  $N_y$ ; д –  $M_x$ ; е –  $M_y$ .

$$a = V / t_{y1} = 3,431 / 0,026 = 132 \text{ м/с}^2.$$

Оценочное значение коэффициента динамичности при этом составит  $k_d = a / g = 132 / 9,81 \approx 13,5$ . Согласно [2] коэффициент надежности по нагрузке для контейнера и его содержимого  $\gamma_{fm} = 1$ .

Момент трещинообразования определяется состоянием элементов, при котором деформации растяжения в элементах составляют величину:

$$\varepsilon_{btu} = 2 \cdot R_{bt} \cdot k_{din} / E_b, \quad (3)$$

где  $k_{din} = 1,2$  – коэффициент динамического упрочнения бетона [5].

Подставляя исходные данные, получаем  $\varepsilon_{btu} = 1,25 \cdot 10^{-4}$ .

Результаты расчета модели приведены на рис. 4, максимальный распределенный момент – в табл.2. Напряжения в железобетонных элементах контейнера (без отображения работы стальных стоек) приведены на рис. 5.

В случае падения на угол все четыре стенки, днище и крышка являются плитами, находящимися под действием комплекса силовых факторов, включающих в себя усилия  $M$ ,  $Q$  и  $N$ . Так как наиболее значительное влияние на внутренние напряжения будут оказывать изгибающие моменты, для упрощения дальнейшего расчета

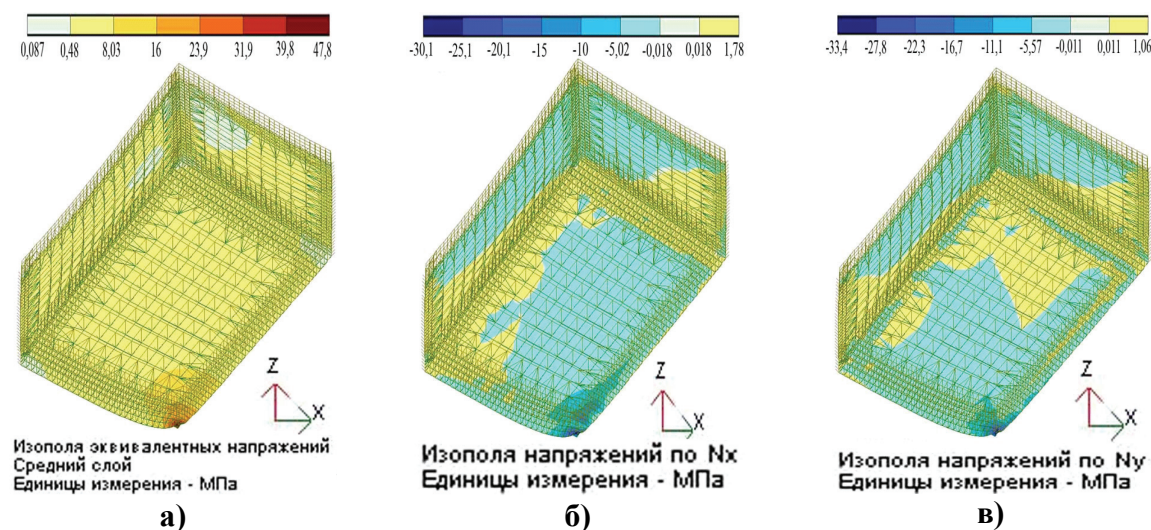


Рис. 5. Напряжения в железобетонных элементах контейнера без отображения работы стальных стоек): а – эквивалентные напряжения; б –  $N_x$ ; в –  $N_y$ .

Таблица 2. Максимальные значения силовых факторов при падении на угол.

Элемент конструкции	Распределенный момент, кН×м/м		Напряжения, МПа	
	$M_x$	$M_y$	$N_x$	$N_y$
Крышка	-15,9	-17,1	-5,02	-5,57
Стенка у крышки	+15,9	+17,1	+1,78	-5,57
Стенка	+15,9	+17,1	-5,02	-5,57
Стенка у днища	-15,9	-17,1	-20,1	-16,7
Днище	-15,9	-17,1	-15,0	-22,3

будем считать их классическими плитами (рис. 6,а). Правильный подбор арматуры следует про- извести, исходя из параметров  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{xy}$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$ .

Согласно рис. 4д, 4е максимальные изги- бающие моменты возникающие в элементах контейнера  $M_{\max} = M_y = 17,1 \text{ кН} \cdot \text{м/м}$ . Эле- ментарный расчет по методикам, изложен- ным в [1, 10, 13], доказывает, что допустимое значение изгибаемого момента для данных элементов  $M_u = 188 \text{ кН} \cdot \text{м/м}$ . Таким обра- зом, максимальный расчетный изгибающий момент, действующий вдоль одной из осей, на порядок меньше момента, воспринимаемо- го сечением. Так как совокупные внутренние усилия  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{xy}$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$  вызывают в элемен- тах днища и крышки контейнера оценочные эквивалентные напряжения растяжения, не превышающие  $R_{bt} = 1,2 \text{ МПа}$ , и сжатия, не превышающие  $R_b = 17 \text{ МПа}$ , прочность максимально нагруженных фрагментов дни- ща и крышки, а значит и их конструкции в целом обеспечивается.

Следует отметить, что при падении на угол максимальные значения локальных моментов в зоне стыка крышки и стенок контейнера, где армирование отсутствует достаточно велико. Следовательно, в этой зоне неминуемо отка- лывание монолитной заделки и отделение крышки от корпуса контейнера. Отпаданию крышки должен препятствовать специальный замковый элемент, например, типа «обратный клин» (см. рис. 6,б).

Анализ эквивалентных напряжений, воз- никающих в стальных элементах контейнера (стойках) при падении на угол показал сле- дующее. В угле стойки, на который падает контейнер, возникают эквивалентные напря- жения  $\sigma^{\text{экв}} > 400 \text{ МПа}$  (см. рис. 4,а), что существенно превышает границу текучести. В этом месте неминуемо возникновение пла- стических деформаций и смятие угла на глу- бину не менее 45 мм. Возможно возникнове- ние трещин металла в этом месте. В осталь- ных участках стойки возникают внутренние

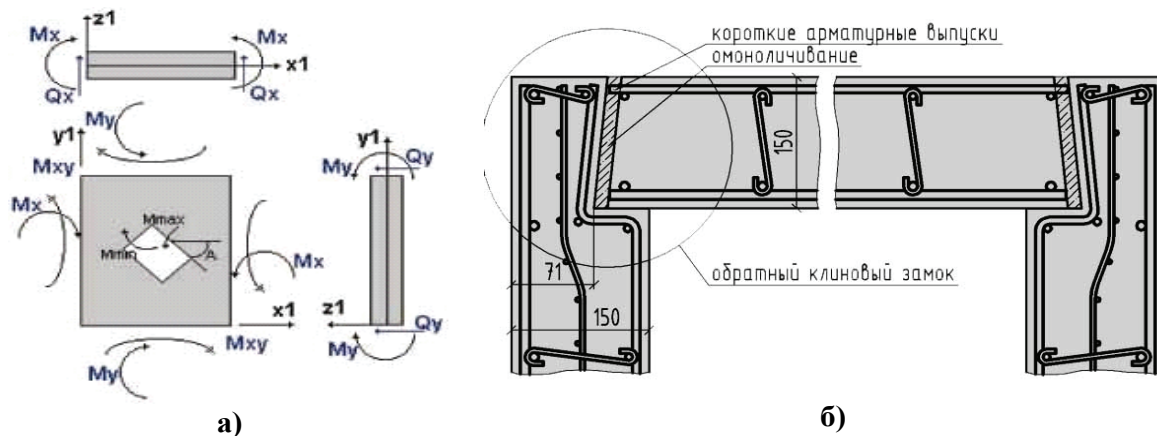


Рис. 6. а – нагрузки на единичный пластинчатый фрагмент согласно [9 – 14], б – предложенная конструкция замкового элемента типа «обратный клин».

напряжения, не превышающие допустимого значения  $R_y \cdot \gamma_c / \gamma_m = 230 \cdot 0,9 / 1,1 = 188 \text{ МПа}$ . Падение на угол вызывает также существенные усилия среза, стремящиеся отделить стойку от арматурного каркаса.

### Выводы

Анализ напряженно-деформированного состояния основных элементов контейнера при динамическом воздействии со стороны сил инерции, возникающих при падении на угол у дна с платформы высотой 0,6 м, позволяет сделать следующие выводы.

1. Получил дальнейшее развитие метод анализа напряженно-деформированного состояния сталебетонных контейнеров под действием расчетных нагрузок, более полно высветлен метод моделирования динамического воздействия сил инерции, возникающих при падении контейнера на угол у дна.
2. Разработана новая конечно-элементная модель, учитывающая, по сравнению с моделями [7, 9, 12], демпфирующее действие стальных элементов при падении на угол.
3. При падении контейнера на угол возникает опасность среза креплений стойки от арматурного каркаса контейнера. Для того, чтобы этого избежать рекомендуется установить 8 хомутов из арматурной стали А400С диаметром 16 мм.
4. При падении контейнера на угол непосредственно над местом контакта (над стойкой) неминуемо возникновение локального смятия бетона на глубину, не менее 25 мм.

5. Анализ эквивалентных напряжений показал, что при падении на угол наиболее опасные напряжения возникают в стенке и днище непосредственно над углом, контактирующим с поверхностью в момент удара. Кроме того, расчет конструкции контейнера показал возможность образования трещин в этом месте. Опираясь на приведенные расчеты, рекомендуется ввести дополнительное армирование данного сопряжения косвенными арматурными стержнями.
6. Предложена новая конструкция замкового элемента, препятствующая полному отделению крышки в момент удара.

### Литература

1. Голышев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П. и др. Проектирование бетонных и железобетонных конструкций. Справочное пособие. – Киев, «Будивэльных», 1990. – 543 с..
2. ГОСТ 16327-88. Комплекты упаковочные для радиоактивных веществ. Общин технические условия. Введ. 01.07.1990. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 24 с.
3. Дарков А.В., Клейн Г.К., Кузнецов В.И., Лужин О.В. и др. Строительная механика. Под ред. А.В. Даркова. Учебник для вузов. М., «Высшая школа», 1976. – 600 с.
4. ДБН В.1.2-2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Введ. 31 січня 2007 р. на заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10). К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с.
5. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия (Справочник проектировщика) / М.Ф. Барштейн, Н.М. Бородачев, Л.Х. Блюмина и др.; Под ред. Б.Г. Корнеева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.



6. НП 306.6.124-2006. Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006). Державний комітет ядерного регулювання. Київ, 2006 – 144 с.
7. Отчет о научно-технической работе. Расчет железобетонного контейнера КТЗ-3,0 (15) с определением прочностных характеристик, трещиностойкости и выдача предложений по оптимальному использованию арматурного каркаса. НИИСК г. Киев, 2002 г. – 23 с.
8. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. К., “Наукова думка”, 1975. – 705 с.
9. Попов В.О., Байда Д.М. Моделювання напружено-деформованого стану залізобетонного контейнера при штабелюванні для раціонального проектування. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ, НДІБК, 2007. Випуск 67. – С. 703 – 714.
10. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) / ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 192с.
11. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. К., Госстрой Украины, 2002. – 39 с.
12. Расчет на динамическую и статическую прочность транспортно-защитного контейнера КТЗ-3,0 ТУ У 13306137.006-99 и резервуара из нержавеющей стали. Научно-внедренческое инновационное предприятие «Струм». г.Винница, 2000г, – 33 с.
13. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. / Госстрой СССР. Взамен СНиП II-21-75 и СН 511-78. введ. 01.01.1986. Переиздание с изменениями на 1 января 1989 г. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. – 77 с.
14. ТУ У 34.2-22921083-001:2007. Контейнер для транспортирования, хранения и захоронения низкоактивных и среднеактивных твердых радиоактивных отходов КТЗ-3,6. Технические условия – Зарегистровано 15.06.2007 в Держстандарт України; введ. 30.09.2007 – 33 с.

**Попов Володимир Олексійович** к.т.н., є старшим викладачем кафедри «Промислове та цивільне будівництво» Вінницького національного технічного університету. Наукові інтереси: стійкість рівноваги висотних споруд, раціональні високоточні роз'ємні з'єднання, контейнери для утилізації радіоактивних відходів, газгольдини та інші металеві ємності для зберігання та утилізації рідких та газоподібних речовин.

**Попов Владимир Алексеевич** к.т.н., является старшим преподавателем кафедры «Промышленного и гражданского строительства» Винницкого национального технического университета. Научные интересы: устойчивость равновесия высотных сооружений, рациональные высокоточные разъемные соединения, контейнеры для утилизации радиоактивных отходов, газгольдеры и другие металлические емкости для хранения и утилизации жидких и газообразных веществ.

**Popov Vladimir Alexeevich** candidate of technical sciences, is a senior lecturer of industrial and civil engineering department at Vinnitsa National Technical University. Research interests: the stability of multistory equilibrium, rational high exact disconnected joints, sectional connectors, containers for utilization radioactive wastes, gasholders and other metal tanks for storing and utilization of liquid and gaseous substances.