



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

№2, ТОМ 14 (2008) 97-104

УДК 624.014

(08)-0158-1

СТАБІЛІЗАЦІЯ ПРОВИСАЮЧИХ МЕМБРАННИХ ПОКРИТТІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У СКЛАДІ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ

І. В. Роменський ⁽¹⁾, Є. В. Русакова ⁽²⁾

*1 – Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.*

E-mail: riv_2005@mail.ru

2 – ТОВ "Ресурс - Інжиніринг"

E-mail: v96535@mail.ru

Отримана 1 квітня 2008; прийнята 19 квітня 2008

Анотація. В статті розглянуті основні питання підвищення ефективності вертикальних циліндричних резервуарів шляхом використання покриттів у вигляді провисаючих мембранних оболонок. Використання таких конструктивних рішень забезпечує зменшення маси в порівнянні з традиційними рішеннями у вигляді купольних покриттів. До недоліків мембранних покриттів слід віднести їх високу деформативність. Для мембранних покриттів, що працюють у складі резервуарів, суттєвим навантаженням є надлишковий тиск. Для запобігання явища оборотного вихлопу необхідно використання заходів стабілізації конструкції покриття. У якості стабілізуючого пристрою пропонується використовувати залізобетонний елемент, маса котрого визначається з умов можливості компенсації надлишкового тиску. Запропонована методика визначення оптимальної товщини мембранної оболонки. Використані принципи нелінійного математичного програмування з використанням штрафних функцій. Рішення оптимізаційної задачі виконано з використанням алгоритму багатогранника, що деформується. Для типових резервуарів об'ємом 10...50 тисяч кубічних метрів (відповідно діаметром 28,5...60,7м) визначені оптимальні параметри мембранних покриттів. Визначена маса покриттів з урахуванням додаткових навантажень від стабілізуючого елемента. Наведена економічна ефективність запропонованого варіанту стабілізованого мембранного покриття у порівнянні з типовим рішенням.

Ключові слова: вертикальний циліндричний резервуар, мембранне покриття, стабілізація, оптимальне проектування.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОВИСАЮЩИХ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ

И. В. Роменский ⁽¹⁾, Е. В. Русакова ⁽²⁾

*1 – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.*

E-mail: riv_2005@mail.ru

2 – ООО "Ресурс-Инжиниринг"

E-mail: v96535@mail.ru

Получена 1 апреля 2008; принята 19 апреля 2008

Аннотация. В статье рассмотрены основные вопросы повышения эффективности вертикальных цилиндрических резервуаров путем применения покрытий в виде провисающих мембранных оболочек.

Применение таких конструктивных решений обеспечивает уменьшение массы по сравнению с традиционными решениями в виде купольных покрытий. К недостаткам мембранных покрытий относится их высокая деформативность. Для мембранных покрытий, работающих в составе резервуаров, существенной нагрузкой является избыточное давление. Для предотвращения возможности явления так называемого обратного выхлопа необходимо применение мероприятий стабилизации конструкции покрытия. В качестве стабилизирующего устройства предлагается использовать железобетонный элемент, масса которого подбирается из условия компенсации избыточного давления. Предложена методика определения оптимальной толщины мембранной оболочки. Использованы принципы нелинейного математического программирования, основанные на методе штрафных функций. Решение оптимизационной задачи выполнено с использованием метода деформируемого многогранника. Для типовых резервуаров объемом 10...50 тысяч кубических метров (соответственно диаметром 28,5...60,7м) определены оптимальные параметры мембранных покрытий. Определена масса покрытий с учетом дополнительных нагрузок от стабилизирующего элемента. Приведена экономическая эффективность предложенного варианта стабилизированного мембранного покрытия по сравнению с типовым решением.

Ключевые слова: вертикальный цилиндрический резервуар, мембранное покрытие, стабилизация, оптимальное проектирование.

STABILIZATION OF SAGGING MEMBRANE COVERINGS, WORKING IN THE VERTICAL CYLINDRICAL TANKS COMPOSITION

I. V. Romensky ⁽¹⁾, I. V. Rusakova ⁽²⁾

1 – The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Derzhavin's 2 street, 86123, Makeyevka, Ukraine.

E-mail: riv_2005@mail.ru

2 – SLR "Resurs- Engineering"

E-mail: v96535@mail.ru

Received 1 April 2008; accepted 19 April 2008

Abstract. The main questions of increasing the efficiency of vertical cylindrical tanks, by means of applying covers in the form of sagging membrane casings have been considered in the article. The application of such constructive decisions provides the mass reducing comparing with traditional decisions in the form of cupola coverings. A high deformation of membrane coverings concerns its fault. The essential load for membrane coverings working in the composition is the pressure redundant of tanks. For prevent possibility of the phenomenon so called inverse exhaust to apply measures of stabilization of the covering construction. It is proposed to use the reinforced concrete as a stabilized device. The mass of reinforced concrete element is selected out of compensation condition of the redundant pressure. The method of determination the optimum thickness of membrane casing has been proposed. Principles of non-linear mathematical programming, are used based on the penal functions method. The optimisational problem solution with using has been fulfilled the polyhedrondeorming method. For standard tanks with volume of 10...50 thousand cubic meters (according to diameter of 28,5...60,7meters) optimum parameters of membrane coverings have been determined. With the covering mass including additional loads from the stabizing element has been determined. Adducing the economical efficiency of proposed version of stabilized membrane covering in comparison with the standard decision.

Keywords: vertical cylindrical tank, membrane covering, stabilization, optimum projecting.

Введение

Несмотря на то, что еще в 2001 г. Кабинет Министров Украины утвердил показатели Национальной программы "Нефть и газ Украины до 2010 года", в соответствии с которыми плани-

руется значительный рост добычи нефти на территории Украины, большая часть нефти экспортируется из России и Казахстана. Во всем мире наблюдается тенденция увеличения числа и размеров резервуарных конструкций

[10-12]. Это связано с тем, что Европейский Союз требует от своих стран-членов наличие резерва жидкого топлива, соответствующего девяностодневной потребности страны. Чем больше емкость резервуара, тем меньше удельный расход стали на 1 м^3 содержимого жидкого топлива.

Поэтому задачи, связанные с совершенствованием конструкции резервуаров, уменьшением массы их элементов, в частности, покрытий являются актуальными.

Широкое распространение получили типовые вертикальные цилиндрические резервуары (ВЦР) как наиболее простые при изготовлении и монтаже [1, 3-6].

В 1994 году в Украине был принят нормативный документ ВБН В.2.2-58.2-94 [1], который, для повышения надежности, регламентирует более жесткие коэффициенты условий работ стенок, что приводит к увеличению их толщины.. Это приводит к увеличению массы конструкций ВЦР по сравнению с типовыми решениями. При этом, масса покрытия резервуара является существенной величиной по отношению к общей массе металлоконструкций и склонна к увеличению с ростом объема резервуара. Так, для резервуара объемом 10 тыс. м³ она составляет 19...22% общей массы конструкции, для резервуара объемом 20 тыс. м³ - 20...23%, для резервуара объемом 30 тыс. м³ - 23...27%.

В данной работе предлагается применить покрытия, конструкция которых позволяет снизить: расход стали, стоимость конструкций,

трудоемкость изготовления и монтажа. Этим требованиям успешно удовлетворяют пространственные металлические конструкции в виде провисающих мембранных оболочек [7, 8].

Целью данной работы является совершенствование конструкций вертикальных цилиндрических резервуаров путем применения покрытий в виде провисающих мембранных оболочек, стабилизированных от действия избыточного давления.

Основная часть

1. Конструктивные особенности покрытия

Наибольшее распространение получили наземные вертикальные цилиндрические резервуары. Они наиболее экономичны, позволяют уменьшить капитальные затраты на 20-30 % и снизить расход металла на 10-20 % (по данным ЦНИИ Проектстальконструкция) [3]. Типовым решением является ВЦР со сферическим покрытием (рис. 1). Такие покрытия являются достаточно металлоемкими.

С целью снижения массы покрытия предлагается применить мембранные оболочки провисающего типа для широко применяемых типовых ВЦР объемом 10000м³, 20000м³, 30000м³, 50000м³. Соответственно диаметры перечисленных резервуаров составляют: 28,5м, 39,9м, 45,6м, 60,7м.

При наполнении резервуаров образуется избыточное давление в паровоздушной зоне

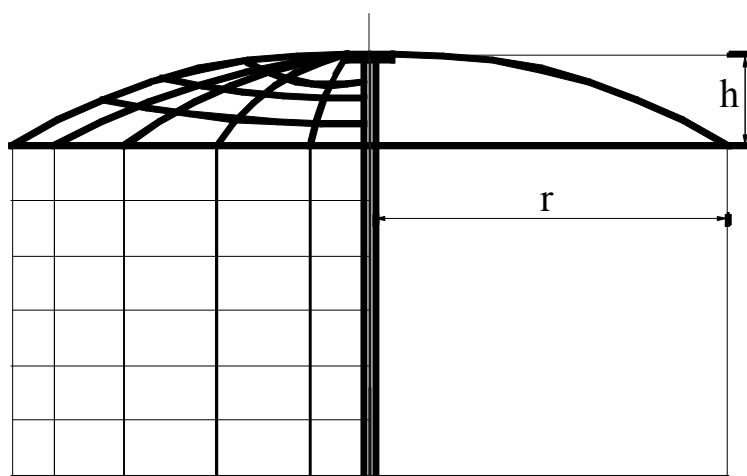


Рис. 1. Типовое решение ВЦР со сферическим покрытием.

(до 2 кПа), а при опорожнении – вакуум (до 0,25 кПа) [1]. Мембранная оболочка (рис. 2) размещается на направляющих радиальных и кольцевых элементах "постели". В состав покрытий входят наружный и внутренний опорные контуры.

Мембранные покрытия представляют собой пространственную конструкцию из тонкого листа, закрепленного на металлическом контуре, роль которого в резервуаре выполняет кольцо жесткости.

Перспективность применения мембранных конструкций обусловлена [7]:

- совмещением в мембранном покрытии несущих и ограждающих функций;
- снижением расхода материала за счет рационального использования несущей способности тонкого стального листа, работающего на растяжение, и опорного контура, работающего на косоое внецентренное сжатие с малыми эксцентриситетами;
- снижением нагрузки, передаваемой с покрытия на стенку резервуара;
- индустриальностью изготовления и возможность переноса трудоемких основных процессов в заводские условия, где на специализированных линиях изготавливаются большегабаритные полотнища, доставляемые на строительную площадку в виде рулонов;
- относительной простотой монтажа, сокращением сроков строительства.

К недостаткам мембранных покрытий относится, прежде всего, их высокая деформативность, что требует стабилизации пролетной конструкции. Тем более это важно в связи с возможностью явления так называемого обратного выхлопа, обусловленного избыточным давлением паровоздушной смеси внутри ВЦР [14].

В качестве стабилизирующего устройства предлагается использовать бетонный пригруз. Его масса должна компенсировать величину избыточного давления. Применение бетонного пригруза приводит к увеличению нагрузки на покрытие.

На покрытие действуют нагрузки, обусловленные собственным весом металлоконструкций покрытия и утеплителя (в случае его применения), от технологического оборудования, снега, вакуума, пригруза. Мембранные покрытия, работающее в составе ВЦР, были

рассчитаны для трех снеговых районов [2,9]. С учетом перечисленных нагрузок и снеговых районов в данной работе рассмотрены три значения суммарных нагрузок, действующих на покрытие сверху вниз: 3,44 кН/м²; 3,73 кН/м²; 4,16 кН/м².

2. Методика оптимизации параметров покрытия

Приближенная методика расчета мембранных провисающих оболочек основана на безмоментной теории пологих оболочек с учетом геометрической нелинейности и податливости опорных колец [7, 19].

Задачу оптимизации можно сформулировать в терминах математического программирования как определение оптимальных параметров x_i^* , при которых целевая функция (x_i) достигает экстремального значения (минимума) в области допустимых значений, представленных в виде неравенств g_k

$$(x_i^*) \operatorname{argmin}\{(x_i) | g_k(x_i) \leq 0\} \quad i = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, m.$$

Для решения данной задачи использован аппарат нелинейного математического программирования, основанный на методе штрафных функций, с использованием метода деформируемого многогранника, предложенного Нелдером и Мидом [13, 15-18].

Постановка задачи оптимизации включает в себя выбор варьируемых параметров, критерия оптимальности и ограничений. Установлено, что наибольшее влияние на технико-экономические показатели и напряженно-деформированное состояние покрытия оказывают толщина мембраны, стрела провиса, радиус внутреннего контура, размеры сечения наружного контура. Указанные параметры приняты за варьируемые параметры. Остальные параметры являются либо заданными, либо зависят от варьируемых параметров. К заданным параметрам относятся: генеральные размеры покрытия, шаг элементов "постели", физические характеристики конструктивных элементов, величина действующей на покрытие нагрузки. Зависимые параметры (площади сечения радиальных и кольцевых элементов "постели"; площадь сечения внутреннего опорного контура) определяются во время или после решения задачи оптимизации.

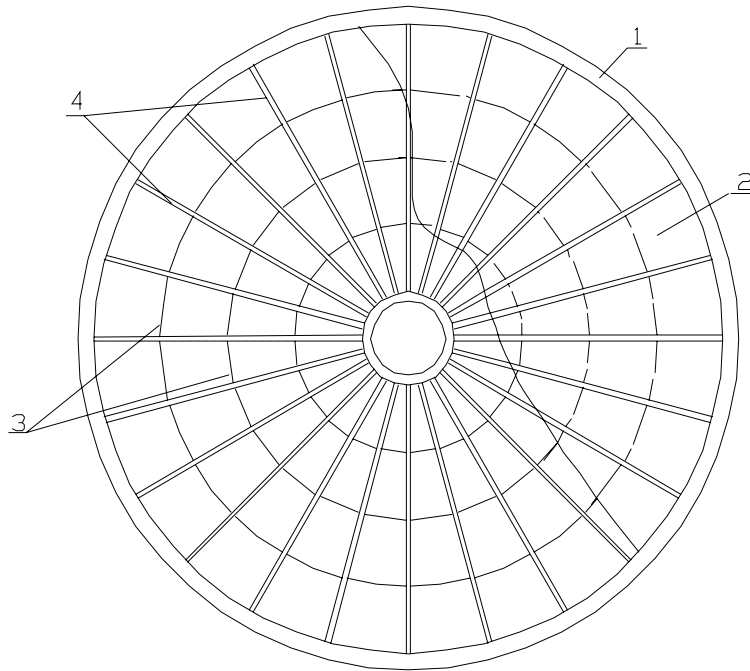


Рис. 2. Схема мембранного покрытия резервуара:
 1 - наружный опорный контур;
 2 - мембрана;
 3 - вспомогательные (кольцевые) элементы;
 4 - основные (радиальные) направляющие элементы.

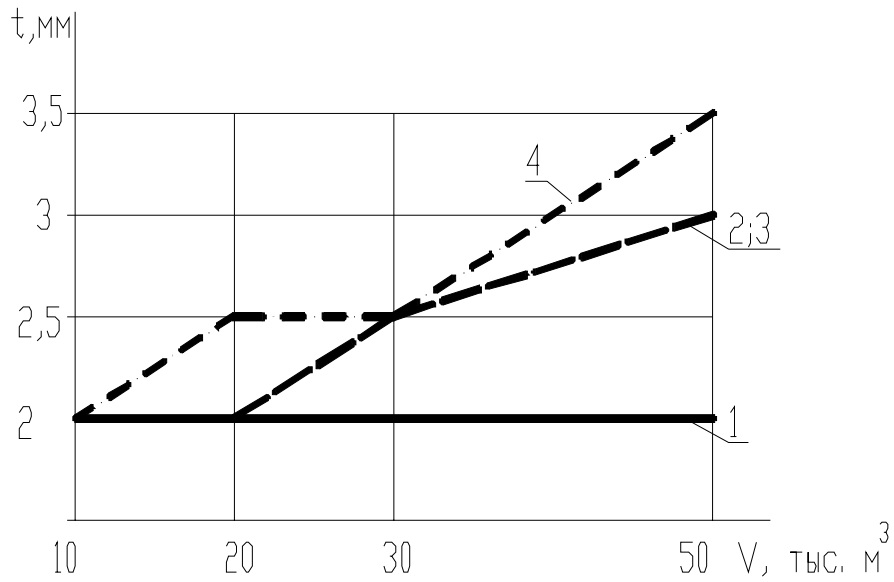


Рис. 3. Толщина мембранной оболочки:
 1 - без учета пригруза;
 2 - с учетом пригруза для нагрузки $3,44 \text{ кН/м}^2$;
 3 - с учетом пригруза для нагрузки $3,73 \text{ кН/м}^2$;
 4 - с учетом пригруза для нагрузки $4,16 \text{ кН/м}^2$.

Таблица. Масса конструкций резервуаров с различными типами покрытий для трех вариантов снеговой нагрузки.

Объем резервуара	Наименование элементов	ВЦР с купольным покрытием, т / %			ВЦР с провисающим мембранным покрытием, т / %		
		Вариант1	Вариант2	Вариант3	Вариант1	Вариант2	Вариант3
1	2	3	4	5	6	7	8
10000 м ³	Покрытие	39.95 100.0	39.95 100.0	40.32 100.0	20.41 51.1	20.41 51.1	21.12 52.3
	Стенка	110.4 100.0	113.6 100.0	117.9 100.0	113.8 103.1	116.9 102.9	119.1 101.0
	Прочие элементы	36.9 100.0			36.9 100.0		
	Итого	187.3 100.0	190.5 100.0	195.16 100.0	171.2 91.4	174.3 91.5	177.1 90.8
20000 м ³	Покрытие	82.6 100.0	83.3 100.0	91.5 100.0	42.1 50.9	43.5 52.2	49.8 54.4
	Стенка	197.6 100.0	208.0 100.0	215.4 100.0	212.9 107.8	220.4 105.9	220.4 102.3
	Прочие элементы	73.2 100.0			73.2 100.0		
	Итого	353.4 100.0	364.4 100.0	380.1 100.0	328.2 92.9	337.0 92.5	343.3 90.3
30000 м ³	Покрытие	127.0 100.0	130.6 100.0	132.1 100.0	63.3 49.8	65.1 49.8	67.7 51.3
	Стенка	257.4 100.0	267.5 100.0	270.0 100.0	268.1 104.2	276.8 100.4	278.2 100.6
	Прочие элементы	93.1 100.0			93.1 100.0		
	Итого	477.5 100.0	491.2 100.0	495.2 100.0	424.4 88.9	434.9 88.6	439.1 88.7

Другим важным компонентом оптимизационной задачи является выбор критерия оптимальности и формирование целевой функции, обеспечивающей количественное определение этого критерия. При решении поставленной задачи за критерий оптимальности принят расход металла на покрытие. Формирование целевой функции осуществляется алгоритмическим способом. Расход металла, не зависящий от варьируемых параметров, не учитывается.

Выбор оптимальной конструкции осуществляется из множества допустимых решений, удовлетворяющих заданным ограничениям (условиям прочности, устойчивости, деформативности, конструктивным требованиям и т.д.).

Решение задачи представляет собой итерационный процесс. На каждом шаге целенаправленно изменяются интересующие нас параметры, производится статический расчет и

определяются экономические параметры конструкции. Разработанная программа составлена в алгоритмических кодах языка Turbo Pascal 7.0. и реализована на IBM PC. Работа пользователя с программой ведется в диалоговом режиме.

3. Определение параметров мембранных покрытий

В результате численных расчетов были получены толщины мембранных оболочек (рис.3) для резервуаров объемом 10...50 тыс м³ для значений нагрузки 3,44...4,16 кН/м².

Применение таких оболочек позволяет уменьшить вес металлоконструкций покрытия на 45%...50%, по сравнению с типовым купольным покрытием. Данный экономический эффект достигается несмотря на то, что использование пригруза для стабилизации приводит

к увеличению нагрузки, а значит и толщины оболочки. Результаты сравнения вариантов ВЦР с различными типами покрытий приведены в таблице. Варианты приведены для характеристических значений снеговых нагрузок 50 кг/м^2 (вариант 1); 70 кг/м^2 (вариант 2); 100 кг/м^2 (вариант 3).

В таблице приведены данные для резервуаров $10...30 \text{ тыс м}^3$. Типовым решением для резервуара емкостью 50 тыс м^3 является плавающая крыша, для которой сравнение со стационарным мембранным покрытием является некорректным.

Заключение

Сочетание положительных качеств покрытий в виде провисающих мембранных оболочек обуславливает их эффективное применение для вертикальных цилиндрических резервуаров. По сравнению с типовыми решениями в виде купольных покрытий применение мембранных покрытий (даже с учетом дополнительных нагрузок от стабилизирующего бетонного пригруза) позволяет уменьшить суммарный расход стали: на конструкции резервуаров до $7...12\%$. Причем, больший экономический эффект достигается с увеличением объемов (диаметров) резервуаров.

Литература

- ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше $93,3 \text{ кПа}$. – Киев: Госкомнефтегаз, 1994.–98 с.
- ДБН В.1.-2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования/ Минстрой Украины. – Киев, 2006.– 60с.
- Мельников Н.П. Металлические конструкции.: Современное состояние и перспективы развития.– М.: Стройиздат, 1983.–541с.
- Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов /Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Веденников и др.; Под общ. ред. Е.И. Беленя. –6-е изд., перераб. И доп. – М.: Стройиздат, 1986. –560с.
- Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры. – М.: Недра, 1987. –200с.
- Лессиг Е.Н., Лилеев А.Ф., Соколов А.Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970. – 488с.
- Мембранные конструкции зданий и сооружений. Справ. пособие, ч. 1,2 / под общ. ред. В.И. Трофимова и П.Г. Еремеева. –М., Стройиздат, 1990
- Рекомендации по проектированию, возведению и эксплуатации покрытий мембранного типа / ОАО УкрНИИПроектстальконструкция. ДонГАСА. -К. -Макеевка, 1997–56с.
- Кінаш Р. І., Бурнаєв О. М. Снігове навантаження в Україні. Монографія.–Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 1997.–848 с.
- Землянский А.А. Повышение эксплуатационной надежности нефтеналивных резервуаров // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2004. №9. С. 4-7.
- Землянский А.А. Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров нового поколения. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005.– 324с.
- Муцанов В.Ф., Роменский И.В., Роменский Д.И. Проблемы совершенствования проектирования двустенчатых резервуаров. // Металлические конструкции. 2007. №1 Том 13. С.51-64.
- Муцанов В.Ф., Роменский И.В., Москаленко В.И. Оптимальное проектирование мембранных покрытий вертикальных цилиндрических резервуаров / Международная научно-практическая конференция "Новые решения конструкций, технологии сооружения и ремонта стальных резервуаров". 12-17 августа 2007г., Россия, г. Самара. –С.92-100.
- Е.В. Онисенко, Е.Ю. Степаненкова, И.В. Роменский. Особенности применения мембранных покрытий в вертикальных цилиндрических резервуарах. / Збірник тез доповідей і повідомлень четвертої міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів, студентів. Макіївка, ДонНАБА-2005.–С.39.
- Nelder J., Mead R. A simplex method for function minimization // Computer Journal. – 1965. – №7. p/308-313.
- Mushchanov V., Romensky I., The design experience of membrane roof structures in cis-countries / Proceeding of the Conference "Eurosteel-99". P.235-238.
- J.C. Virella, L.A. Goboy, L.E. Suarez Influence of the roof on the natural periods of empty steel tanks // Engineering Structures 25(2003). p. 877-887.
- Saka M, Daloglu A., M alhas F. Optimum spacing design of grillage systems using a genetic algorithm / Advances in Engineering Software 31(2000) p/ 863-873.
- M.C.M. Bakker, T. Pekoz The finite element method for thin-walled members-basic principles // Thin-Walled Structures 41(2003). p. 179-189.

Роменський Ігор Вікторович є доцентом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: удосконалення методів розрахунку та проектування просторових металевих конструкцій.

Русакова Євгенія Володимирівна є співробітником ТОВ "Ресурс-Інжиніринг". Наукові інтереси: розрахунок, проектування і технічна діагностика металевих конструкцій.

Роменский Игорь Викторович является доцентом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: совершенствование методов расчета и проектирования пространственных металлических конструкций.

Русакова Евгения Владимировна является сотрудником ООО "Ресурс-Инжиниринг". Научные интересы: расчет, проектирование и техническая диагностика металлических конструкций.

Romensky Igor Viktorovich is an assistant professor of Metal Structures Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Constructions. His research interests include the perfection of calculation and designing methods of spatial metal structures.

Rusakova Evgeniya Vladimirovna is the worker of LTD. "Resource-Engineering". Scientific interests are calculation, design and technical diagnostics of metallic constructions.