

Представленные результаты испытания связевого блока из металлодеревянных ферм являются промежуточными. В настоящее время выполняется обработка результатов тензометрических исследований с целью определения напряженного состояния элементов металлодеревянных ферм, образующих связевой блок. Для оценки влияния длительно действующей нагрузки на напряженно-деформированное состояние ферм связевой блок оставлен под нагрузкой до затухания деформаций.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сельскохозяйственные здания и сооружения / Д.Н.Топчий [и др]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 480 с.
2. Тоболич, А. Фермы: что в перспективе? / А. Тоболич. – Заря. – 2011. 15 дек. – С. 1–3.
3. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1976. – 28 с.
4. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1980. – 40 с.
5. Долидзе, Д.Е. Испытания конструкций и сооружений / Д.Е. Долидзе. – М.: Высш. Школа, 1975. – 252 с.

Материал поступил в редакцию 20.03.12

ZHUK V.V., LASKEVICH I.G. Experimental study of metalloderevyannoy farm with a composite upper chord

The results of tests of short transverse bending load on the power of two svyazevogo metalloderevyannyh farms. It is established that the design meets the requirements of stiffness and there is scope for reducing consumption of wood and metal.

УДК 624.04

Уласевич В.П., Жданов Д.А.

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГИБКИХ ПОЛОГИХ АРОК ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Введение. В последнее десятилетие в зарубежной и отечественной практике проектирования объектов строительства значительно возрос интерес к строительству бескаркасных арочных зданий, изготавливаемых из сверхтонких оцинкованных стальных листов ($t=0,6\div 1,6$ мм) путем получения прямолинейного холодногнутого профиля с последующей его гибкой методом гофрирования до криволинейного стержня заданной кривизны. Производство помянутых выше криволинейных стержней и технология их сборки в бескаркасную конструктивную форму было организовано в Чикаго (США) в 50-х годах компанией Питера Педерсена по выкупленному им патенту. В коммерческом секторе продукция компании под названием «Удивительное Сооружение» («Wonder Building, WB») после внесения многочисленных усовершенствований получила мировое признание. Каталог продукции компании был представлен такими постройками, как: склады, производственные цеха, ледовые катки, универсамы и другие торговые точки, рестораны, мойки автомобилей, церкви и др. (рис. 1 из [1]).

на платформе которой были размещены две линии: панелеформирования и гибки методом гофрирования. Главное в том, что соединение арочных элементов между собой стало осуществляться посредством закатки специальных фальцевых швов при помощи электрической закаточной машинки без применения соединительных метизов.

В начале 80-х годов компания MIC Industries выкупила у Knudson все патенты и право на изготовление установок K-Span, продукция которой в последующем была по достоинству оценена сначала военными США, а потом и гражданские строители оценили все преимущества данной технологии.

В России, в Украине и в других странах СНГ технология бескаркасного арочного строительства стала известна в годы перестройки через закупленные у американских компаний установки, но сценарий внедрения технологий бескаркасного арочного строительства повторился с американским – сначала бескаркасные здания также начали возводить военные строители. Существенной проблемой для быстрого продвижения технологий изготовления и монтажа бескаркасных арочных зданий на гражданский строительный рынок была высокая стоимость оборудования.

В настоящее время на строительном рынке стран СНГ ситуация изменилась в лучшую сторону благодаря тому, что российскими предприятиями было подготовлено отечественное оборудование типа K-Span. В первую очередь, здесь следует назвать компанию «Ажур-сталь» Челябинского машиностроительного холдинга, подготовившую строительный комплекс «Сфера» (рис. 2а), а также фирму «Радуга-кровля», подготовившую оборудование «Радуга-МВС» [2] (рис. 2б). Благодаря вышеназванному оборудованию появилась возможность возводить сооружения гражданского и военного предназначения с существенной экономией всех возможных затрат. В настоящее время из объектов гражданского строительства к ним можно отнести торговые центры, надстраиваемые мансарды, производственные помещения, просторные спортивные залы и выставочные комплексы, оранжевые и курортные павильоны, всевозможные декоративные архитектурные элементы, станции технического обслуживания, гаражи, крытые парковки, современные офисные помещения, склады для сельскохозяйственных нужд и многое, многое другое.



Рис. 1. Фрагмент из рекламной информации о бескаркасных сооружениях, возводимых по технологии «WB»

В 70-х годах прошлого века технология WB была выкуплена компанией Knudson, которая внесла целый ряд оригинальных запатентованных инженерных решений, что, в конечном итоге, привело к созданию мобильной установки, получившей название K-Span,

Уласевич Вячеслав Прокофьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Жданов Дмитрий Александрович, магистрант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура



а) оборудование «Сфера» Челябинского холдинга; б) оборудование типа «Радуга-МБС»

Рис. 2. Оборудование для изготовления арок из стальных листов методом гофрирования

В России, Республике Беларусь и других странах СНГ, а также в странах Прибалтики при изготовлении изделий по технологии бескаркасных арочных зданий наибольшее применение нашел П-образный поперечный профиль, представленный на рисунке 3.

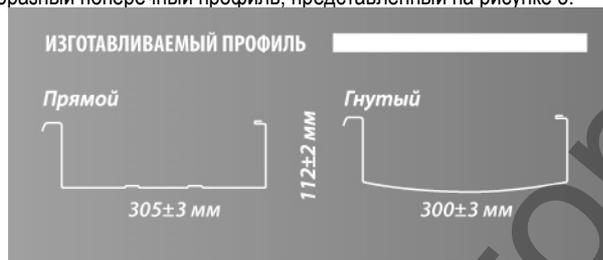


Рис. 3. Профиль криволинейного стержня, изготовленного методом гофрирования

Фрагменты из технологии монтажа бескаркасного арочного здания представлены на рис. 4.



Рис. 4. Фрагменты монтажа арочного здания, возводимого по бескаркасной технологии

Постановка задач исследований. При разработке конструктивных схем из стальных тонкостенных гнутых профилей и оценке их напряженно-деформированного состояния (НДС) важную роль играет правильно выбранная расчетная модель.

Это особенно актуально для конструктивных схем с повышенной деформативностью, расчетные модели которых требуют учета деформированной геометрии равновесия. В отечественной научной литературе эти методы излагаются как методы расчета по деформированному состоянию; в нормативном документе ТКП EN 1990 [3] – как «теория, учитывающая эффекты второго порядка». Согласно ТКП EN 1993-1-1 [4], внутренние силы и моменты в расчетных моделях должны определяться с учетом эффектов деформированной геометрии конструкций, так как только в этом случае расчетная модель по своей статической работе предельно близко соответствует конструктивной схеме. Анализ расчетной модели может выполняться без учета деформированной геометрии конструкции (теория первого порядка), если изменением соответствующих внутренних сил или моментов или любыми другим изменениями в работе конструкции, вызываемыми деформациями, можно пренебречь. Согласно [4] это условие считается выполненным, если при анализе расчетной модели в упругой стадии соблюдается следующий критерий:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10, \quad (1)$$

где α_{cr} – коэффициент увеличения расчетной нагрузки, при котором будет достигнуто неустойчивое состояние в упругой стадии при статическом расчете;

F_{Ed} – расчетная нагрузка на конструкцию;

F_{cr} – критическая нагрузка при потере общей устойчивости в упругой стадии, определенная на основе начальных упругих жесткостей.

Анализ критерия (1) применительно к расчету арок указывает на следующие задачи и необходимость поиска их решения:

- для обоснования расчета крутых арок из гофрированных стержней по теории первого порядка необходимо иметь методику определения величины критической силы F_{cr} , в противном случае необходимо либо решить задачу разработки такой методики, либо для анализа расчетной модели отказаться от использования теории первого порядка;

- чем жестче арка, тем вероятнее, что для анализа ее расчетной модели теория первого порядка может оказаться достаточно приемлемой, поэтому оценка жесткостных параметров арок, изготовленных по технологии холодного гофрирования, представляет научный интерес;
- для доказательства возможности проектирования пологих арочных конструкций из гофрированных стержней с отношением стрелы подъема к пролету $f/l \leq (1/8 \div 1/15)$ актуально выполнить исследование их НДС с учетом влияния изменений геометрии в процессе деформирования, так как это может породить существенную геометрическую нелинейность ее расчетной модели.

Из сказанного можно сделать вывод – исследование особенностей оценки НДС гибких арок из сверхтонких криволинейных гофрированных стержней по теориям первого и второго порядка является актуальной как в теоретическом, так и в практическом плане.

Основы теории деформационного расчета пологих распорных систем в упругой стадии работы материала изложены в [5], главное достоинство ее разрешающих уравнений – возможность получить решение для произвольных схем нагрузок с аналитической точностью для принятых допущений и предпосылок. Точность алгоритма расчета гибких пологих арок по деформированной схеме, реализованного в разработанной нами компьютерной программе DrarCAD, оценена в [6]. Учитывая сказанное, в данной статье предпринята попытка решить поставленные выше задачи путем выполнения теоретических исследований, в которых программа DrarCAD выполняет функции виртуального инструмента исследования.

Кроме того, решение вышеназванных задач ставит своей целью показать, в какой мере и почему проблема расчета по деформированной схеме пологих гибких арочных конструкций покрытий, изготовленных из стальных тонкостенных гнутых гофрированных стержней методом холодного деформирования, актуальна как в теоретическом, так и в практическом аспекте.

Оценка НДС пологих арок из криволинейных гофрированных стержней. Для определения особенностей работы арочных конструкций, выполненных из стальных тонкостенных гнутых профилей, исследуем НДС арочного покрытия, несущая часть которого составлена из криволинейных П-образных стержней, изготовленных методом холодного гофрирования (рис. 3), поперечный профиль которого на 1 м ширины представлен на рис. 5.

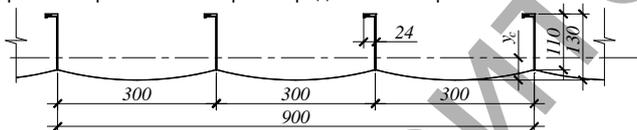


Рис. 5. Поперечное сечение арочного покрытия из холодного гофрированного профиля

Приняты следующие характеристики арки (рис. 6): пролет арки $l = 12\text{ м}$; стрела подъема $f = 1,7\text{ м}$ (отношение стрелы к пролету $f/l = 1/7$); отметка низа $H = 5\text{ м}$; материал – гнутый профиль из оцинкованной листовой стали, изогнутый по заданной кривизне методом гофрирования толщиной $t_f = 0,8\text{ мм}$.

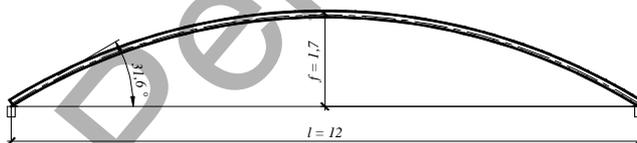


Рис. 6. Конструктивная схема арки из криволинейных гофрированных стержней

Конструктивная схема нагружена следующими расчетными воздействиями:

- Постоянное воздействие.** Равномерно распределенная нагрузка $g_0 = 0,56\text{ кН/м}^2$;
- Снеговое воздействие.** Снеговые нагрузки на арочное покрытие для постоянных (переходных) расчетных ситуаций следует определять по формуле [7]:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$

Схема снеговой нагрузки для арочных покрытий представлена на рис. 7.

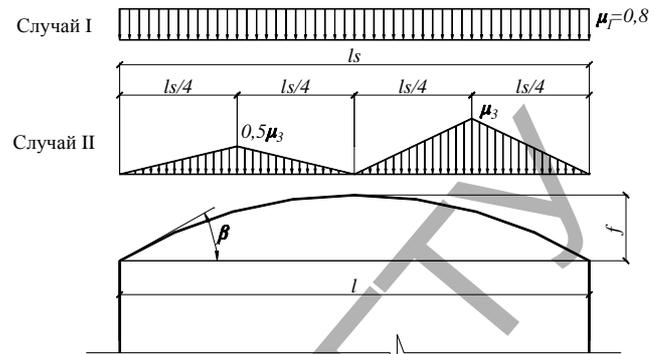


Рис. 7. Схема снеговой нагрузки на арочное покрытие

Снеговая нагрузка по случаю I: $\mu = 0,8$;
 $S_I = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 0,96\text{ кН/м}^2$.

Снеговая нагрузка по случаю II:

- правая часть: $\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot h/b = 1,62$;

$$S = 1,62 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 1,93\text{ кН/м}^2$$

- левая часть: $0,5\mu_3 = 0,81$;

$$S = 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 0,97\text{ кН/м}^2$$

в) **Ветровое воздействие.** Базовое значение скорости ветра $V_b = 24\text{ м/с}$ [8].

$$\text{Базовая высота } z_e = H + f = 5 + 1,7 = 6,7\text{ м/с}$$

Средняя скорость ветра

$$V_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_o(z_e) \cdot v_b = 0,93 \cdot 1 \cdot 24 = 22,32\text{ м/с}$$

где $c_o(z_e) = 1,0$ – орографический коэффициент.

Коэффициент $c_r(z_e)$, учитывающий тип местности, вычисляем по формуле:

$$c_r(z_e) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{6,7}{0,05}\right) = 0,93$$

где k_r – коэффициент местности, для типа местности II принимаем $k_r = 0,19$;

$z_0 = 0,05$ – параметр шероховатости (тип местности II).

Интенсивность турбулентности:

$$I_v(z_e) = \left(\frac{\sigma_v}{V_m(z_e)}\right) = \frac{4,56}{22,32} = 0,2$$

где $\sigma_v = k_r \cdot V_b \cdot k_i = 0,19 \cdot 24 \cdot 1 = 4,56$,

где $k_i = 1$ – коэффициент турбулентности.

Пиковое значение скоростного напора:

$$q_p(z_e) = \left[1 + 7I_v(z_e)\right] \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2 = \left[1 + 7 \cdot 0,2\right] \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,32^2 = 0,747\text{ кПа}$$

Аэродинамические коэффициенты внешнего давления в зонах А, В, С (см. рис. 8):

$$c_{pe,10}^A = -0,96; c_{pe,10}^B = -0,83; c_{pe,10}^C = -0,4$$

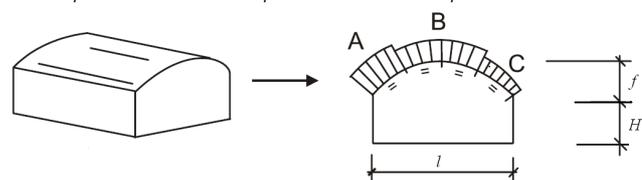


Рис. 8. Схема ветровой нагрузки на арочное покрытие

Таблица 1. Расчетные сочетания воздействий

Сочетания	Расчетные значения воздействий				
	Постоянное	Снеговое (случай I)	Снеговое (случай II)	Ветровое слева	Ветровое справа
1	$\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$	$\gamma_{Q, S} Q_{k, SI}$			
2	$\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$		$\gamma_{Q, S} Q_{k, SII}$		
3	$\gamma_{G_i, inf} G_{k_i, inf}$			$\gamma_{Q, w} Q_{k, w}$	
4	$\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$	$\gamma_{Q, S} Q_{k, SI}$		$\gamma_{Q, w} \psi_0 Q_{k, w}$	
5	$\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$		$\gamma_{Q, S} Q_{k, SII}$	$\gamma_{Q, w} \psi_0 Q_{k, w}$	
6	$\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$		$\gamma_{Q, S} Q_{k, SII}$		$\gamma_{Q, w} \psi_0 Q_{k, w}$

Примечание: $\gamma_{G_i, sup} = 1,10$; $\gamma_{G_i, inf} = 0,90$; $\gamma_Q = 1,50$; $\psi_0 = 0,6$ – для ветрового воздействия

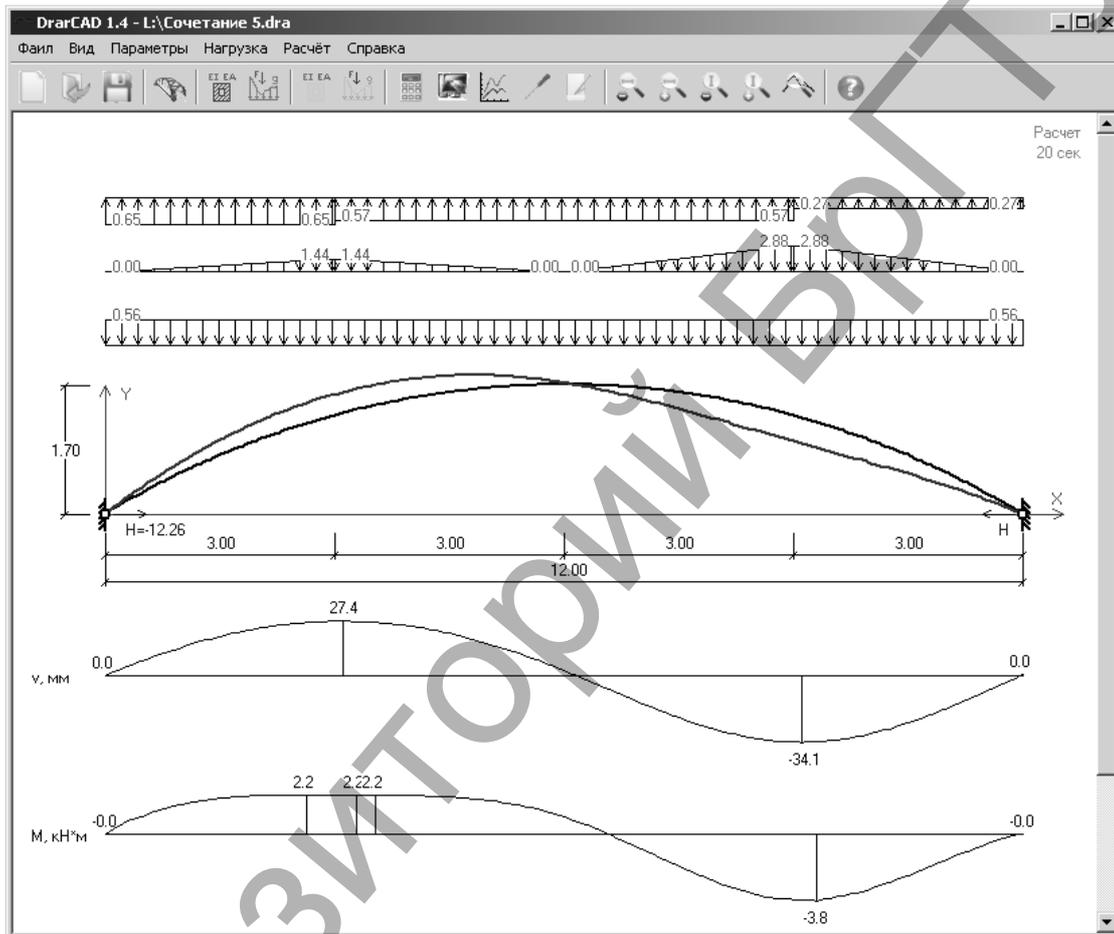


Рис. 9. Расчетные усилия в арке при $f/l = 1/17$ (сочетание нагрузок № 5)

Внешнее ветровое давление на арочное покрытие:

$$w_e^A = q_p \cdot c_{pe,10}^A = 0,747 \cdot (-0,96) = -0,717 \text{ кПа};$$

$$w_e^B = q_p \cdot c_{pe,10}^B = 0,747 \cdot (-0,83) = -0,620 \text{ кПа};$$

$$w_e^C = q_p \cdot c_{pe,10}^C = 0,747 \cdot (-0,4) = -0,299 \text{ кПа}.$$

г) Сочетания воздействий. Воздействия на конструкцию прикладываются в сочетаниях при постоянных и временных расчетных ситуациях:

$$E_d = E\{\gamma_{G_j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\}.$$

Сочетания воздействий, принятые при анализе расчетных моделей арки из криволинейных холоднотянутых гофрированных стержней, представлены в таблице 1.

Деформационный расчет выполним в авторской программе DrarCAD, линейный – в ПК Lira 9.6. Результаты расчета для арки с $f/l = 1/17$ приведены на рис. 9 и в таблице 2.

Аналогично определены НДС арочных конструкций пологостью $f/l = 1/10$ (таблица 3) и $f/l = 1/15$ (таблица 4).

При анализе результатов, изложенных в таблицах 2, 3 и 4, необходимо иметь в виду, что напряжения, вычисленные по усилиям деформационного (DrarCAD) и линейного (Lira 9.6) расчетов приведены в вышеназванных таблицах с целью облегчить сравнительную их оценку. При оценке несущей способности арки по теории первого порядка (линейный расчет) необходим ее расчет на устойчивость по теории первого или второго рода, и учет критерия (1). Показано, что при оценке несущей способности арки по теории второго порядка в упругой стадии (деформационный расчет) предельное состояние общей устойчивости арки может быть оценено путем сравнительной оценки вычисленных максимальных величин прогибов (перемещений) с предельными, указанными в соответствующих СНиП и ТКП EN.

Заключение. Доказано, что с точки зрения экономической целесообразности линейный расчет с учетом критерия (1) неприемлем для пологих арок, характеризующихся повышенной деформативностью, так как их НДС существенно зависит от изменений геометрического очертания пролетной части в процессе ее деформирования

Таблица 2. Результаты расчета арки при $f/l = 1/7$

Сочетание	Деформационный расчет (DrarCAD)				Линейный расчет (Lira 9.6)				Различие в напряжениях	Различие в перемещениях
	Усилия в опасном сечении		Напряжения	Перемещения	Усилия в опасном сечении		Напряжения	Перемещения		
	N_{\max} , кН	M_{\max} , кНм	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , мм	N_{\max} , кН	M_{\max} , кНм	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , мм		
1	23,17	0,52	43,40	4,92	23,98	0,34	37,53	4,13	15,65%	19,13%
2	18,57	3,14	136,32	17,96	18	2,95	128,65	27,21	5,97%	51,50%
3	4,35	1,03	42,91	7,89	4,82	1,07	44,89	8,62	4,61%	9,25%
4	16,32	0,76	45,25	6,37	16,65	0,6	39,63	5,81	14,19%	9,64%
5	12,72	3,79	154,49	34,13	12,91	3,5	143,88	32,09	7,38%	6,36%
6	12,48	2,73	114,72	23,07	12,99	2,62	111,15	22,26	3,21%	3,64%

Таблица 3. Результаты расчета арки при $f/l = 1/10$

Сочетание	Деформационный расчет (DrarCAD)				Линейный расчет (Lira 9.6)				Различие в напряжениях	Различие в перемещениях
	Усилия в опасном сечении		Напряжения	Перемещения	Усилия в опасном сечении		Напряжения	Перемещения		
	N_{\max} , кН	M_{\max} , кНм	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , мм	N_{\max} , кН	M_{\max} , кНм	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , мм		
1	31,39	0,52	51,92	6,82	30,25	0,17	37,69	4,68	37,76%	45,73%
2	21,52	2,41	112,16	14,38	22,07	2,1	101,17	20,8	10,86%	44,65%
3	5,46	0,96	41,45	7,58	5,88	0,97	42,26	8,29	1,95%	9,37%
4	22,99	0,84	55,14	8,05	23,31	0,52	43,54	6,76	26,64%	19,08%
5	13,77	3,03	127,24	28,06	13,85	2,73	116,14	25,16	9,56%	11,53%
6	13,63	1,96	87,20	16,62	13,73	1,71	77,99	15,49	11,82%	7,30%

Таблица 4. Результаты расчета арки при $f/l = 1/15$

Сочетание	Деформационный расчет (DrarCAD)				Линейный расчет (Lira 9.6)				Различие в напряжениях	Различие в перемещениях
	Усилия в опасном сечении		Напряжения	Перемещения	Усилия в опасном сечении		Напряжения	Перемещения		
	N_{\max} , кН	M_{\max} , кНм	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , мм	N_{\max} , кН	M_{\max} , кНм	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , мм		
1	46,59	0,67	73,26	11,55	45,03	0,19	53,75	8,41	36,31%	37,34%
2	26,72	2,05	104,12	21,24	26,73	1,66	89,59	16,8	16,22%	26,43%
3	7,27	0,64	31,40	5,62	8,07	0,53	28,12	5,31	11,64%	5,84%
4	34,53	0,74	63,37	10,14	34,37	0,32	47,55	7,41	33,28%	36,84%
5	10,52	2,08	88,46	19,17	15,42	1,89	86,45	18,08	2,32%	6,03%
6	10,41	1,39	62,61	11,84	15,7	1,41	68,84	12,62	9,95%	6,59%

под возмущающими воздействиями. В то же время теория первого порядка может быть применена для расчета крутых арок, а необходимость обеспечить их общую устойчивость может быть решена путем расчета, построенного на определении критической расчетной нагрузки или критической продольной силы в ней. Инженерная методика такого расчета содержится в [6]. Однако проверка арки на общую устойчивость, построенная на инженерной теории устойчивости, не лишена недостатков, так как она не выявляет ее критическое состояние в случае воздействия по длине пролета сложных схем расчетных комбинаций нагрузок. Кроме того, она не может оценить все возникающие в процессе эксплуатации предельные состояния второй группы, связанные с вертикальными прогибами.

Результаты анализа НДС расчетных моделей пологих арок, представленные в таблицах 2-4, позволяют сделать вывод: учет эффектов второго порядка в упругой стадии позволяет оценить надежность их проектного решения по предельному состоянию эксплуатационной пригодности, если предельный прогиб не превышает допустимого нормами, а нормальные напряжения, вычисленные в упругой стадии, ниже расчетных сопротивлений материала. При этом оценка НДС пологих арок по теории первого порядка на начальной стадии проектирования также полезна, так как позволяет принять исходные значения геометрических характеристик сечения.

Показано, что НДС пологих арок, изготовленных из сверхтонких холодногнуто криволинейных стержней методом гофрирования, следует оценивать по результатам расчета нелинейных моделей, так как только в этом случае оценка всех предельных состояний, обеспечи-

вающих ее несущую способность (в первую очередь, прочность, общую устойчивость, эксплуатационную пригодность), наиболее полно удовлетворяет условиям требуемой надежности и экономичности.

Исследования НДС арочных конструкций из гнутых профилей в виде криволинейных гофрированных стержней оказались возможными благодаря наличию программы деформационного расчета пологих распорных систем DrarCAD [6], алгоритм расчета которой обладает аналитической точностью ее решений. Примерами расчета доказана целесообразность использования программы DrarCAD как в качестве инструмента для выполнения численных исследований гибких пологих арочных систем, так и для анализа расчетных моделей пологих арок при разработке проектных решений арочных систем в покрытиях зданий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оборудование для бескаркасного арочного строительства «СФЕРА» компании «Ажурсталь». – Режим доступа: <http://www.azhurstal.ru>. – Дата доступа: 10.11.2011.
2. Строительство бескаркасных арочных сооружений на оборудовании «Радуга МБС». – Режим доступа: <http://www.raduga-mbc.narod.ru/blank02.htm>. – Дата доступа: 21.11.2011.
3. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: ТКП EN 1990 (EN 1990: 2002, IDT). – Введ. 18.07.2007, № 38. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2007. – 64 с.

4. Проектирование стальных конструкций. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1 (EN 1993-1-1: 2005, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 93 с.
5. Уласевич, В.П. Деформационный расчет и исследование напряженно-деформированных состояний пологих однопопых распорных систем: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 01.02.03 / В.П. Уласевич; ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1984. – 24 с.
6. Уласевич, В.П. К оценке влияния геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние пологих арок / В.П. Уласевич, Д.А Жданов / Вестник БрГТУ. – 2011. № 1(67): Строительство и архитектура. – С. 78–89.
7. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП EN 1991-1-3 (EN 1991-1-3: 2003, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 48 с.
8. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4 (EN 1991-1-4: 2005, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 127 с.
9. Проектирование стальных конструкций. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов: ТКП EN 1993-1-3 (EN 1993-1-3: 2006, IDT). – Введ. 10.12.2009, № 404. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 122 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.12

ULASEVITCH V.P., ZHDANOV D.A. The stress-strain state of elastic shallow arches made from thin-walled cold-formed corrugated steel sections

The effectiveness of arched structures made from thin-walled (0.6-1.2mm) cold-formed corrugated steel sections has been shown.

Both the deformation-based analysis method and the authors' DrarCAD computer programme have proved to be effective as a tool for analyzing the stress-strain state of the arches in question to provide the best design solutions for arched structures in terms of economical efficiency and design reliability.

УДК 691.327.002

Уласевич В.П., Якубовская О.А., Уласевич З.Н.

РОЛЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ ДОБАВКОЙ STG-3 В ПРОЦЕССАХ УСКОРЕНИЯ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Введение. Использование традиционных ускорителей твердения бетона (хлориды, сульфаты, нитраты, нитриты, карбонаты, формиаты и др.) позволяет существенно снизить энерго- и материалоемкость производства, однако при этом технологический процесс получения бетона может сопровождаться неблагоприятным их воздействием на такие важные характеристики бетона, как марочная прочность, эксплуатационная надежность и долговечность. Поэтому имеет несомненное научное и практическое значение разработка новых эффективных ускорителей твердения бетона, которые интенсифицируют гидратацию клинкерных минералов, а также улучшают и упрочняют структуру цементного камня и бетона, повышают его защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

В последние 20–30 лет был предложен ряд ускорителей твердения, в составе которых содержатся органические ПАВ (фильтрат цитратный, отходы производства капролактама, различные производные лигносульфонатов, пластификатор адипинат натрия, соли карбоновых и оксикарбоновых кислот, аминокислоты, аминоспирты, имидазолины, производные акрилонитрилов и эпоксилов, ароматические аминосульфаты а также их сочетания с другими органическими и неорганическими соединениями).

Механизм действия таких добавок изучен недостаточно и требует дальнейших детальных исследований в этой области. В таблице 1 приведены предполагаемые механизмы действия органических ускорителей твердения, освещенные в научных публикациях отечественных и зарубежных исследователей.

Отметим в их числе разработанную нами совместно с НИИЖБ жидкую химическую добавку для бетонов РС (регенерационный сток сахарорафинадных производств) и ее модификации РСУ [7], органические ПАВ которой представляют собой продукты щелочного распада инвертного сахара и карамелизации, принадлежащие к классу гуминовых веществ, а также меланоидины (вещества, схожие по своей природе с гуминовыми веществами), и небольшое количество регенерационного раствора (10% NaOH+0.2% NaCl). Особенность добавок РСУ – способность образовывать с водой затвердения истинный раствор, а также относительно малый ее расход – (0,2–0,5)% от массы цемента [7].

На наш взгляд, фундаментальные исследования последних десятилетий позволяют предположить, что эффективность действия многих из перечисленных выше добавок в большей степени связана с модифицированием воды затвердения для бетона.

В связи с этим особую актуальность в настоящее время представляют исследования механизма действия химических добавок с позиции их влияния на структуру и свойства воды затвердения, а также особенностей механизма их действия при низких дозировках.

Структура и свойства воды. Как правило, наибольший интерес в технологии бетона представляют пути повышения эффективности использования вяжущих материалов. Тем не менее, следует отметить, что на процессы формирования структуры бетона на ранней стадии твердения большое влияние оказывают кристаллохимические свойства воды. Именно вода инициирует и во многом определяет характер процессов растворения, гидратации и структурообразования, и сведения о ее строении и свойствах имеют исключительное теоретическое и практическое значение для науки о бетоне.

В последнее десятилетие были достигнуты значительные успехи в области изучения структуры воды и ее свойств, в том числе возможной динамики ее изменения в процессе молекулярного взаимодействия.

Следует подчеркнуть, что под термином «структура воды» часто понимают структуру самого мономера H₂O, что отражает чисто «химический» подход, тогда как наиболее важным для материаловедения является возможность описания и моделирования трехмерной структуры воды, т.е. пространственное расположение ее структурных элементов.

Среди большого числа существующих моделей, как наиболее общую, можно привести модель В.И. Яшквича [10], согласно которой структура воды рассматривается как «открытая» трехмерная сетка с изогнутыми, растянутыми и частично разорванными водородными связями. Коллективное движение молекул в такой сетке стремится сохранить их тетраэдрическую координацию и характеризуется способностью молекул воды образовывать кластеры – группы молекул (H₂O)_x.

Якубовская Ольга Александровна, кандидат технических наук, ассистент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Уласевич Зинаида Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.