

13. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для вузов / Ю.В. Сличкоухов [и др.]; под ред. Г.Г. Карлсена и Ю.В. Сличкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.
14. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США / Я.П. Горелик [и др.]; под ред. С.Н. Горшина. – М.: Лесн. пром – сть, 1979. – 544 с.
15. Шишкин, В.Е. Конструкции из дерева и пластических масс / В.Е. Шишкин. – М.: Стройиздат, 1966. – 331 с.
16. Informationsdienst Holz. Holzbau handbuch. Reihe 4. Teil 4. Folge 2.
17. Kotwica, J. Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym / J.Kotwica. – Warszawa: Arkady, 2004. – 357 s.

Материал поступил в редакцию 11.03.11

ZHUK V.V. Some national and foreign standards analysis results in calculating and designing joints of bolt and nail wooden constructions

This paper presents the results of comparative analysis in calculating wooden constructions joints based on pegs according to national and foreign standards.

УДК 624.014.2

Малиновский В.Н., Шалобыта Н.Н.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЛОГИМ ОТГИБОМ ЧАСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРЫ

Введение. Проводившиеся в странах СНГ и дальнего зарубежья экспериментальные исследования по использованию в качестве несущих конструкций железобетонных балок с переводом части продольной преднапряженной арматуры из нижней зоны, где она не требуется для обеспечения прочности нормальных сечений, в верхнюю на опорах свидетельствует об их целесообразности и экономической эффективности [3, 4, 8]. Вместе с тем, указывается на необходимость усовершенствования методики расчета прочности наклонных сечений балок с отогнутой арматурой основанной на учете, прежде всего, отличительных особенностей напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов, у которых часть преднапряженной рабочей арматуры отогнута в приопорных зонах под углом к продольной оси, по сравнению с балками с прямолинейной арматурой [4, 8].

На основании проведенных исследований особенностей напряженно-деформированного состояния балок с отогнутой преднапряженной арматурой при наличии и отсутствии традиционных ортогональных поперечных стержней авторами разработана в соответствии с принятыми в Республике Беларусь нормами [1] методика расчета [5, 6, 7] и составлен алгоритм расчета (рисунок 1) прочности наклонных сечений железобетонных элементов с полого отогнутой преднапряженной арматурой. В предполагаемой методике в отличие от расчета балок с прямолинейной арматурой учитывается влияние проявляемых при обжатии бетона наклонной арматуры величин главных деформаций и угол наклона их на одноименные параметры при разрушении балки от загрузки ее внешней нагрузкой.

Объект исследования. Из предложенной методики, изложенной в статье [7], следует, что вклад работы бетона в восприятие перерезывающей силы во многом определяется величиной главных растягивающих деформаций. Как показали результаты экспериментальных исследований [5, 6, 7], главные деформации растяжения ϵ_1 при загрузении в балках с отогнутой преднапряженной арматурой меньше по величине одноименных деформаций бетона для балок с прямолинейной арматурой. Очевидно, что на них оказывает влияние обжатие бетона отогнутой арматурой, и реальная величина ϵ_1 должна быть получена как разность деформаций от внешних нагрузок усилия обжатия бетона отогнутой арматурой ϵ_{1p} :

$$\epsilon_1 = \epsilon_{1F} - \epsilon_{1p} \quad (1)$$

В свою очередь величина главных относительных деформаций растяжения от внешней нагрузки ϵ_{1F} определяется из условий деформирования 7.112 [1] с использованием математического выражения для трансформированной диаграммы деформирования бето-

на при сжатии, в которых учитывается не угол наклона сжатого подкоса Θ (угол наклона диагональных трещин), а угол поворота главных площадок, величина которого складывается из величины угла наклона главных площадок при обжатии бетона β и угла наклона сжатого подкоса Θ .

$$\epsilon_{1F} = \epsilon_x + [\epsilon_x + 0.002 \times \times (1 - \sqrt{1 - \frac{T}{f_{cm}} \cdot (\tan(\theta + \beta) + \cot(\theta + \beta)) \cdot (0.8 + 170 \cdot \epsilon_1)})] \times \cot^2(\theta + \beta) \quad (2)$$

Кроме того, средние продольные деформации бетона ϵ_x , рассчитываемые на уровне центра тяжести растянутой продольной прямолинейной части напрягаемой арматуры, учитывают влияние предварительного обжатия бетона как прямолинейной, так и отогнутой частей арматуры, а также благоприятное влияние вертикальной составляющей предварительного обжатия бетона отогнутой под углом α арматурой на величину поперечной силы:

$$\epsilon_x = \frac{M_{sd}/d_z + 0.5(V_{sd} - P_{mt,inc} \cdot \sin \alpha) \cdot \cot \theta - P_{mt,inc} \cdot \cos \alpha - P_{mt,l}}{E_p(A_{pl} + A_{p,inc})} \quad (3)$$

где $P_{mt,l}$ – среднее значение усилий предварительного обжатия бетона прямолинейной арматурой с учетом всех потерь;

$P_{mt,inc}$ – то же отогнутой арматурой.

Деформации обжатия бетона отогнутой арматуры ϵ_{1p} в направлении главных растягивающих деформаций от совместного действия сил обжатия бетона и внешних сил ϵ_1 могут быть получены из условия упругой работы бетона

$$\epsilon_{1p} = \frac{P_{mt} \cdot \cos \gamma}{E_p \cdot A_{p,inc}} \quad (4)$$

где γ – угол между траекторией главных деформаций растяжения и траекторией отогнутой арматуры, равный: $\gamma = 90^\circ - \alpha - \theta$.

Процедура определения несущей способности наклонных сечений представлена на рисунке 1.

Предмет исследования. Апробация разработанной методики расчета проводилась на специально изготовленных и испытанных балках марок БПО-I и БПО-II, а также на ранее испытанных экспериментальных балках группы БО: марки БО, БОУ, БОм, БОн, БОт (таблица 1) [3]. Все балки, за исключением балок марки БОт, имели

Шалобыта Николай Николаевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

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

Строительство и архитектура

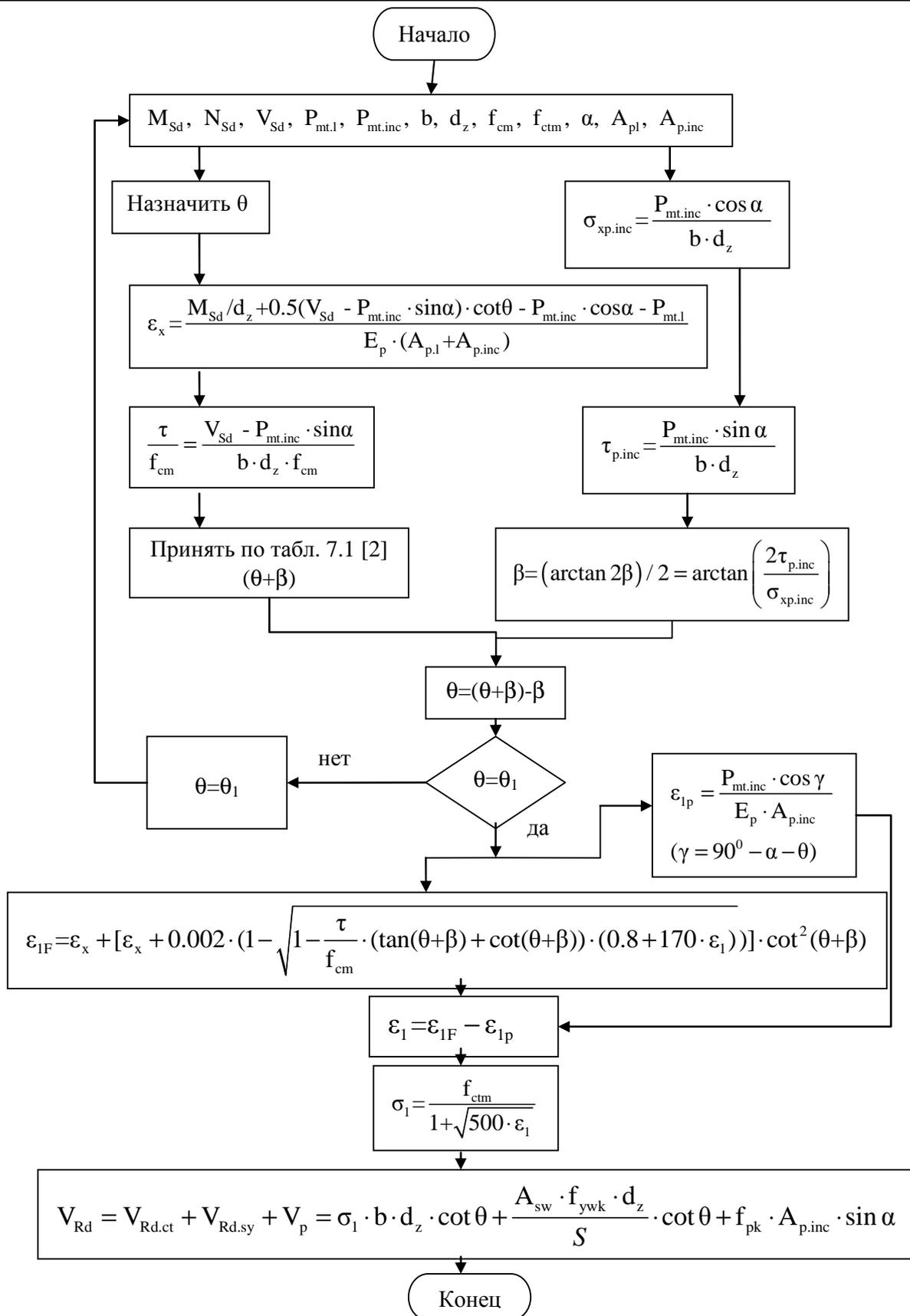


Рис. 1. Алгоритм расчета прочности наклонных сечений балок с полого отогнутой предварительно напряженной арматурой

прямоугольное поперечное сечение с размерами $b \times h = 100(120) \times 300$ мм. Балки марки БОТ были таврового сечения с полкой в сжатой зоне. В балках групп БПО и БО напрягаемые стержни верхнего ряда в тре-

тях пролета отгибались. Угол наклона отгиба составлял 12° . Балки группы БО армировались поперечной ортогональной арматурой из двух проволок $\varnothing 3$ мм класса S500 (Bp-I), расставленных с

Таблица 1. Сопоставление опытной и расчетной несущей способности экспериментальных балок по поперечной силе

Марка балки	V_{Sd} , кН (соответствующая разрушению)	Расчетные величины поперечной силы, кН				$\frac{V_{Sd}(V_{Sd})}{V_{Rd}}$	Характер разрушения
		$V_{Rd,ct} = \sigma_1 \cdot b \cdot d_z \cdot \cot \theta$	$V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot d_z}{S} \cdot \cot \theta$	$V_p = f_{pk} \cdot A_{p,inc} \cdot \sin \alpha$	$V_{Rd} = V_{Rd,ct} + V_{Rd,sy} + V_p$		
1	2	3	4	5	6	7	8
БПО-I	(97,5)	79,4		24,6	104,0	0,94	Разрушение в зоне максимальных изгибающих моментов
БПО-II	(97,5)	88,8		24,6	113,4	0,86	
БО	(138)	73,8	17,3	49,3	140,4	0,98	
БОУ	160,0	77,2	18,3	49,3	144,8	1,1	Разрушение в зоне среза
БОм	(142,5)	57,5	15,3	49,3	122,1	1,17	Разрушение в зоне максимальных изгибающих моментов
БОН	(131,0)	43,8	10,1	49,3	103,2	1,27	
БОт	(178,0)	62,2	16,2	49,3	127,7	1,39	
БП	131,0	69,3	12,4		81,7	1,6	Разрушение в зоне среза

шагом 100 мм. Содержание поперечной арматуры характеризовалось условием $\rho_{sw} < \rho_{sw,min}$. В балках группы БПО поперечное армирование отсутствовало. Для сравнительной оценки методики расчета прочности рассматривалась преднапряженная балка марки БП с прямолинейным направлением рабочих стержней.

Влияния пролета среза на величину разрушающей поперечной силы балок с отгибами выполнялся на предварительно напряженных балках группы БПО с процентом армирования предварительно напряженной арматуры (ρ) 1,0 % (2 \varnothing 14 S800, $A_{st} = 3,08$ см²) при постоянном уровне относительного натяжения в отогнутых и прямолинейных стержнях $\sigma_{ml}f_{pk} = 0,85$ (БПО-I) и $\sigma_{ml}f_{pk} = 0,73$ (БПО-II). Балки группы БО армировались четырьмя \varnothing 14 S800 стержнями с $A_{st} = 6,16$ см² ($\rho = 2,4\%$). В группу БО так же была включена балка БОУ, отличающаяся от остальных балок наличием дополнительной продольной и поперечной арматуры в средней трети пролета балки (в сжатой зоне установлено 4 \varnothing 20 S400, а в растянутой, кроме предварительно напряженной арматуры – стержень \varnothing 20 S400). Балки марок БО, БОм, БОН испытывались при одинаковом пролете среза $a/h = 2,83$, однако имели существенно отличающийся друг от друга уровень предварительного натяжения отогнутой арматуры: БО – $\sigma_{ml}f_{pk} = 0,73$; БОм – $\sigma_{ml}f_{pk} = 0,36$; БОН – $\sigma_{ml}f_{pk} = 0$ (отогнутая арматура не имела преднапряжения). Балки марки БОт, имевшие тавровое поперечное сечение и одинаковый уровень относительного предварительного натяжения $\sigma_{ml}f_{pk} = 0,73$ испытывались при пролете среза $a/h = 2,83$.

В таблице 1 приведены результаты расчетного анализа несущей способности наклонных сечений испытанных балок [4, 5].

Результаты исследований. Согласно данным таблицы 2 наиболее близкие значения теоретической разрушающей нагрузки с опытной соответствуют сериям балок БО (отношение 0,98) и БОУ (отношение 1,1). Следует отметить, что если принять поперечную силу 160 кН, зафиксированную при разрушении балки БОУ, имевшей чистую зону изгиба, за действительную несущую способность наклонных сечений балок группы БО, то разработанная методика расчета прочности наклонных сечений по поперечной силе является приемлемой с точки зрения надежности запроектированных элементов.

Превышение в большей степени опытной разрушающей нагрузки над теоретической в балках БОм и БОН объясняется в первую очередь влиянием уровня общего преднапряжения на величину поперечной силы, воспринимаемой бетоном $V_{Rd,ct}$ и меньшим количеством поперечных стержней, воспринимающих поперечную силу на стадиях загрузки после образования критических трещин, вследствие меньшей пологости наклонных трещин.

Одной из причин, вызвавшей превышение действительной разрушающей нагрузки над теоретической в балках с прямолинейной предварительно напряженной арматурой (балки БП), явилось то, что в этих балках, как правило, трещины, по которым происходило разрушение, образовались в средней части высоты сечения, а разрушение наступало лишь тогда, когда эти трещины пересекали нижнюю часть балки, бетон которой у нижнего конца трещины оставался еще обжатым. Наличие сжатого бетона у обоих концов наклонной трещины повышало несущую способность предварительно напряженных балок при малом количестве поперечной арматуры. Подобное явление наблюдалось при испытании прямолинейной арматуры предварительно напряженных балок без поперечного армирования и у других исследователей [8].

Заключение. Оценку прочности наклонных сечений по поперечной силе элементов с полого отогнутой арматурой следует выполнять по общей зависимости п.7.2 норм [1], учитывающей сопротивление бетона, ортогональной поперечной и отогнутой арматур. Вместе с тем следует иметь в виду, что при вычислении деформаций бетона в уровне продольной рабочей арматуры ϵ_x (п.7.2.2.27 [1]), необходимых для определения поперечной силе, воспринимаемой бетоном наклонной трещины $V_{Rd.ct}$ (формула 7.113) и при вычислении поперечной силы, воспринимаемой поперечной арматурой (формула 7.95) следует принимать тригонометрическую функцию угла наклона сжатой полосы θ (угла наклона диагональной трещины), а в формуле для вычисления в расчетном сечении главных растягивающих деформаций ϵ_1 – тригонометрическую функцию угла поворота главных площадок $(\theta + \beta)$.

Сопоставление значений разрушающих поперечных сил и сил, соответствующих разрушению балок в зоне чистого изгиба, полученных в ходе проведения испытаний, с соответствующими величинами, вычисленными по предлагаемой методике, позволяют заключить, что предлагаемая методика достоверна и надежно оценивает реальную несущую способность наклонных сечений балок с полого отогнутой преднапряженной арматурой при действии поперечной силы и изгибающего момента.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02 – Мн.: Стройтехнорм, 2002 – С. 274.
2. Железобетонные конструкции. Основы теории расчёта и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей / Под редакцией проф. Т.М. Пецольды и проф. В.В. Тура – Брест: БГТУ, 2003. – 380 с.
3. Евграфов, Г.К. Эффективность применения полигональной и верхней напрягаемой арматуры / Г.К. Евграфов, Л.И. Иосилевский,

В.П. Чирков // Транспортное строительство. – 1959. – № 4. – С.10–16.

4. Малиновский, В.Н. Сопротивление предварительно напряжённых железобетонных балок из высокопрочного бетона с отогнутой стержневой арматурой при изгибе с поперечной силой: автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – Л., 1988.
5. Малиновский, В.Н. Влияние предварительно напряженной полого отогнутой арматуры на напряженно-деформированное состояние железобетонных балок / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Вестник БрГТУ. – 2008. – № 1(49): Строительство и архитектура. – С. 74–77.
6. Малиновский, В.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния и разработка методики расчета в соответствии с СНБ 5.03.01-02 железобетонных балок с пологим отгибом части продольной предварительно-напряженной арматуры / В.Н. Малиновский, Н.Н. Шалобыта, Б.Г. Холодарь // Сборник научных трудов II международного научно-практического семинара по реализации задач ГПОФИ «Строительство и архитектура», Минск, 19-21 сентября 2007 г. – В 3 т. – 2008. – Т.1.
7. Шалобыта, Н.Н. К расчету прочности наклонных сечений железобетонных балок с предварительно напряженной отогнутой арматурой / Н.Н. Шалобыта, В.Н. Малиновский, П.В. Кривицкий // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Т.М. Пецольд (отв. ред.), Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 238–242.
8. Боришанский, М.С. Образование косых трещин в стенках предварительно напряженных балок и влияние предварительного напряжения на прочность под действием поперечных сил / М.С. Боришанский, Ю.К. Николаев // Прочность и жесткость железобетонных конструкций. – М., 1968. – С. 5–56.

Материал поступил в редакцию 10.03.11

MALINOVSKIY V.N., SHALOBYTA N.N. Approbation of a technique of account of durability till inclined sections ferro-concrete elements with flat отгибом of a part previously – intense of fixture

In clause the approbation deformative of a method of account on durability on inclined section previously of intense ferro-concrete beams with gentle turn back by the fixture is resulted

УДК 539.3

Игнатов А.Ю., Игнатьюк В.И.

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДКРЕПЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ РЕБРИСТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, НАГРУЖЕННЫХ ВНЕШНИМ ДАВЛЕНИЕМ

Введение. Рассматривается ребристое цилиндрическое покрытие длиной L и радиусом R , которое представляет собой систему, состоящую из оболочки и жестко с ней соединённых по линиям контакта продольных (стрингеры) и кольцевых (шпангоуты) ребер, нагруженное внешним давлением (рис. 1). Криволинейная ортогональная система координат выбрана так, что координатные линии x и y совпадают с линиями главных кривизн срединной поверхности обшивки. Положение произвольных точек оболочки (ребра), не лежащих в координатной (срединной) поверхности, определяется третьей координатой z , нормальной к линиям $x = const$, $y = const$ и направленной к центру кривизны обшивки.

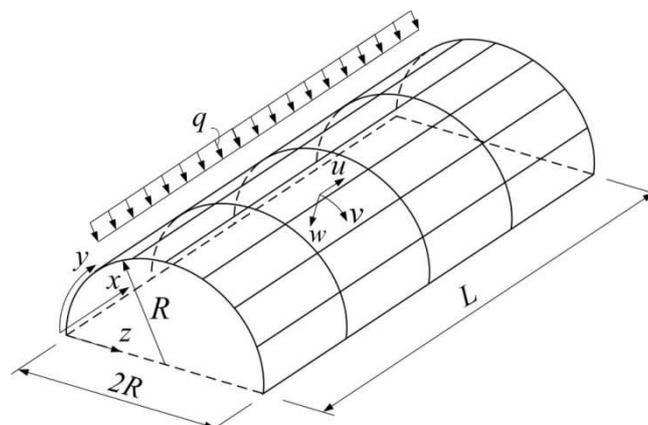


Рис. 1. Подкрепленное цилиндрическое оболочечное покрытие

Предполагается, что ребра одного направления имеют одинаковые упругие и геометрические характеристики и равномерно размещены по обшивке вдоль направлений координатных линий x , y , что

Игнатов Алексей Юрьевич, аспирант Брестского государственного технического университета.

Игнатьюк Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой строительной механики Брестского государственного технического университета.

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