УДК 624.011.2, 691.175.5.743

© С. В. Федосов, д-р техн. наук, профессор,
академик РААСН
(Ивановский государственный политехнический
университет)

E-mail: prezident@ivgpu.com

© С. А. Малбиев, канд. техн. наук, доцент,
академик МАНЭБ, советник РАЕН
E-mail: nata.khomch@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-54-61

© S. V. Fedosov, Dr. Sci. Tech., Professor,
Academician of RAACS
(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: prezident@ivgpu.com

© S. A. Malbiev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor,
Academician of IAELPS, Adviser of RANS
E-mail: nata.khomch@yandex.ru

СТРУКТУРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ. ЧАСТЬ 1. ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ В СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ ПОЛЕ

STRUCTURAL DESIGNS FROM POLYMER MATERIALS FOR COVERINGS OF BUILDINGS AND STRUCTURES SUBJECTED TO CHEMICALLY AGGRESSIVE ENVIRONMENT. PART 1. STRENGTH AND DEFORMABILITY IN A STATIONARY THERMAL FIELD

Рассматриваются большепролетные перекрестно-стержневые пространственные конструкции (ПСПК) из поливинилхлоридных труб для покрытий. ПСПК регулярной ячеистой структуры широко применяются в отечественном и зарубежном строительстве для большепролетных покрытий зданий и сооружений различного назначения. Отличительной особенностью ПСПК является многократная повторяемость элементарных прямоугольных, треугольных и других ячеек, образованных однотипными стержнями. Рассмотрены прямоугольные и круглые стержневые плиты с точечным опиранием. Приведена динамика изменения внутренних усилий и прогибов в круглых плитах.

Ключевые слова: пластмассовый стержень, ПВХ-труба, пространственная система, сварка, коррозия, агрессивная среда.

The article considers large-span cross-core spatial designs (CCSD) of polyvinyl chloride pipes intended for coverings. Cross-core spatial designs (CCSD) of regular cellular structure are widely used in domestic and foreign construction for large-span coverings of buildings and structures of various purposes. A distinctive feature of the CCSD is a multiple repeatability of elementary rectangular, triangular and other types of cells formed by the same type of rods. Rectangular and circular rod plates with point support are considered. Dynamics of changes in internal forces and deflections in circular plates is demonstrated.

Keywords: plastic rod, PVC-pipe, spatial system, welding, corrosion, aggressive media.

Пластмассы являются искусственными полимерами, что обуславливает сочетание их современных важнейших эксплуатационных свойств: высокие физико-механические характеристики, стойкость к старению, тепло- и огнестойкость, декоративные свойства, атмосферостойкость, радиопрозрачность и немагнитность, стойкость к химически агрессивным средам и целый ряд других.

Полимеры перестали быть просто заменителями традиционных материалов: цветных ме-

таллов, стали, древесины, тканей и др. Все чаще они становятся единственно возможными, абсолютно необходимыми материалами, позволяющими реализовывать принципиально новые технические решения.

Высокая сопротивляемость пластмасс разрушающему действию агрессивных сред кислот, щелочей, органических растворителей, нефтепродуктов, морской, минеральной и дистиллированной воды экономически оправдывает их

применение даже в том случае, когда они значительно дороже традиционных материалов, требующих антикоррозионной защиты. Помимо прямого экономического эффекта, применение полимеров позволяет дополнительно значительно снизить затраты времени и труда.

Перекрестно-стержневые пространственные конструкции (ПСПК) регулярной ячеистой структуры широко применяются в отечественном и зарубежном строительстве для большепролетных покрытий зданий и сооружений различного назначения [3].

Отличительной особенностью ПСПК является многократная повторяемость элементарных прямоугольных, треугольных и других ячеек, образованных однотипными стержнями (рис. 1).

Стержневые системы регулярной структуры имеют конструктивные преимущества перед другими пространственными конструкциями. Составляющие ПСПК стержни, создавая пространственную работу, испытывают в основном одноосные усилия сжатия или растяжения. При этом повышенная жесткость конструкции обеспечивается не за счет постановки связей, а преимущественно самой решеткой. Сравнительно малый шаг стержней решетки позволяет применить облегченный настил, а в ряде случаев и включить ограждающую конструкцию в работу верхнего пояса стержневой плиты. Регулярные стержневые плиты хорошо работают на узловые сосредоточенные нагрузки, что позволяет эффективно применять при таких покрытиях подвесное крановое оборудование.

Однако значительным препятствием к широкому применению пластмасс в несущих строительных конструкциях является их относительно высокая деформативность даже при нормальных температурно-влажностных условиях. Полимерные материалы, имеющие прочность низколегированных сталей и примерно в 5 раз меньший, чем сталь, объемный вес, в то же время уступают стали по величине модуля упругости примерно в 10 раз, т. е. в 10 раз слабее сопротивляются деформированию. Кроме того, вследствие ползучести деформации со временем увеличиваются и могут перейти в остаточные даже при сравнительно низких уровнях напряжений. Важно отметить, что пониженные и повышенные температуры существенно влияют на изменения

механических характеристик конструкционных пластмасс: прочность при растяжении-сжатии, изгибе, потерю устойчивости.

В связи с повышенной деформативностью пластмасс существовало мнение о нецелесообразности их применения в несущих конструкциях. Тем не менее, в различных странах мира несущие конструкции из полимерных материалов все же созданы. По сравнению с традиционными строительными материалами таких конструкций из пластмасс сравнительно немного, но само их существование подтверждает возможность и целесообразность применения их не только в качестве отделочных и ограждающих, но и несущих конструкций.

До недавнего времени для несущих конструкций применялись полимерные материалы на основе полиэфирных, эпоксидных и фенольных смол, армированных стекловолокном, — стеклопластики. В менее ответственных элементах конструкций применялся жесткий ПВХ и светопрозрачные полиакрилопласты, а в качестве утеплителя — пенопласты полистирольные, полиуретановые и фенольные.

В настоящее время применяются армированные полимерные материалы на основе ПВХ и ПЭ, а также пластики на основе углеродных и других волокон, не только не уступающие металлическим конструкциям по прочности, но и превышающие их.

Фирма Entwurf Partner (г. Галлен, Швейцария) разработала систему сборно-разборных пространственных фахверковых несущих конструкций покрытий из легких трубчатых профилей,

Рис. 1. Общий вид модели ПСПК из ПВХ-труб перед испытанием

изготовленных из пластика. Соединение труб между собой осуществляется специальными зажимами. Трубки могут иметь различную длину, отличаются ребристой поверхностью и поддаются окраске в разные цвета. Сборка такого каркаса покрытия производится без применения каких-либо инструментов. Покрытию можно придавать различную архитектурную форму. При небольшой массе конструкция покрытия характеризуется достаточной жесткостью и устойчивостью. Пространственный каркас покрытия размерами в плане 6×6 м массой всего 35 кг собирается за 15 мин. В разобранном состоянии все элементы такого каркаса, уложенные на хранение или в автомашину, занимают объем 0,18 м³. Подобные конструкции рекомендуются для устройства покрытий ярмарочных павильонов, выставочных помещений и т. п.

К одним из главных физических свойств ПВХ относятся плотность и теплофизические свойства. Низкая плотность (1400 кг/м³) и высокий коэффициент линейного расширения ($\alpha = (6,0 \dots 9,0) \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), низкая теплопроводность и высокая теплоемкость являются важными его особенностями. Этот материал относится к полярным полимерам с сильно выраженными диэлектрическими свойствами, обладает хорошей электрической прочностью, что характеризует устойчивость материала к электрическому пробое.

ПВХ хорошо выдерживает действие окружающей среды — воздуха, влаги, специальных или агрессивных сред: газообразных (озона, двуокиси азота и серы и т. д.) или жидких (концентрированных кислот и щелочей, окислительно-восстановительных сред, поверхностно-активных веществ, растворов солей и др.). Нестоек ПВХ лишь только к кетонам и эфирам.

Что касается огнестойкости, то этот материал не поддерживает горения, однако плавится под воздействием огня и проявляет резко выраженную ползучесть при повышении температуры. Поэтому следует либо избегать эксплуатации конструкций из ПВХ вблизи источника высоких температур, либо применять специальные защитные покрытия на основе, например, кремнеорганических соединений [14].

Разработанная пластмассовая ПСПК из ПВХ-труб [9] рекомендуется для сооружений

закрытого грунта (теплиц, парников, оранжерей), складов минеральных удобрений и фермерской продукции, крытых стоянок для авто- и сельскохозяйственных машин, бензозаправочных и станций технического обслуживания автомобилей, морских стационарных глубоководных платформ и др.

Один из методов расчета плоских структурных конструкций основан на замене стержневой модели на континуальную (сплошную) пластину с сохранением прежних геометрических размеров и нагрузок. Задача заключается в определении выражения прогибов, через которое затем по известным формулам определяются усилия. Например, для прямоугольной пластины будем иметь [11]

$$\begin{aligned} M_x &= -D_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \\ M_y &= -D_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_{yx} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \\ H_{xy} &= -2D_{кр} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \end{aligned} \quad (1)$$

где M_x и M_y — изгибающие моменты в главных направлениях упругости x и y ; H_{xy} — крутящий момент.

Выражение прогибов для прямоугольной пластины с точечным опиранием в углах имеет вид [11]:

$$\begin{aligned} w &= \frac{q}{384D(\gamma + \delta)} \left[\gamma (16x^4 - 24a^2x^2 + 5a^4) + \right. \\ &+ \delta (16y^4 - 24b^2y^2 + 5b^4) \left. \right] + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \operatorname{ch} \frac{n\pi y}{a} \cos \frac{n\pi x}{a} + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{ch} \frac{n\pi x}{b} \cos \frac{n\pi y}{b} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n y \operatorname{sh} \frac{n\pi y}{a} \cos \frac{n\pi x}{a} + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} D_n x \operatorname{sh} \frac{n\pi x}{b} \cos \frac{n\pi y}{b}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для структурной конструкции из наклонных перекрестных ферм трех направлений усилия в стержнях могут быть определены по формулам [10]

$$\begin{aligned} N_1^{B(H)} &= \frac{a}{h} \left(\mp \frac{\sqrt{3}}{2} M_\Theta \pm \frac{1}{2\sqrt{3}} M_r \right); S_1 = -\frac{ar}{h} Q_r; \\ N_2^{B(H)} &= \frac{a}{h} \left(\mp \frac{\sqrt{3}}{2} M_r \mp M_{r\Theta} \right); S_2 = \frac{ar}{h} (Q_r - \sqrt{3}Q_\Theta); \end{aligned}$$

$$N_3^{B(H)} = \frac{a}{h} \left(\mp \frac{\sqrt{3}}{2} M_r \pm M_{r\Theta} \right); S_3 = \frac{ar}{h} (Q_r + \sqrt{3} Q_\Theta), \quad (3)$$

где N, S — усилия в поясах и раскосах; a — длина панели поясной сетки; r — длина раскоса; h — высота стержневой плиты.

Учет трансверсальной изотропии в круглой пластине производится с помощью коэффициентов

$$k = \left(2 \frac{G}{G'} - \nu' \frac{E}{E'} \right) \frac{h^2}{10(1-\nu^2)}; \delta^2 = \frac{10G'}{h^2 G}, \quad (4)$$

где $G = E/2(1+\nu)$ — модуль сдвига для плоскости изотропии; G' — то же для плоскости, нормальной к плоскости изотропии; ν — коэффициент Пуассона при растяжении в плоскости изотропии; ν' — то же, нормально плоскости изотропии; E — модуль упругости Юнга в плоскости изотропии; E' — то же, нормально плоскости изотропии; h — толщина пластины.

Усилия в полярных координатах будут иметь следующие значения:

$$M_r = -D(1-\nu) \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(1 - \frac{2}{\delta^2} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) (D\Delta w + kz);$$

$$Q_r = -\frac{\partial}{\partial r} (D\Delta w + kz); Q_\Theta = -\frac{\partial \Phi}{\partial r};$$

$$M_\Theta = D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - \left(1 - \frac{2}{\delta^2} \frac{\partial^2}{\partial r^2} \right) (D\Delta w + kz);$$

$$M_{r\Theta} = \Phi - \frac{2}{\delta^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2},$$

$$\text{где } \Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}; D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)};$$

$$M_{r\Theta} = -D(1-\nu) \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \Theta} \right) - \frac{2D}{\delta^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \Theta} (\Delta w) \right] + \Phi - \frac{2}{\delta^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} - \frac{2k}{\delta^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \Theta} \right). \quad (5)$$

После несложных преобразований (5) приводится к виду

$$M_{r\Theta} = -D(1-\nu) \left(1 - \frac{R}{\pi qa^2} \right) \sum_{m=2,4,6,\dots}^{\infty} \left\{ \left[m(m-1)r^{m-2} A_m + \left[m(m+1) + \frac{8m(m^2-1)}{(\delta r)^2 (1-\nu)} \right] r^m C_m - \frac{2}{\delta^2} \left[\left(\frac{m(m+1)}{r^2} - \frac{\delta^2}{2} \right) J_m(\delta r) - \frac{\delta(2m-1)}{r} J_{m-1}(\delta r) + \delta^2 J_{m-2}(\delta r) \right] F'_m \right\} \sin m\Theta. \quad (6)$$

Здесь R — опорная реакция в центральной опоре круглой пластины.

При увеличении количества точек опирания по контуру тангенциальный изгибающий момент между опорами будет уменьшаться при приближении пластины к шарнирному опиранию. Из табл. 1 видно, что максимальный радиальный изгибающий момент $M_{\max}$ при этом будет увеличиваться, что соответствует шарнирному опиранию круглой пластины по контуру.

Максимальная поперечная сила $Q_{\max}$, соответственно, между центральной опорой и контурной будет уменьшаться, так как основное распределение усилий приходится на шарнирно опертый контур круглой пластины.

Следует отметить, что при небольшом количестве точек опирания по контуру, что не соответствует действительному, прогибы значительные и не являются в связи с этим актуальными для оценки напряженно-деформированного состояния ПСПК с точки зрения соответствия нормативно-технической документации. Например, для двух и трех точек опирания по контуру прогибы представлены в [8]. Из табл. 2 видно, что при сравнении максимальных прогибов $w_{\max}$ в изотропной и трансверсально-изотропной круглых пластинах с точечным опиранием по контуру в количестве от 10 до 30 разница значений Dw' составляет около 8 %.

На рис. 2 и 3 показана динамика изменения усилий в круглой пластине с точечным опиранием и уменьшения прогибов в изотропной и трансверсально-изотропной пластинах.

Таким образом, напряженно-деформированное состояние ПСПК, зависящее от усилий M, Q и прогибов w , хорошо согласуется с технической теорией пластин и оболочек в стационарном поле температур без учета пониженных или повышенных температурно-влажностных условий окружающей среды.

Существующие в настоящее время производственные здания складского назначения, как правило, неотапливаемые, в том числе предназначенные для хранения химической продукции (бытовой химии, косметики, лакокрасочных материалов и пр.). Температура в помещении в течение года колеблется от +5 до +30 °С, часто даже в течение суток, особенно в осенний и весенний периоды. Причем в неотапливаемых

Таблица 1

**Сравнение усилий в круглой пластине
с точечным опиранием n по контуру
и в центре**

n	$M_{\max}$	$Q_{\max}$	$\Delta M_{\max}, \%$	$\Delta Q_{\max}, \%$
2	0,0892674	1,8319802	—	—
3	0,0906412	1,6656952	1,52	9,08
4	0,0916262	1,5487383	2,57	15,46
6	0,0929502	1,3950974	3,96	23,85
8	0,0938033	1,2986677	4,84	29,11
10	0,0944005	1,2325095	5,44	32,72
12	0,0948427	1,1843026	5,88	35,35
15	0,0953263	1,1323703	6,36	38,19
18	0,0956753	1,0954603	6,70	40,20
21	0,0959389	1,0678781	6,95	41,71
24	0,0961452	1,0464845	7,15	42,88
30	0,0964474	1,0154584	7,44	44,57

Примечание. Постоянный множитель при M : qa^2 ; при Q : $\frac{qa}{2}$; $\nu = 0,37$.

помещениях температурный перепад от пола до потолка или низа стропильных конструкций может достигать нескольких градусов, а в отапливаемых — десятков градусов. Нестационарный тепломассоперенос на стержневые конструкции покрытия снижает их несущую способность, способствует развитию деформаций ползучести.

Климатические воздействия регламентированы Сводом правил СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия». Однако температурные воздействия могут быть и производственными, связанными с технологическим процессом. Установлено, что в хлебопекарных помещениях температура окружающего воздуха на уровне роста человека составляет 20–25 °С, а на уровне перекрытия

может достигать 60 °С и более. Аналогичный температурный перепад выявлен в крытых рынках, торговых центрах, плавательных бассейнах, аквапарках, теплицах и др.

В двухъярусных пространственных стержневых системах, к которым относятся оболочки и структурные плиты, разница температур, действующих на нижние и верхние пояса, узловые соединения и элементы решетки, может достигать от нескольких до нескольких десятков градусов Цельсия, поскольку толщина конструкций (расстояние между верхним и нижним поясами) может составлять 1,0–2,5 м.

Важно, что термопластичные пластмассы активно реагируют на изменения температуры, в отличие от термореактивных полимерных материалов. Поэтому в расчетах напряженно-деформированного состояния следует учитывать нестационарный теплоперенос в несущих пространственных стержневых системах. Представляется актуальной разработка математического аппарата процессов теплопереноса в элементах пространственных большепролетных стержневых систем из термопластичных полимерных материалов на основе теории академика А. В. Лыкова [16]. По данным различных исследователей [16, 17], температурные воздействия существенно влияют на полимерные материалы, снижая их технические характеристики. Если рассматривать ПСПК как пластину с соответствующими граничными условиями, то процесс нагревания пластины при равномерном начальном распределении температур и отсутствии источников теплоты на поверхности описывается нестационарным дифференциальным уравнением

Таблица 2

**Сравнение прогибов в изотропной и трансверсально-изотропной круглых пластинах
с точечным опиранием n по контуру и в центре**

n	$w_{\max}$ (изотропн.)	$w_{\max}$ (трансв.-из.)	$\Delta w, \%$	Уменьшение $w_{\max}, \%$ (изотропн.)	Уменьшение $w_{\max}, \%$ (трансв.-из.)	$\Delta w', \%$
10	0,0071901	0,0074115	3,08	—	—	—
12	0,0069645	0,0071978	3,35	3,14	2,88	8,28
15	0,0067145	0,0069609	3,67	6,61	6,08	8,02
18	0,0065326	0,0067886	3,92	9,14	8,41	7,99
21	0,0063943	0,0066575	4,12	11,07	10,17	8,13
24	0,0062857	0,0065546	4,28	12,58	11,56	8,11
30	0,0061260	0,0064031	4,52	14,80	13,61	8,04

Примечание. Постоянный множитель при $w_{\max}$ равен $\frac{qa^4}{D}$.

Рис. 2. Увеличение изгибающего момента и уменьшение поперечной силы в круглой пластине с точечным опиранием: 1 — $M_{\max}$; 2 — $Q_{\max}$

Рис. 3. Интенсивность уменьшения прогибов в круглой пластине с точечным опиранием: 1 — изотропной; 2 — трансверсально-изотропной

параболического типа с соответствующими граничными условиями:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial t}{\partial x} \right); \tau > 0; 0 \leq x \leq R; \quad (7)$$

$$t(x, 0) = t_0(x); \quad (8)$$

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = 0; \quad (9)$$

$$\alpha [t_c - t(R, \tau)] = \lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x}, \quad (10)$$

где t — температура, К; τ — время, с; a , λ — коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материала пластины, $\text{м}^2/\text{с}$, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; α — коэффициент теплоотдачи (теплообмена между поверхностью и средой), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; x — текущая координата по толщине пластины, м; R — половина толщины пластины, м (начало координат (ноль) находится в центре пластины); t_c — температура окружающей среды, К.

Решение системы (7)–(10) будет приведено в следующей части статьи.

Библиографический список

1. Малбиев С. А. К вопросу расчета круглых пластин с точечным опиранием при действии поперечной равномерно распределенной нагрузки // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1980. № 6. С. 42–46.

2. Малбиев С. А. Изгиб трансверсально изотопной круглой пластины с точечным опиранием // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1982. № 1. С. 40–44.

3. Игнатъев В. А., Соколов О. Л., Альтенбах И., Киссинг В. Расчет тонкостенных пространственных конструкций пластинчатой и пластинчато-стержневой структуры / под ред. В. А. Игнатъева. М.: Стройиздат, 1996. 560 с.

4. Наумченко Л. И. Экспериментальные исследования структурной конструкции из полимерного материала при длительном нагружении // Повышение долговечности и надежности строительных конструкций из дерева и пластмасс: межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ, 1987. С. 58–63.

5. Нурдин А. А. Повышение эффективности структурных конструкций из поливинилхлорида, работающих совместно с плитными настилами кровли: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1987. 24 с.

6. Тентиев Ж. Исследование прочности и устойчивости элементов конструкций из винипластовых труб при кратковременном и длительном нагружении: дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1980. 174 с.

7. Циммер И. И. Разработка методов расчета и конструирования сварных соединений в несущих конструкциях из поливинилхлоридных профилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1985. 25 с.

8. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1966. 636 с.

9. Малбиев С. А. Деформационные свойства узловых соединений пространственных стержневых конструкций из ПВХ-труб в составе фрагмента покрытия // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 9. С. 63–64.

10. Малбиев С. А., Михайлов Б. К. Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые про-

странственные конструкции покрытий зданий и сооружений. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2008. 402 с.

11. Малбиев С. А. Поперечный изгиб прямоугольной пластины с точечным опиранием в углах // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 8. С. 35–36.

12. Малбиев С. А. Несущая способность и деформативность пространственной стержневой конструкции из ПВХ-труб // Международная науч.-техн. конф. «Строительная наука — 2014: Теория, образование, практика, инновации»: сб. науч. ст. Архангельск: САФУ, 2014. С. 272–275.

13. Малбиев С. А. Некоторые задачи расчета пространственных стержневых конструкций из дерева и пластмасс // Международная науч.-техн. конф. «Строительная наука — XXI век: Теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону»: сб. науч. ст. Архангельск: САФУ, 2015. С. 203–206.

14. Малбиев С. А. Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий. М.: АСВ, 2017. 336 с.

15. Федосов С. В., Малбиев С. А. Применение коррозионностойких строительных материалов в несущих конструкциях покрытий зданий текстильных предприятий // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 5. С. 204–208.

16. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967. 600 с.

17. Федосов С. В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. 364 с.

References

1. Malbiev S. A. *K voprosu rascheta kruglykh plastin s tochechnym opiraniem pri deystvii poperechnoy ravnomerno raspredelennoy nagruzki* [To the issue of calculation of round plates with point support at action of the cross evenly distributed loading]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – News of higher education institutions. Construction and architecture*, 1980, no. 6, pp. 42–46.

2. Malbiev S. A. *Izgib transversal'no izotopnoy krugloy plastiny s tochechnym opiraniem* [Bending of transversally isotope round plate with point support]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – News of higher education institutions. Construction and architecture*, 1982, no. 1, pp. 40–44.

3. Ignat'ev V. A., Sokolov O. L., Al'tenbakh I., Kissing V. *Raschet tonkostennykh prostranstvennykh konstruktсий plastinchatoy i plastinchato-sterzhnevoy struktury* [Calculation of thin-walled spatial designs of lamellar

and lamellar-rod structure]. Ed. by Ignat'ev V. A. Moscow, Stroyizdat Publ., 1996, 560 p.

4. Naumchenko L. I. *Ehksperimental'nye issledovaniya strukturnoy konstruktсий iz polimernogo materiala pri dlitel'nom nagruzhении* [Pilot studies of the structural design from polymeric material at long term loading]. *Mezhvuz. temat. sb. tr. «Povyshenie dolgovechnosti i nadezhnosti stroitel'nykh konstruktсий iz dereva i plastmass»* [Interhigher education institution coll. of works “Increase in durability and reliability of building constructions from wood and plastic”]. Leningrad, LISI Publ., 1987, pp. 58–63.

5. Nuzhdin A. A. *Povyshenie ehkektivnosti strukturnykh konstruktсий iz polivinilkhlorda, rabotayushchikh sovmestno s plitnymi nastilami krovli. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Increasing the efficiency of structural designs from polyvinylchloride working together with slab roof covering. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Leningrad, LISI Publ., 1987, 24 p.

6. Tentiev Zh. *Issledovanie prochnosti i ustoychivosti ehlementov konstruktсий iz viniplastovykh trub pri kratkovremennom i dlitel'nom zagruzhениyakh. Diss. kand. tekhn. nauk* [Research of durability and stability of elements of designs from vinyl plastic pipes at short-term and long-term loading]. Leningrad, LISI Publ., 1980, 174 p.

7. Tsimmer I. I. *Razrabotka metodov rascheta i konstruirovaniya svarnykh soedineniy v nesushchikh konstruktсийakh iz polivinilkhlordnykh profiley. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Development of methods of calculation and designing of welded connections in the bearing designs from polyvinylchloride profiles. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Leningrad, LISI Publ., 1985, 25 p.

8. Timoshenko S. P., Voynovskiy-Kruger S. *Plastinki i obolochki* [Plates and covers]. Moscow, Nauka Publ., 636 p.

9. Malbiev S. A. *Deformatsionnye svoystva uzlovykh soedineniy prostranstvennykh sterzhnevyykh konstruktсий iz PVKh-trub v sostave fragmenta pokrytiya* [Deformation properties of nodal connections of spatial rod designs from PVC pipes as a part of covering fragment]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2006, no. 9, pp. 63–64.

10. Malbiev S. A., Mikhaylov B. K. *Konstruktсий iz dereva i plastmass. Perekrestno-sterzhnevyye prostranstvennyye konstruktсий pokrytiy zdaniy i sooruzheniy* [Wooden and plastic designs. Cross-rod spatial designs of coverings of buildings and constructions]. Ivanovo, Ivanovo state university of chemistry and technology Publ., 2008, 402 p.

11. Malbiev S. A. *Poperechnyy izgib pryamougol'noy plastiny s tochechnym opiraniem v uglakh* [Transverse bending of a rectangular plate with point support at corners]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2008, no. 8, pp. 35–36.

12. Malbiev S. A. *Nesushchaya sposobnost' i deformativnost' prostranstvennoy sterzhnevoy konstruksii iz PVKh-trub* [Bearing ability and deformability of a spatial rod design from PVC pipes]. *Trudy Mezhd. NTK «Stroitel'naya nauka — 2014: Teoriya, obrazovanie, praktika, innovatsii»* [Proc. of the Int. sci. tech. conf. "Construction science — 2014: Theory, education, practice, innovations"]. Arkhangelsk, SAFU Publ., 2014, pp. 272–275.

13. Malbiev S. A. *Nekotorye zadachi rascheta prostranstvennykh sterzhnevyykh konstruksiy iz dereva i plastmass* [Some problems of calculation of wooden and plastic spatial rod designs]. *Trudy Mezhd. NTK «Stroitel'naya nauka — XXI vek. Teoriya, obrazovanie, praktika, innovatsii Severo-Arkticheskomu regionu »* [Proc. of the Int. sci. tech. conf. "Construction science — XXI century: Theory, education, practice, innovations to the North-Arctic region"]. Arkhangelsk, SAFU Publ., 2015, pp. 203–206.

14. Malbiev S. A. *Konstruksii iz dereva i plastmass. Perekrestno-sterzhnevyye prostranstvennyye konstruksii*

pokrytiy zdaniy. Ucheb. posobie dlya vuzov [Designs from wood and plastic. Cross and rod spatial designs of coverings of buildings. Teaching manual for higher education institutions]. Moscow, ASV Publ., 2017, 336 p.

15. Fedosov S. V., Malbiev S. A. *Primenenie korrozionnostoykikh stroitel'nykh materialov v nesushchikh konstruksiyakh pokrytiy zdaniy tekstil'nykh predpriyatiy* [Use of corrosion-resistant construction materials in the bearing designs of coverings of textile enterprise buildings]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – News of higher education institutions. Technology of the textile industry*, 2017, no. 5, pp. 204–208.

16. Lykov A. V. *Teoriya teploprovodnosti* [The theory of heat conductivity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967, 600 p.

17. Fedosov S. V. *Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noy industrii* [Heat and mass transfer in technological processes of construction industry]. Ivanovo, PresSto Publ., 2010, 364 p.