

**ПРОЧНОСТЬ ОДНОШПОНОЧНЫХ СТЫКОВ,
РАЗРУШАЮЩИХСЯ ПО ШВУ**

Довженко Оксана Александровна

канд. техн. наук, доцент,

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,

Украина, г. Полтава

E-mail: O.O.Dovzhenko@mail.ru

Погребной Владимир Владимирович

канд. техн. наук, доцент,

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,

Украина, г. Полтава

E-mail: V.V.Pogrebnoy@mail.ru

Юрко Илона Анатольевна

канд. техн. наук, старший преподаватель,

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,

Украина, г. Полтава

E-mail: ilona.yurko@yandex.ua

Чурса Юлия Владимировна

аспирант,

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,

Украина, г. Полтава

E-mail: ChursaJulia@mail.ru

STRENGTH OF ONE KEYED JOINTS ARE DESTROYED ALONG THE SEAM

Oksana Dovzhenko

*Candidate of Engineering Sciences, associate professor,
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk,
Ukraine, Poltava*

Vladimir Pogrebnoy

*Candidate of Engineering Sciences, associate professor,
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk,
Ukraine, Poltava*

Ilna Yurko

*Candidate of Engineering Sciences, senior lecturer,
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk,
Ukraine, Poltava*

Yulia Chursa

*postgraduate student,
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk,
Ukraine, Poltava*

АННОТАЦИЯ

Приведены материалы теоретических и экспериментальных исследований прочности одношпоночных стыков, разрушающихся по шву. Проанализированы результаты расчета шпоночных соединений по различным методикам.

ABSTRACT

The materials of theoretical and experimental studies of the strength of one keyed joints are destroyed along the seam are shown. Calculation results keyed joints by different methods were analyzed.

Ключевые слова: шпонка, стык, прочность, вариационный метод.

Keywords: key, joint, strength, the variational method.

Шпоночные соединения широко используются в крупнопанельном строительстве (стыки стеновых панелей), а также при возведении сборно-

МОНОЛИТНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ (соединения ригелей с колоннами и плитами, плит с колоннами и между собой).

Среди факторов, определяющих прочность стыков, исследователями выделены: геометрические параметры шпонки (глубина l_k , высота h_k , ширина b_k) и их соотношение l_k / h_k , угол уклона опорных поверхностей ψ , форма сечения, вид и класс бетона, обжатие (σ), армирование (ρ), неравномерность распределения усилий по длине стыка и ширина шва t_j .

Большинство авторов подтверждают уменьшение прочности с увеличением t_j .

В Полтавском национальном техническом университете проведены экспериментальные исследования одношпоночных керамзитобетонных и фибробетонных стыков с изменяющейся шириной шва в пределах 25—200 мм [10; 11]. При этом шпонки имели прямоугольный профиль с соотношением $l_k / h_k = 0,25$ и 0,5. Стыки армировались по середине высоты шпонки двумя стержнями $\varnothing 8$ А240С.

В ходе испытаний выявлено три случая разрушения одношпоночных стыков: при $t_j = 25$ мм — срез шпонки по вертикальному сечению (рис. 1, а); при $t_j = 50, 100$ мм — сдвиг по наклонной плоскости в пределах шпонки (рис. 1, б); при $t_j = 150, 200$ мм — образование наклонной трещины с выходом в междушпоночное пространство (рис. 1, в).

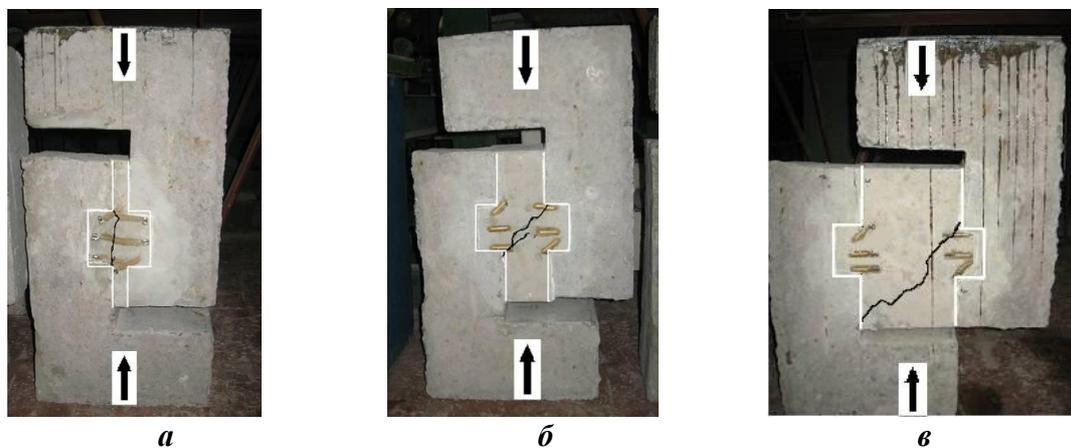


Рисунок 1. Схемы разрушения образцов

Увеличение ширины шва приводит к существенному уменьшению предельной нагрузки (до 18 %).

Подобные исследования проводились И.С. Дербенцевым [2] на образцах с соотношением $l_k / h_k = 0,125$ и шириной шва $t_j = 90$ мм. Как видно из рис. 2, разрушение опытных образцов происходило «по шву».

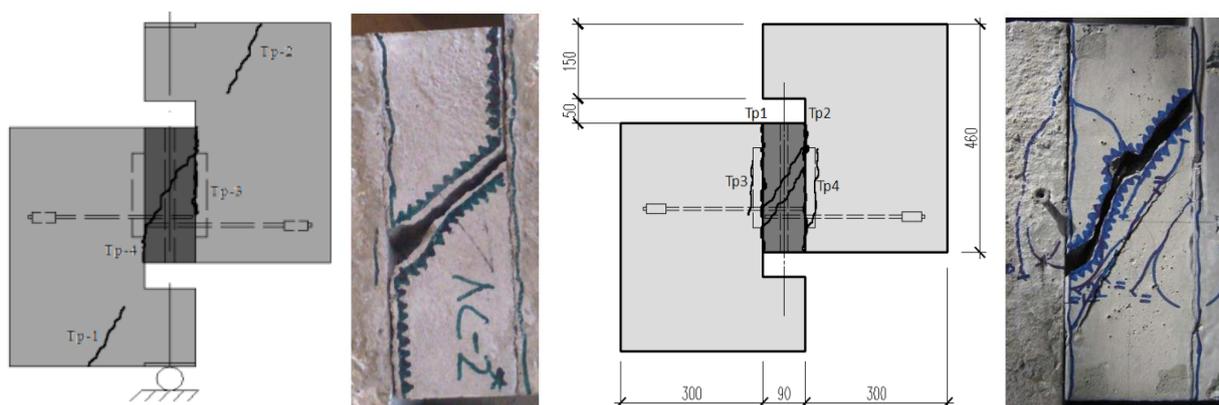


Рисунок 2. Схемы разрушения образцов [2]

Для расчета прочности стыков авторы предлагают использовать вариационный метод теории пластичности бетона [3, 6]. На его основе разграничены случаи разрушения стыка в зависимости от t_j / h_k и $\gamma = l_k / h_k$ для тяжелого бетона и фибробетона на полипропиленовых волокнах. На рис. 3 прямые линии соответствуют разрушению «по шпонке», кривые — «по шву». В соответствии с ними при соотношении $t_j / h_k = 0 - 0,25$ разрушение происходит путем среза шпонок, а при $t_j / h_k = 0,25 - 1$ разрушится шов (реализуется тот случай разрушения, при котором прочность армированного стыка $f_{s,sh}^{j,calc} / m$ будет минимальной). Дальнейшее увеличение соотношения t_j / h_k приводит к росту теоретической прочности, что противоречит опытным данным. Поэтому применение вариационного метода следует ограничивать условием $t_j \leq h_k$.

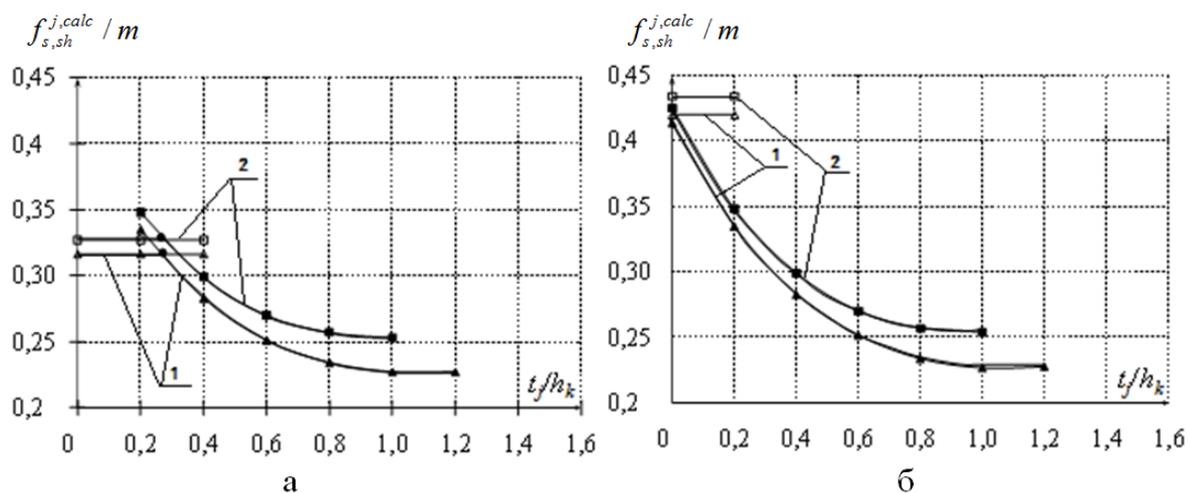


Рисунок 3. График зависимости $f_{s,sh}^{j,calc} / m$ от t_j / h_k при $\gamma = l_k / h_k = 0,5$ (а) и $\gamma = l_k / h_k = 0,25$ (б): 1 — для тяжелого бетона C12/15; 2 — для фибробетона C12/15; +, = — при разрушении стыка «по шпонке»; +, - — «по шву»

В табл. 1 и на рис. 4, 5 приведены наиболее известные зависимости для расчета прочности стыка при разрушении «по шву» как для бетонных (№ 1—4), так и для железобетонных (№ 5—8) элементов.

Таблица 1.

Расчетные зависимости для определения прочности одношпоночных стыков, разрушающихся по шву

№	Расчетные зависимости	Источник
1	2	3
1	$V_{sh,c}^j = b_k h_k \sqrt{f_{ctd} \left(f_{ctd} + \frac{f_{cd} t_j l_k}{2 h_k^2} \right)},$	И.Л. Герасимова [1]
2	$V_{sh,c}^j = 0,75 \sqrt{f_{cd} f_{ctd}} \left(1 - 0,7 \sqrt{\frac{t_j}{h_k}} \right) b_k h_k$	В.В. Погребной [7]
3	$V_{sh,c}^j = 1,5 f_{ctd} h_k b_k \frac{h_k}{t_j + l_k}$	ВСН 72-77 [5], В.И. Лишак, Е. Горачек [9]
4	$V_{sh,c}^j = b_k \frac{t_j}{\eta_\alpha} f_{cd} \sqrt{1 + \eta_\alpha^2 \frac{f_{cd} l_k}{f_{ctd} t_j}},$ где η_α — коэффициент, учитывающий величину распора	И.С. Дербенцев [2]
5	$V_{sh,s}^j = \frac{f_{ywd} A_{sw} h_k}{l_k + t_j} \geq 1,5 f_{ywd} A_{sw}$	Пособие по проектированию жилых зданий [8]

6	$V_{sh,s}^j = \frac{(A_{sh}\sigma + f_{ywd}A_{sw})h_k}{l_k + t_j},$ <p>где $A_{sh} = h_k b_k$ — площадь среза шпонки</p>	ВСН 72-77 [5], В.И. Лишак, Е. Горачек [9]
7	$V_{sh,s}^j = \frac{f_{ywd}A_{sw}h_k}{l_k + t_j},$ $f_{ywd}A_{sw} \leq 2,5f_{ctd}A_{sh}, \quad \frac{h_k}{l_k + t_j} \geq 1,5, \quad A_{sh} = b_k h_k$	Г.Н. Ашкинадзе [4]
8	$\frac{q_u^j}{m} = \left(\left[\frac{2B\sqrt{(k-tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta+1)^2} - (k-tg\beta)}{tg\alpha + tg\beta} + \frac{f_{ctd}}{m}(k+tg\alpha)\frac{tg\beta + t_j/h_k}{tg\alpha + tg\beta} + \frac{f_{yd}A_{sw}k}{mh_k b_k} \right] \frac{1}{\gamma} \right),$ <p>где $B^2 = \frac{(1 + \chi/(1 - \chi)^2)}{3}$, $\chi = \frac{f_{ctd}}{f_{cd}}$, $m = f_{cd} - f_{ctd}$, $\gamma = l_k / h_k$, $k, tg\alpha, tg\beta$ — параметры кинематической схемы разрушения образцов $V_{sh,s}^j = q_u^j b_k h_k$.</p>	Вариационный метод на основе теории пластичности бетона [3; 6]

Графики зависимости относительной прочности одношпоночных стыков от отношения ширины шва к высоте шпонки построены для бетона класса С16/20 ($f_{cd} = 11,5$ МПа, $f_{ctd} = 0,9$ МПа при $\gamma_{c2} = 0,9$), геометрических размеров: $l_k = 50$ мм, $b_k = 200$ мм, $h_k = 100$ мм и отношения $\gamma = l_k / h_k = 0,5$, арматуры 2 Ø8 А240С.

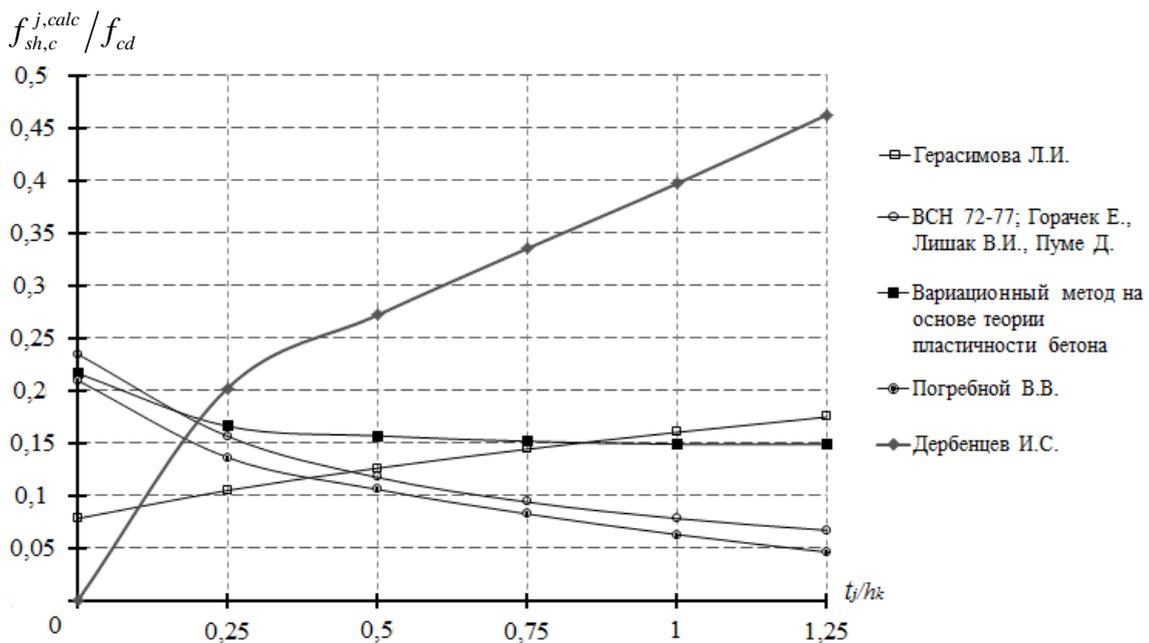


Рисунок 4. Зависимость относительной прочности одношпоночных бетонных стыков $f_{sh,c}^{j,calc} / f_{cd}$ от t_j/h_k

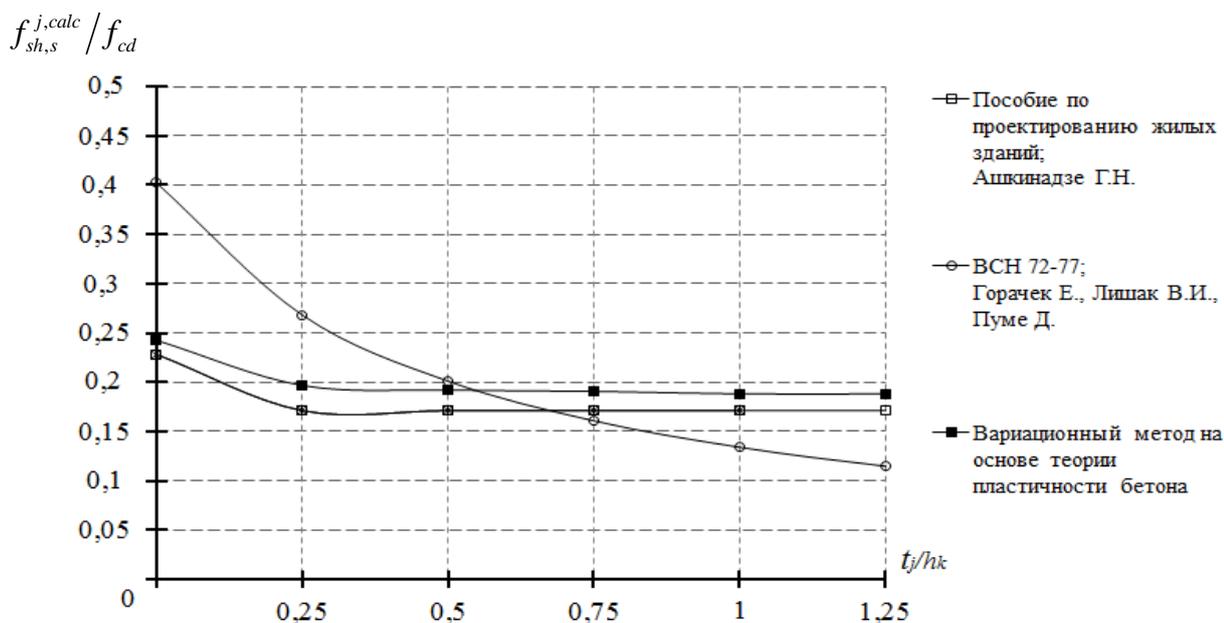


Рисунок 5. Зависимость относительной прочности одношпоночных железобетонных стыков $f_{sh,s}^{j,calc} / f_{cd}$ от t_j/h_k

Данные статистического анализа свидетельствуют о занижении теоретической прочности одношпоночных стыков по методикам ВСН 72-77 [5], В.И. Лишака, Е. Горачека [9] до 50 %, по пособию по проектированию жилых зданий [8] на 13 %, методике Г.Н. Ашкинадзе [4] на 9 %. По вариационному методу на основе теории пластичности бетона [6] значение $f_{s,sh}^{j,calc} / f_{s,sh}^{j,test}$ достаточно близко к единице. При этом последняя методика имеет теоретическое обоснование и более точно отражает реальную работу одношпоночного стыка, разрушающегося по шву.

Вариационным методом в теории пластичности бетона решена задача прочности стыка между плитами перекрытия в безбалочно-бескапитальной системе КУБ-2,5 (стык «Передерия», рис. 6).

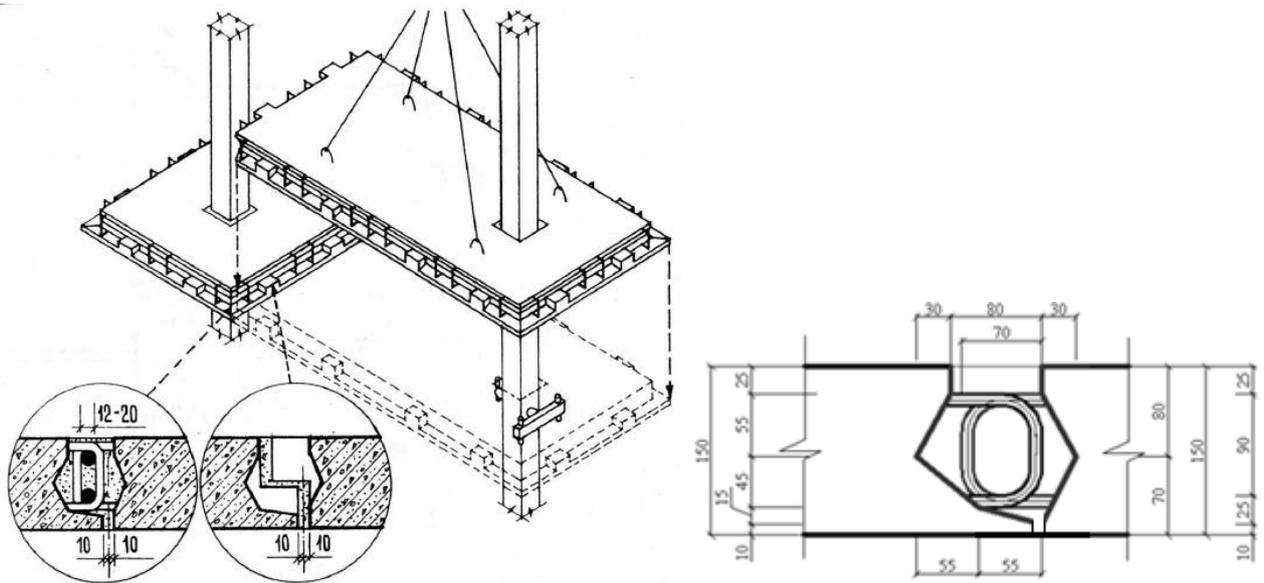


Рисунок 6. Стык «Передерия»

Геометрические характеристики стыка: угол наклона опорных поверхностей шпонки $\psi = 45^\circ$, толщина шпонки равна сумме шпоночных участков по длине стыка $b_k = 0,81 + 0,405 + 0,405 = 1,62 \text{ м}$, высота шпонки $h_k = 0,1 \text{ м}$, глубина $l_k = 0,055 \text{ м}$, $\gamma = \frac{l_k}{h_k} = 0,55$. Бетон замоноличивания класса С32/40: $f_{cd} = 19,8 \text{ МПа}$, $f_{ctd} = 1,26 \text{ МПа}$.

Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. 2. Угол наклона опорных граней шпонки принимаем $\phi = 45^\circ$, толщина шпонки b_k .

Таблица 2.

Прочность стыка «Передерия»

Разрушение "по шву"											
Известные параметры											
Характеристики:											
прочности бетона						шпонки				прочность	
f_{cd} , МПа	f_{ctd} , МПа	χ	m , МПа	B	f_{ctd}/m	h_k , мм	b_k , мм	l_k , мм	γ	t_j/h , мм	V_u , кН
19.8	1.26	0.0636	18.54	0.5979	0.06796	100	1620	55	0.55	0.9	302.65
Неизвестные параметры											
$tg\alpha$		α°		$tg\beta$		β°		k			
0.965313682		43.98887728		-0.028747955		-1.64668296		0.017649245			
$f_{c,sh}/m =$							0.10076554				

Выводы: **1.** Установлены границы реализации разрушения одношпоночных стыков в зависимости от отношения ширины шва t_j к высоте шпонки h_k . **2.** С увеличением ширины шва прочность шпоночного стыка уменьшается, что подтверждается экспериментальными исследованиями. **3.** Для расчета прочности шпоночных стыков рекомендуется использовать вариационный метод в теории пластичности бетона как наиболее точный и имеющий теоретическое обоснование.

Список литературы:

1. Герасимова И.А. Испытание шпоночных замоноличенных вертикальных стыков на сдвиг / И.А. Герасимова // Конструкции жилых зданий. — М.: ЦНИИЭП жилища, 1987. — С. 72—76.
2. Дербенцев И.С. Несущая способность и деформативность шпоночных соединений с петлевыми гибкими связями в стыках крупнопанельных многоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / И.С. Дербенцев / Южно-Уральский государственный университет. — Челябинск, 2014. — 158 с.
3. Довженко О.А. Расчет прочности одношпоночных стыков из фибробетона на полипропиленовых волокнах / О.А. Довженко, В.В. Погребной, И.А. Юрко // Ресурсосберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения: сб. науч. трудов. — Ровно: НУВГП, 2011 — Вып. 22 — С. 307—313.
4. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследование и основы проектирования / Г. И. Ашкинадзе, М. Е. Соколов, Л. Д. Мартынова и др.; под ред. Г. И. Ашкинадзе и М. Е. Соколова. — М.: Стройиздат, 1988. — 504 с.
5. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 72-77. — М.: Стройиздат, 1978. — 177 с.
6. Митрофанов В.П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона / В.П. Митрофанов // Строительная механика и расчет сооружений. — 1990. — № 6. — С. 23—28.

7. Погребной В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. ...канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / В.В. Погребной / Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. — Полтава, 2000. — 236 с.
8. Пособие по проектированию жилых зданий. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85) / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. — М.: Стройиздат, 1989. — Вып. 3. — 304 с.
9. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. Опыт СССР и ЧССР / Е. Горачек, В.И. Лишак, Д. Пуме и др.; под ред. В.И. Лишака. — М.: Стройиздат, 1980. — 192 с.
10. Рожко В.Н. Прочность шпоночных соединений бетонных и железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / В.Н. Рожко / Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. — Полтава, 2008. — 182 с.
11. Юрко И.А. Прочность шпоночных стыков из фибробетона на синтетическом волокне: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / И.А. Юрко / Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. — Полтава, 2012. — 183 с.