

вой втулки. Величина коэффициента $m_{\text{вт}}$ зависит от параметров соединения: угла между направлением усилия и направлением волокон древесины $\alpha(^{\circ})$, диаметра нагеля $d(\text{см})$, толщины стенки стеклопластиковой втулки $t(\text{см})$ и вычисляется по формуле (1).

Таблица 6

Тип соединения	Деформативность на 1 кН, мм (в пределах упругой работы соединения)		
	с втулками	без втулок	Снижение деформативности (количество раз)
90°-24-6	0,032	0,19	5,94
90°-14-6	0,062	0,386	6,23
0°-24-6	0,01658	0,0795	4,79
0°-14-6	0,041	0,1815	4,43
90°-18-8	0,0345	0,209	6,06
90°-18-4	0,03018	0,209	6,92
0°-18-8	0,01682	0,095	5,648
0°-18-4	0,02225	0,095	4,27
45°-24-8	0,0175	0,08276	4,73
45°-24-4	0,018647	0,08276	4,44
45°-14-8	0,025	0,221	8,84
45°-14-4	0,02546	0,221	8,68
45°-18-6	0,02427	0,1118	4,6
45°-18-6	0,01847	0,1118	6,05
45°-18-6	0,0195	0,1118	5,73

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берестнева Г. Э. Нагельные соединения с впрессованными стеклопластиковыми втулками. - Жилищное строительство. - Москва: Стройиздат, 1993, № 1. - с. 19-20.
2. Берестнева Г. Э. Исследование нагельных соединений. - Жилищное строительство. - Москва: Стройиздат, 1993, № 3. - с. 23-25.
3. Берестнева Г. Э. Экспериментальное исследование работы нагельных соединений. - Жилищное строительство. - Москва: Стройиздат, 1993, № 4. - с. 11-13.
4. СНиП II - 25 - 80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. - Москва: Стройиздат, 1982. - 31 с.
5. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. - Москва: Стройиздат, 1980. - 40 с.
6. Окольников Г.Э. Конструкции из дерева и пластмасс. ч. I.: Справочное пособие.-Москва: Строитель, № 4, 2002 г., с. 45-90.
7. Окольников Г.Э. Конструкции из дерева и пластмасс. ч. II.: Справочное пособие.-Москва: Строитель, № 5, 2002 г., с. 47-114.

УДК 621.86./061: 624.073.1

Рак Н.А., Щербак С.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВ БЕСПЕТЛЕВОЙ СТРОПОВКИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших направлений снижения материалоемкости сборных железобетонных конструкций является уменьшение расхода стали на строповочные приспособления, необходимые только на стадии изготовления и монтажа. На строповочные петли многопустотных плит расходуется в зависимости от массы плиты, определяющей диаметр сечения петель, от 2,8 до 6,4 кг арматурной стали класса А-I, что составляет от 6 до 18 % от общего расхода стали на плиту. Таким образом, замена строповочных петель специальными инвентарными захватами позволяет существенно уменьшить расход стали. Это особенно актуально в настоящее время в условиях отсутствия собственного производства стали этого класса на металлургических предприятиях Республики Беларусь.

Для подъема и перемещения плит в стадии изготовления или монтажа вместо закладных петель предлагается использовать инвентарные строповочные устройства анкерного типа — захваты. Конструкция захвата и способ его анкеровки требуют устройства специальных отверстий (проемов) в верхней части плиты.

Захват через указанный проем вводится в полость плиты, устанавливается в рабочее положение путем поворота в плоскости плиты на угол 90° и автоматически фиксируется в таком положении до передачи нагрузки от подъемных устройств. Анкеровка захвата через верхний проем не нарушает традиционную технологию изготовления многопустотных плит, а также обеспечивает равное удобство при погрузочно-разгрузочных и монтажных работах.

Захваты любых модификаций должны отвечать следующему ряду требований: прочности при многократном использовании; удобству продевания чалочных крюков или других устройств грузовых стропов; надежности анкеровки в бетоне сборных элементов. Если первые два из указанных требований можно обеспечить при конструировании и расчете захвата, то обеспечение последнего требует тщательной конструктивной проработки способов анкеровки захвата в бетоне плиты, выполнения в требуемом объеме статических испытаний опытных образцов узлов анкеровки с целью установления возможных видов разрушения и оценки прочности и надежности узла.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования прочности узла анкеровки захвата в бетоне многопустотной плиты были проведены испытания 38 опытных образцов узлов, расположенных в 8 плитах (рис. 1.1 и таблица 1.1). В плите № 2 помимо 4 анкерных отверстий, расположенных по углам плиты, дополнительно были отформованы 8 анкерных отверстий в средней части плиты. При испытании варьировались следующие параметры узла:

- прочность бетона плит;
- угол наклона стропа к плоскости плиты (45° и 90°);
- расположение анкерного отверстия (в углах и в средней части плиты);
- расположение захвата в анкерном отверстии.

Плиты были изготовлены на завод СЖБ-1 АП «Минскжелезобетон» (плиты № 1-3) и Барановичском Заводе СЖБК (плиты № 4-8) по традиционной технологии. Плиты № 1-4, и № 6-8 проходили тепловую обработку по стандартному режиму, а бетон плиты № 5 твердел в естественных условиях. Контроль прочности бетона плит осуществляли по кубам размерами $100 \times 100 \times 100$ мм, изготовленных одновременно с плитами и подвергнутым аналогичной тепловой обработке. Испытания плит № 1-3 проводились в лабораторном корпусе БНТУ на 61-65 сутки после изготовления плит, плит № 4, 5 — в испытательном цехе Барановичского завода СЖБК в возрасте соответственно 2 и 5 суток, а плит № 6-8 на полигоне склада готовой продукции Барановичского завода СЖБК в возрасте 45 суток. При испытании использовались захваты 301-000, изготовленные ПО «Строймаш» и прошедшим после изготовления проверку ОТК на соответствие требования паспорта на захват.

Методика проведения испытаний узлов анкеровки захвата была разработана таким образом, чтобы обеспечить условия работы области анкеровки максимально приближенные к имеющим место при реальном подъеме и перемещении плиты.

Плиты перед испытанием укладывались на силовой пол и либо крепились при помощи перекидных балок к силовому полу, либо пригружались бетонными блоками. Установка для испытания плит в лабораторном корпусе БНТУ состояла из рамы, жестко закрепленной к силовому полу. На траверсе рамы располагался блок, при помощи которого изменялся угол наклона соединенной с захватом ветви стропа при испытании узла с углом наклона к плоскости плиты 45° . При вертикальном направлении ветви стропа приложение нагрузки к захвату производилось напрямую, без использования блока. При помощи индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм измерялись перемещения края анкерного отверстия посередине его продольной стороны. Индикаторы крепились на переносной рамке, имевшей три точки опоры, значительно удаленные от места приложения нагрузки (рис. 1). Таким образом, перемещения измерялись относительно заранее выбранной условно неподвижной плоскости измерения.

Нагрузка к захвату прикладывалась через соединенную с ним ветвь стропа с помощью мостового крана (рис. 1). Величина нагрузки контролировалась при помощи эталонных динамометров с пределами измерения 50 или 100 кН с ценой деления соответственно 0,5 и 1 кН. Нагрузка прикладывалась этапами по 4...5 кН. На каждом этапе снимались показания индикаторов. При повышении на-

грузки визуалью по показаниям индикаторов фиксировали момент нарушения анкеровки захвата, когда происходил резкий рост показаний приборов. После этого индикаторы снимались и узел доводился до разрушения. По окончании испытаний составлялась карта трещин и производилось фотографирование вида разрушенного узла.



1 — переносная рамка; 2 — индикатор часового типа; 3 — захват

Рисунок 1 — Установка индикаторов при испытании узлов анкеровки захвата.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные экспериментальные исследования узлов анкеровки показали, что разрушение всех узлов имело ярко выраженный хрупкий характер и происходило по двум схемам. Основные результаты испытаний с указанием схем разрушения представлены в таблице 1, а вид зон анкеровки после разрушения узлов приведен на рис. 2.

При *первой* схеме разрушение наступало в результате выкалывания из плиты части бетона, имеющей вид пирамиды, верхнее основание которой ограничено габаритами опорных пластин захвата, а боковые грани наклонены под углом примерно 45° к направлению приложения усилия. При этом разрушение бетона имело локальный характер, а область разрушения не захватывала межпустотные ребра плит.

При *второй* схеме разрушения после образования в межпустотных ребрах плиты трещин отрыва следовало немедленное разрушение узла с одновременным выкалыванием бетона по поверхности, имеющей сложное пространственное положение и пересекающей не только примыкающие к анкерному проему межпустотные ребра, но и в ряде случаев соседние. Такой вид разрушения следует рассматривать как крайне неблагоприятный и необходимо исключить путем постановки в межпустотных ребрах поперечной арматуры.

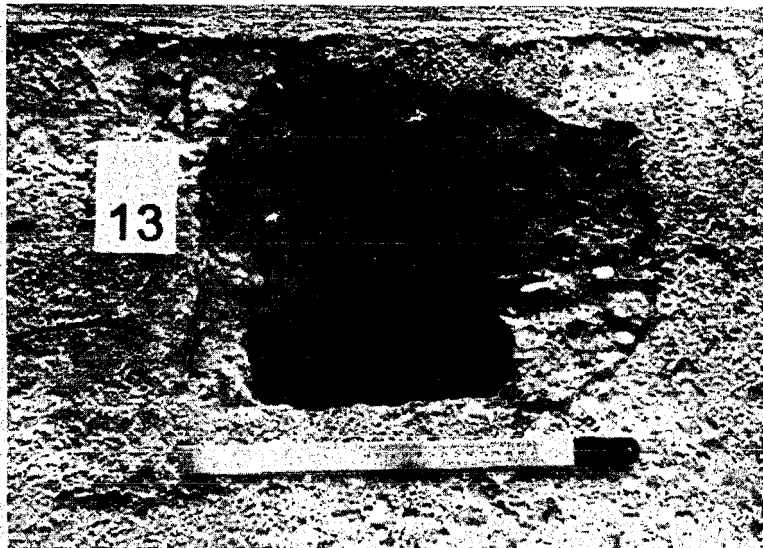
Четыре узла анкеровки разрушить не удалось из-за недостаточной мощности грузоподъемного оборудования. В связи с этим в запас расчета максимально достигнутые при испытании нагрузки принимались в качестве разрушающих.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В связи с тем, что разрушение всех узлов беспетлевой строповки происходило хрупко в результате выкалывания бетона и при одновременном разрыве межпустотных ребер плиты с выкалыванием бетона, в качестве характеристики свойств бетона при дальнейшем анализе была принята прочность бетона на осевое растяжение.

Зависимость для расчета разрушающей нагрузки N_{Rd} на узел беспетлевой строповки может быть представлена в следующем виде

а



б

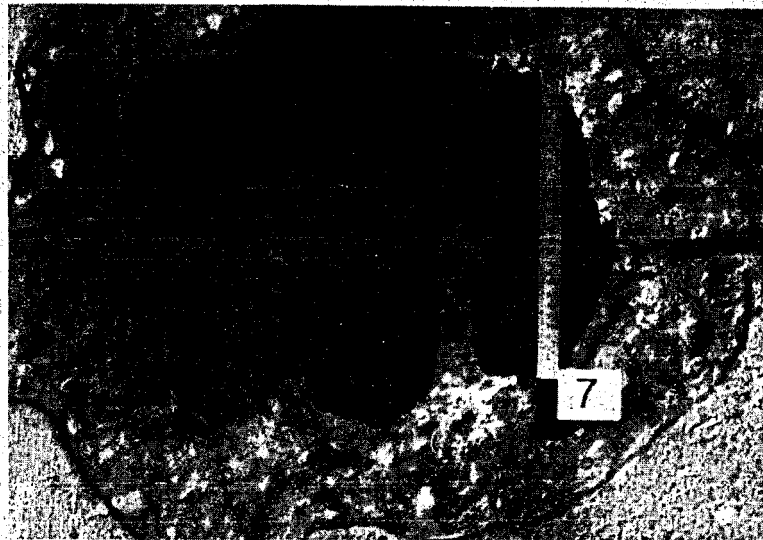


Рисунок 2 – Вид разрушения при выкалывании бетона (а) и разрыве межпустотных ребер при одновременном выкалывании (б): на линейке отмечен размер 300 мм

$$N_{Rd} = f_{ct} \cdot A_{ct,eff} \quad (1)$$

где f_{ct} – сопротивление бетона осевому растяжению;

$A_{ct,eff}$ – условная (эффективная) площадь бетона, сопротивляющегося растягивающим напряжениям.

Тогда, исходя из опытных величин разрушающих нагрузок при известной величине прочности бетона на осевое растяжение, для каждого испытания можно определить экспериментальные значения эффективной площади бетона по формуле

$$A_{ct,eff} = \frac{N_{Rd}}{f_{cm}} \quad (2)$$

Результаты выполненных вычислений представлены в табл. 2

В первые две группы образцов вошли данные по испытаниям многопустотных плит №1-3. Сопоставительный анализ средних величин эффективной площади растянутого бетона при различных углах наклона стропа показал, что при угле 45° величина эффективной площади выше на 20%, чем при угле, равном 0° . Это свидетельствует о вовлечении в работу большей области бетона, непосредственно примыкающей к месту приложения нагрузки. Обращает также на себя внимание и более низкий разброс значений эффективной площади, полученных в испытаниях при угле наклона 45° .

Таблица 1 — Основные результаты испытаний узла беспетлевой строповки плит

№ исп.	№ плиты ^а	Прочность бетона, МПа	Положение захвата в проеме	Угол наклона стропы, град.	Разрушающая нагрузка F_u , кН	Характер разрушения ^б		
1	1	30	крайнее	0	50	ВБ		
2			крайнее	45	47	ВБ		
3	2	31	крайнее	45	50	ВБ		
4			крайнее	45	49	ВБ		
5			среднее	0	47	ВБ		
6			среднее	0	42	ВБ		
7			среднее	0	56	РР		
8			среднее	0	42	ВБ		
9			крайнее	45	53	РР		
10			крайнее	45	56	РР		
11			среднее	0	38	РР		
12			среднее	0	45	ВБ		
13			среднее	0	48	ВБ		
14			среднее	0	35	ВБ		
15			3	27	крайнее	45	57	РР
16					крайнее	45	52	РР
17	крайнее	0			35	ВБ		
18	крайнее	0			47	ВБ		
19	4	14	крайнее	0	40	НР		
20			крайнее	0	36,5	НР		
21			крайнее	0	25	РР		
22			крайнее	0	28	РР		
23	5	15	крайнее	0	35	ВБ		
24			крайнее	0	37,5	НР		
25			крайнее	0	37,5	НР		
26			крайнее	0	35	РР		
27	6	26	крайнее	0	45	ВБ		
28			крайнее	0	50	ВБ		
29			крайнее	0	46	ВБ		
30			крайнее	0	46	ВБ		
31	7	28	крайнее	0	49	ВБ		
32			крайнее	0	48	ВБ		
33			крайнее	0	36	ВБ		
34			крайнее	0	47	ВБ		
35	8	24	крайнее	0	29	ВБ		
36			крайнее	0	42	ВБ		
37			крайнее	0	37	ВБ		
38			крайнее	0	48	ВБ		

^а Номерам плит соответствуют следующие марки: 1, 2, 3 — ПК57.15-5АтVc; 4, 5 — ПК48.12-5АтIV;

6 — ПК60.15-5АтVc; 7, 8 — ПК30.12-5АтVc

^б ВБ — выкалывание бетона; РР — разрыв межпустотных ребер с одновременным выкалыванием бетона; НР — узел не разрушен

Таким образом, экспериментально установлено существенное влияние на максимальное усилие в стропе угла его наклона, что необходимо учитывать в расчете. Поскольку основным при строповке является угол наклона 45°, дальнейший анализ был проведен для этого случая. Для учета повышенного вовлечения в работу бетона при этом угле наклона все величины разрушающих усилий, полученные при вертикальном положении стропы, при дальнейшей обработке корректировались путем умножения на опытный коэффициент $k_\alpha = 1,2$.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных

№№ образцов	Угол наклона стропы, град.	Кол-во образцов	Среднее значение $A_{ct,eff}$, мм ²	Коэффициент вариации
1,5-8, 11-14, 17, 18	0	11	25147	0,145
1-4, 9, 10, 15, 16	45	7	30041	0,097
19-38	0	20	29206	0,157
1-38 (с учетом $k_\alpha = 1,2$ при угле наклона стропы 0°)	45	38	32716	0,163

Результаты обработки всего массива экспериментальных данных приведены в последней строке таблицы 2. При среднем значении эффективной площади $A_{ct,eff} = 32700 \text{ мм}^2$ коэффициент вариации составил 0,163. На наш взгляд, полученный разброс значений комплексно характеризует изменчивость условий контактного взаимодействия захвата с плитой и неоднородность бетона в многопустотных плитах, которая была выявлена в исследованиях [2, 3, 4]. Согласно этим исследованиям наблюдается систематическая изменчивость прочности бетона по длине и высоте плит, которая является проявлением особенностей технологии укладки и уплотнения бетона этих плит. Прочность бетона верхней полки меньше в среднем на 20 %, чем прочность бетона нижней. Если прочность бетона нижней полки мало изменяется по длине, то прочность бетона верхней полки уменьшается от глухого торца плиты к открытому торцу примерно на 20 %. Таким образом, систематическое отклонение в сторону уменьшения прочности бетона верхней полки у открытого торца плиты от средней прочности бетона плиты может достигнуть примерно 30 %.

Все перечисленные факторы трудно поддаются непосредственному учету при проектировании. В связи с этим надежность беспетлевой строповки плит должна быть обеспечена с помощью системы коэффициентов безопасности норм проектирования [5].

Тогда с учетом полученной экспериментально величины эффективной площади допускаемую массу груза G при угле наклона стропы 45° рекомендуется назначать по формуле

$$G = \frac{0,7 \cdot f_{ctd} \cdot A_{ct,eff}}{\gamma_G \cdot \gamma_d \cdot g} \quad (3)$$

- где $0,7$ – коэффициент приведения нагрузки в стропе к вертикальной нагрузке;
 f_{ctd} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, определенное при коэффициенте безопасности по бетону безопасности для расчета конструкций по предельным состояниям первой группы (согласно нормам [5] $\gamma_c = 1,8$ для бетонных элементов) исходя из обеспеченной при производстве передаточной, распалубочной или отпускной прочности бетона на сжатие при подъеме плиты из формы;
 $A_{ct,eff}$ – величина эффективной площади растянутого бетона, определенная по результатам испытаний при угле наклона стропы 45° ;
 γ_G – коэффициент надежности по нагрузке (согласно приложению А норм [5] для конструкций заводского изготовления при обеспеченной системе контроля качества $\gamma_G = 1,15$);
 γ_d – коэффициент динамичности к массе изделия (согласно п. 12.1.1.4 норм [5] $\gamma_d = 1,4$);
 g – ускорение силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$);

По результатам вычисления по формуле (3) допустимая масса груза на захват при величине обеспеченной при производстве передаточной, распалубочной или отпускной прочности бетона на сжатие при подъеме плиты из формы 14 МПа стропы составила 830 кг. При условии подъема плиты четырьмя захватами нагрузка от плиты считается приложенной равномерно между тремя захватами.

Таким образом, допустимая масса плиты в этом случае ограничивается величиной суммарной допустимой нагрузки на три захвата, т.е. 2490 кг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9561-91. Плиты перекрытий железобетонные многопустотные для зданий и сооружений. Технические требования. / Госкомитет СССР по строительству и инвестициям. – М: Издательство стандартов, 1992. – 22 с.
2. Клевцов В. А., Коревицкая М. Г., Вайнгартен Г. И. К разработке системы неразрушающего контроля многопустотных панелей. // Контроль качества и надежности железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. – С.16-27.
3. Клевцов В. А., Сизов Г. В. Характер распределения прочности в многопустотных панелях // Бетон и железобетон. – 1975. – № 6.
4. Коревицкая М. Г., Артамонова В. Н., Лапенис Т. Ю. Анализ качества изготовления предварительно-напряженных ребристых и многопустотных плит. // Совершенствование конструктивных форм, методов расчета и проектирования железобетонных конструкций. – М., 1983; – С. 155-162.
5. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.: РУП «Минсктиппроект», 2003. – 140 с.

УДК 621.86.061:624.073.1

Рак Н.А., Щербак С.Б.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕСТНОЙ НАГРУЗКИ В УЗЛАХ БЕСПЕТЛЕВОЙ СТРОПОВКИ

ВВЕДЕНИЕ

Замена строповочных петель, устанавливаемых в таких массовых железобетонных изделиях, как многопустотные плиты, специальными грузозахватными устройствами позволяет существенно уменьшить расход стали.

Для использования захватов при изготовлении плиты устраивают проемы в ее верхней части. Перед подъемом плиты захваты вводятся через проемы в ее полость и фиксируются в рабочем положении. При таком способе строповки бетон плиты в месте установки захвата испытывает сложное напряженно-деформированное состояние, характеризующееся появлением опасных напряжений растяжения.

При расчете такой узел строповки следует рассматривать как систему геометрически сложных элементов из разнородных материалов, обладающих неупругими свойствами. При этом контактное взаимодействие элементов узла (захвата и бетона плиты) происходит по заранее неизвестным площадкам в условиях граничного трения и возможного проскальзывания. Из-за нечеткого контакта возможно смятие бетона плиты в пределах опорных элементов захвата или преждевременное разрушение кромок анкерного проема.

Обеспечение прочности и надежности узлов беспетлевой строповки требует расчетно-теоретического обоснования и экспериментального подтверждения. Сложная геометрия плиты в области анкерования не позволяет в полной мере использовать подходы норм проектирования [1] для расчета этого узла. В связи с этим, наряду с традиционными экспериментальными методами исследований [2], узлы беспетлевой строповки целесообразно исследовать имеющим широкие возможности методом конечно-элементного анализа.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ УЗЛА СТРОПОВКИ

Задачу исследования напряженно-деформированного состояния узла беспетлевой строповки плиты следует рассматривать в трехмерной упругой постановке при статическом приложении внешней нагрузки на плиту.

При подъеме плиты за четыре точки нагрузку от собственной массы конструкции считают, как правило, равномерно распределенной на три строповочных узла. Реализация трехточечной схемы распределения массы плиты при построении конечно-элементной модели требует рассмотрение системы «плита-захваты» в целом. Для получения приемлемой точности решения требуется достаточно подробная дискретизация элементов захвата и плиты в области анкерования. Очевидно, что выполнять решение этой задачи в такой строгой постановке практически не целесообразно. В связи с этим при выполнении численного анализа узла беспетлевой строповки вполне допустимо принятие ряда упрощений и допущений.

При этом было принято во внимание, что результаты экспериментально-теоретических исследований [3] поведения многопустотной плиты при подъеме и перемещении показали, что наибольшие внутренние усилия возникают в средней части конструкции в направлениях загруженной диагонали и