

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

по нормали к ней. Влияние общего напряженно-деформированного состояния плиты на интенсивность и распределение напряжений в области анкеровки захвата невелико.

Исходя из этого, при построении расчетной модели узла анкеровки захвата выделена угловая область в плане плиты, ограниченная плоскостью продольной симметрии плиты и ортогональной секущей плоскостью, проходящей на расстоянии 580 мм от открытого торца.

Расположение ограничивающих плоскостей примерно соответствует пределам стабилизации напряжений в плите при местном приложении нагрузки и обеспечивает симметрию модели. Пределы затухания местных возмущений оценены с учетом высоты сечения плиты, размеров анкерного проема и опорных элементов захвата. Моделируемая часть плиты в дальнейшем рассматривается независимо от основного массива плиты, действие которого частично учитывалось наложением связей.

Величина угла в плоскости плиты между ее продольной осью и возможным направлением ветви стропы зависит от размеров плиты и составляет 6-10°. Пренебрегая величиной этого угла при построении модели можно ограничиться рассмотрением половины выделенной области плиты. В зависимости от используемых строповочных приспособлений нагрузка на захват может передаваться под различными углами к плоскости плиты. По требованиям безопасности величина этого угла не может быть менее 45°. Для расчетов приняты две величины угла — 45° и 90°.

Построение геометрической модели узла анкеровки захвата выполнено на основе метода описания границ с использованием процедур генерации (размножения), экструдирования, симметризации и переноса геометрических примитивов (точка, линия, поверхность, объем).

В качестве базовой плиты для моделирования и дальнейшего расчета выбрана плита ПК60.12 (рис. 1). Для упрощения геометрических построений величины некоторых размеров базовой плиты округлены, а незначительные детали формы не учитывались.

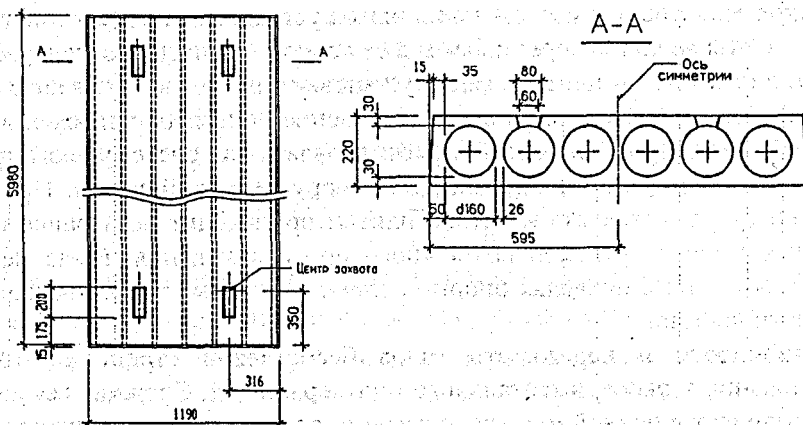


Рисунок 1 – Вид многупустотной плиты с отверстиями для беспетлевой строповки

Дискретизация нормального сечения плиты выполнена нерегулярным разбиением на треугольники и прямоугольники со сгущением конечноэлементной сетки к центру межпустотного ребра и в зоне контакта. На основе дискретизированных сечений путем «экструзии», «протягивания» и симметричного отображения получена геометрическая модель анкерного узла в виде набора объемов, которые в дальнейшем были разбиты в автоматическом режиме на узлы и конечные элементы (рис.2).

Объемы, представляющие часть плиты, заполнялись 6- и 8-узловыми конечными элементами призматической формы типа SOLID.

Согласно проектной документации и стандарту [4], плита изготавливается из тяжелого бетона, подвергнутого тепловой обработке при атмосферном давлении. Расчетные параметры бетона назначены с учетом отпускной прочности, составляющей 70 % от проектной, т.е. приняты по нормам как для тяжелого пропаренного бетона класса $C^{11}/_{14}$.

Для всех моделируемых силовых деталей захвата (опорный элемент, дуга, распорка, сварной шов (рис. 2, б)) приняты характеристики, соответствующие прокатной стали марки Ст3пс5.

Учитывая то, что при моделировании в силу предполагаемой симметрии рассматривалась половина выделенной области анкеровки, лежащие в плоскости симметрии узлы закреплены от смещения из этой плоскости.

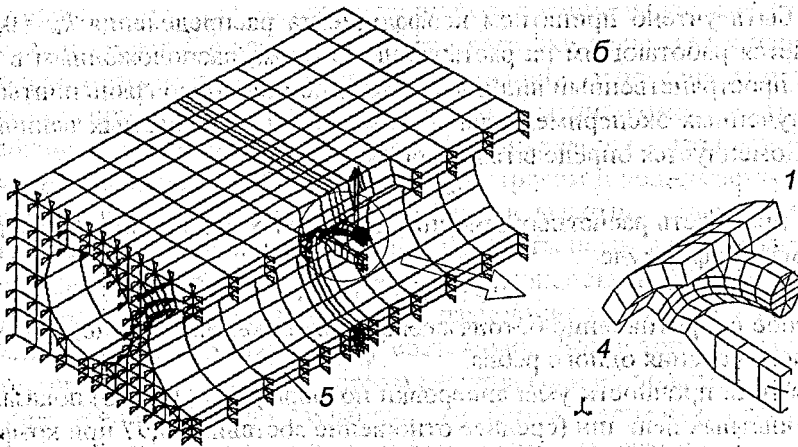


Рисунок 2 – Вид КЭ-моделей узла анкеровки в целом (а) и ½ захвата (б):
 1 — опорный элемент; 2 — дуга; 3 — распорка; 4 — сварной шов;
 5 — связи на перемещения узлов по направлению OX

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ УЗЛОВ БЕСПЕТЛЕВОЙ СТРОПОВКИ

Анализ деформированных схем ряда моделей показал, что при изменении угла наклона ветви стропы к плоскости плиты в диапазоне 45-90°, взаимодействие захвата с бетоном происходит по всей площади возможного контакта.

Напряжения в поперечных сечениях плиты примерно соответствуют получаемым из расчета методами сопротивления материалов, за исключением примыкающей к захвату области. Величины этих напряжений не превышают предельных значений в стадии, когда такое состояние достигается в продольных сечениях межпустотных ребер.

В примыкающих к анкерному проему межпустотных ребрах плиты при приложении нагрузки от захвата возникают растягивающие напряжения (рис. 3).

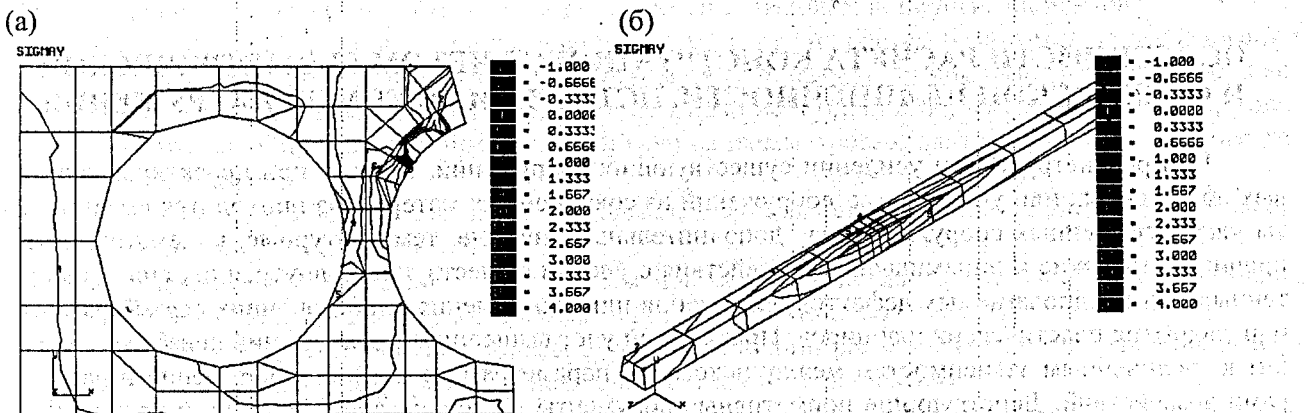


Рисунок 3 – Характер распределения вертикальных напряжений σ_y (МПа) в месте установки захвата (а) и по длине межпустотного ребра (б)

Эпюра этих напряжений симметрична относительно центра захвата и имеет длину $b = 340$ мм. Напряжения в указанных ребрах распределяются неравномерно по длине плиты, при этом величина коэффициента полноты эпюры напряжений ω_w (отношение величины среднего по длине эпюры напряжения к максимальному) составила 0,5. При этом максимальные по величине напряжения действуют в месте соединения захвата с плитой.

Распределение напряжений по ширине ребра (рис. 3, б) также неравномерно — на расположенной со стороны анкерного проема грани ребра наблюдаются значительные по величине растягивающие напряжения, а на противоположной — небольшие сжимающие. Согласно результатам расчетов на конечно-элементных моделях эксцентриситет равнодействующей усилий в ребре относительно центра тяжести сечения ребра составляет $0.3h$, где h — минимальная толщина ребра. Межпустотные ребра плит в пределах эпюры растягивающих напряжений воспринимают 30 % полной нагрузки на

захват, что может быть учтено принятием коэффициента распределения $k_w = 0,3$. Остальная часть усилия воспринимается работающим на растяжение бетоном, расположенным в расчетном сечении, имеющем сложный пространственный вид и пересекающем верхнюю грань плиты наклонно к ней.

С учетом полученных экспериментальных и теоретических данных величины предельной нагрузки N_u захват рекомендуется определять по формуле

$$N_u = N_{wt} / k_w \quad (1)$$

где N_{wt} — суммарная прочность расчетных сечений продольных ребер при внецентренном растяжении, определяемая по формуле

$$N_{wt} = 1,25 f_{ctd} \cdot b_{ef} \cdot h, \quad (2)$$

здесь f_{ctd} — расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, $b_{ef} = \omega_w b$ — условная эффективная ширина расчетного сечения одного ребра.

Результаты расчета прочности узла анкеровки по формулам (1) и (2) показали хорошую сходимость расчетных и опытных величин (среднее отношение составило 0,97 при коэффициенте вариации 0,152).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. — Мн.: РУП «Минсктиппроект», 2003. — 140 с.
2. Рак Н. А., Щербак С. Б. Исследование узлов беспетлевой строповки железобетонных многпустотных плит // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура, 2004
3. Бердичевский Г. И., Крамарь В. Г., Воробьев А. Н. Трещиностойкость многпустотных панелей перекрытий при воздействии монтажных нагрузок // Предварительно-напряженные конструкции зданий и инженерных сооружений / НИИЖБ Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1977. — С. 128-134.
4. ГОСТ 9561-91. Плиты перекрытий железобетонные многпустотные для зданий и сооружений. Технические требования. / Госкомитет СССР по строительству и инвестициям. — М.: Издательство стандартов, 1992. — 22 с.

УДК 624.04

Сидорович Е. М.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ, ИСТОРИИ И РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ

При реконструкции и усилении существующих сооружений, а также при проектировании новых облегченных или уникальных сооружений из современных материалов приходится вести расчеты уже нагруженных сооружений на дополнительные силовые, температурные, кинематические и прочие статические и динамические воздействия с учетом существующих внутренних сил, приобретенных или предполагаемых дефектов, включения или выключения односторонних связей, развития или закрытия пластических шарниров. Правильный учет вышеописанных явлений неизбежно приводит к нелинейным зависимостям между искомыми параметрами состояния сооружений и параметрами воздействий. Действующие нормативные документы не только допускают, но и рекомендуют проводить расчеты сооружений с учетом геометрической и физической нелинейности. Только нелинейная теория позволяет обоснованно определить распределение внутренних сил в элементах сооружения в рабочем или предельном состояниях, оценить его способность противостоять заданным и дополнительным, неучтенным воздействиям, т. е. убедиться в реальной несущей способности, жесткости и устойчивости сооружения при эксплуатации.

В данной работе рассматриваются общие особенности работы и расчета произвольных плоских или пространственных нелинейно деформируемых несущих систем, стержневых, тонкостенных или массивных. Современная теория расчета деформируемых систем, основанная на методе конечных элементов, позволяет проводить расчеты любых конструктивных схем с единых методологических позиций, как в линейной постановке, так и в нелинейной.

При этом теряет свою актуальность классификация расчетных схем сооружений на геометрически изменяемые и геометрически неизменяемые, на статически определимые и статически неопределимые. На первое место выходит классификация текущих состояний равновесия деформированных несущих систем на устойчивые и неустойчивые состояния равновесия. Только в устойчивом состоя-