

— отсутствует возможность гибко реагировать на любые трудности, возникающие у российской стороны;

— учитывая специфику строительного производства, организации несут значительные издержки, связанные с перебазировкой кадров, оснастки, организацией строительного процесса, обеспечением условий проживания.

Для получения возможности работать с крупными государственными заказчиками Российской Федерации организациям необходимо вступление в саморегулируемые организации СРО. Это является основным направлением деятельности по обеспечению экспорта. В настоящее время членами СРО являются все крупнейшие подрядные организации области.

Экспорт строительных услуг в 2016 году сводился, как правило, за исключением организаций крупнопанельного домостроения, к вывозу только рабочей силы. Опыт работ подрядных организаций области за пределами республики показывает низкую экономическую эффективность работы на субподряде у зарубежных компаний.

При больших трудозатратах, в конечном итоге, в объем экспорта строительных услуг, в доход организации и объем подрядных работ включается лишь заработная плата за выполненные виды работ (в редких случаях компенсация за эксплуатацию машин и механизмов). Объем работ, идущий за счет экспорта, составляет в таких случаях порядка 20–25% от аналогичного объема работ, выполненного в республике при выполнении полного комплекса работ по объекту.

Одним из направлений для минимизации затрат на объектах Российской Федерации - создание строительными организациями области обособленных подразделений (филиалов) в российских регионах.

На сегодня видно, что количество экспортных объектов на территории Республики Беларусь сокращается. Учитывая, что программа развития экспорта рассчитана до 2020 года, единственная возможность ее выполнения — это наращивание объемов за пределами страны.

Список цитированных источников

1. Белорусский комитет по статистике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by> – Дата доступа: 26.02.2017.

2. Итоги работы строительного комплекса Брестской области. Статистический сборник Брестской области. – Брест, 2016.

3. Инвестиции и строительство в Республике Беларусь. Статистический сборник – Минск, 2016.

УДК 624.012

Горбат Я.В., Лизогуб А.А.

Научный руководитель: к.т.н. Тур А.В.

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ МОНОЛИТНЫХ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ СЕТОЧНОГО МЕТОДА

Введение. В настоящее время все больше внимания уделяется вопросам, связанным с нелинейным поведением конструктивных систем в различных расчетных ситуациях. В связи с этим достаточно остро встала проблема адекватного выполнения таких расчетов. Это относится как к описанию свойств материалов при расчете, так и при описании самой расчетной схемы и степени ее идеализации.

При расчете плоских дисков перекрытия особую сложность вызывает описание и врезка линейного пластического шарнира. Для выполнения нелинейного расчета таких плит был выбран метод сеток [1], в котором основные параметры сетки разбиения, жесткостные характеристики и свойства пластических шарниров должны быть скорректированы в соответствии с действительной работой системы.

Цель нашей работы состоит в том, чтобы применить модель сетки [1] для нелинейного статического анализа монолитной плоской плиты. Рассматриваемая модель описывает линейное поведение плоских плитных конструкций. Пластическая реакция конструкции сосредоточена в точечных шарнирах, введенных в балочные конечные элементы, которые моделируют реакции при изгибе, кручении и сдвиге. Этот тип модели позволяет оценивать внутренние воздействия на стыки «плита–колонна». Описание их нелинейного поведения позволяет оценить полную реакцию конструкции. В частности, можно оценить надежность соединений в отношении продавливания и конструктивной деформативности.

Основные положения сеточного метода. Плита моделируется сеткой из стержневых конечных элементов, закрепленных в узлах, расположенных в двух ортогональных направлениях (рисунок 1, а). Колонны моделируются двумя стержневыми элементами — один сверху и один под плитой. Стержневые конечные элементы воспринимают эффекты от изгиба, кручения, осевой и сдвиговой деформации. Каждый узел обладает шестью степенями свободы.

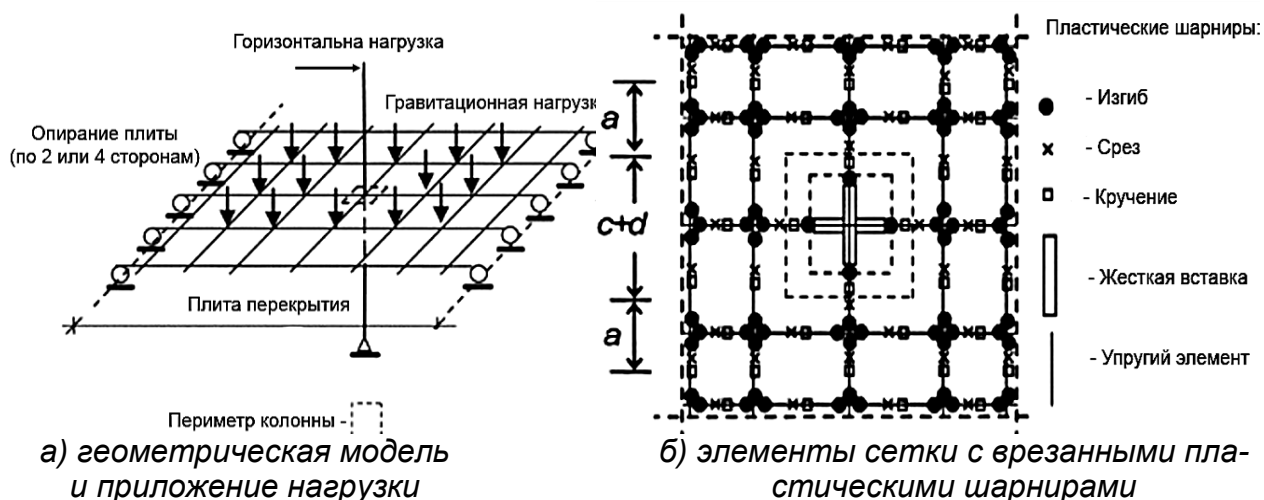


Рисунок 1 – Сеточная модель плиты

Элементы сетки работают по линейно-упругой модели. Нелинейную работу описывают с помощью врезки в узлы этих элементов пластических шарниров, которые моделируют изгиб, срез и кручение в пластической стадии. Два главных изгибных шарнира расположены на концах элемента, где достигается максимальный изгибающий момент. Шарнир кручения и шарнир сдвига расположены в центре, так как сдвиг и кручение постоянны на всей длине элемента сетки (рисунок 1, б).

Шаг сетки должен быть достаточно густым рядом с колоннами, чтобы получить хорошее приближение влияния нагрузки на плиту, так как в этих зонах существует концентрация напряжений. Элементы сетки могут быть расставлены с большим шагом в других местах.

Жесткие вставки с длиной равной поперечному сечению колонны, размещены в центре сопряжения плиты с колонной (рисунок 1, б). Элементы, пересе-

кающие колонну, имеют ширину, равную $s + d$ (где s — длина стороны колонны и d — средняя рабочая высота сечения плиты), которая является шириной критического сечения сдвига в соответствии с определением ACI 318 [2] и является такой же для кручения в поперечном направлении. Пластический шарнир сдвига врезается в каждый из этих элементов на расстоянии $d / 2$ от торца колонны.

Изгибное нелинейное поведение сосредоточено на большей ширине, чем сдвиговое, и считается равным $s + 3d$ согласно ACI 318 [2]. Часть его моделируется шарнирами изгиба элементов, обрамляющих колонны, а остальная часть — шарнирами соседних элементов. Что касается других элементов сетки, существуют следующие решения:

1) постоянный шаг $s + d$ для всех элементов, что упрощает геометрию, а также определение свойств элемента;

2) постоянный шаг $2d$, приводящий к довольно густой сетке.

Эти два типа сеток приводят к эквивалентным результатам с точки зрения реакции всей конструкции.

Элементы сетки имеют жесткость, определенную с учетом влияния трещинообразования, по этой причине для всех элементов назначается скорректированная исходная жесткость.

Пластический шарнир изгиба описывается упрощенной трехлинейной диаграммой «момент-кривизна» (рисунок 2). Исходными параметрами для получения аналитической зависимости «момент-кривизна» являются геометрические характеристики сечения, характеристики бетона и арматуры.

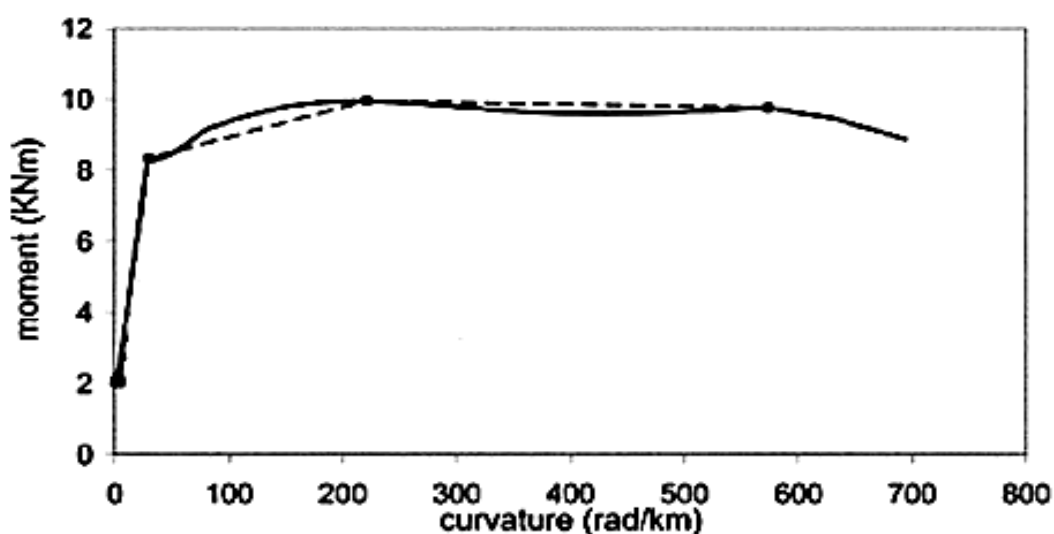


Рисунок 2 – Аналитическая и аппроксимированная трехлинейная диаграмма «момент-кривизна»

Полученная из расчета зависимость затем аппроксимируется трехлинейной диаграммой, которая будет представлена в качестве входных данных для модели. Длина пластических шарниров изгиба принимается равной d (рабочая высота сечения плиты). При расчете не учитывается эффект проскальзывания.

Численный эксперимент. Для проверки принятых предположений, при назначении параметров элементов сетки, был выполнен численный эксперимент с целью верификации полученных результатов на фоне опытных данных, полученных в экспериментальных исследованиях ряда авторов [3], [4].

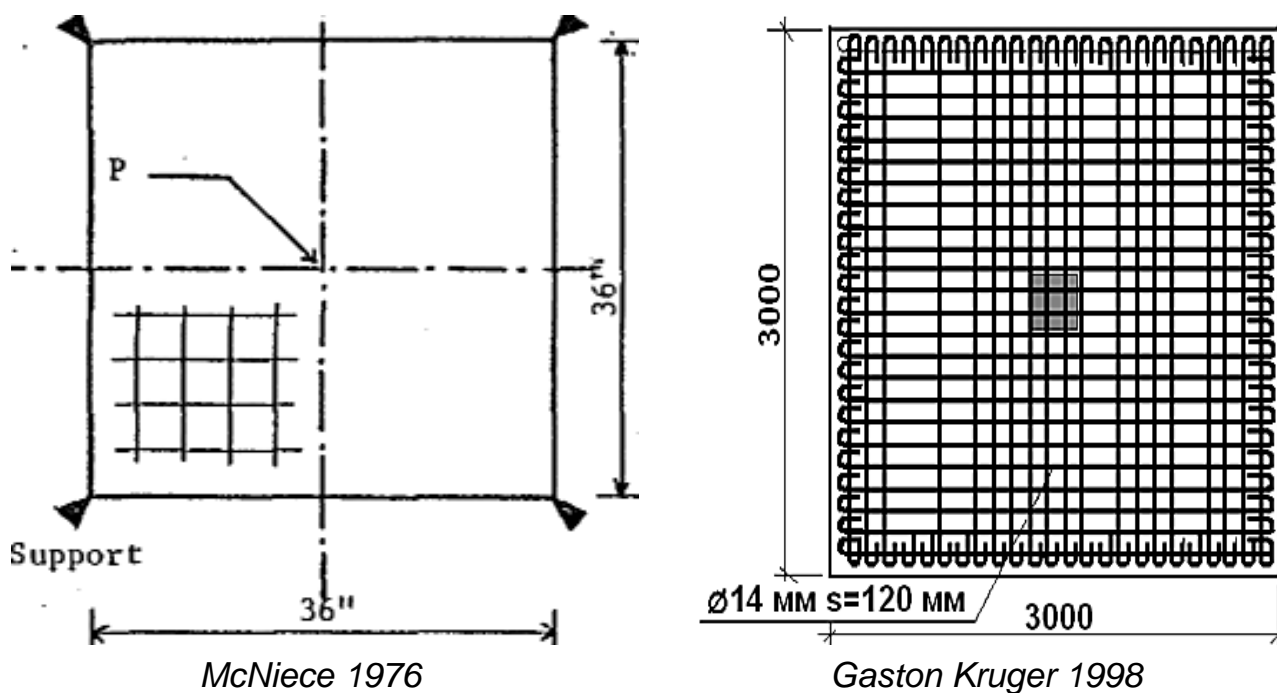


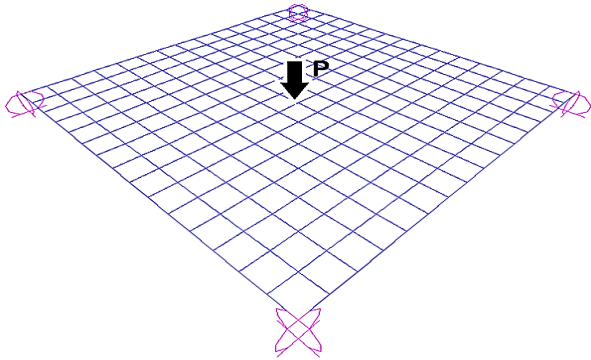
Рисунок 3 – Схемы плит и их армирование

Данные плиты были выбраны нами из-за характера их разрушения, так как в данном численном эксперименте нас интересует образование пластических шарниров изгиба в плоских плитах перекрытия. Основные характеристики образцов представлены в таблице 1.

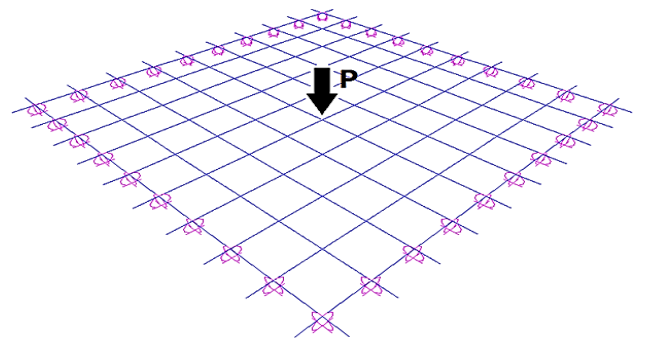
Таблица 1 – Основные характеристики плит

Автор	Закрепление	Нагрузка, P	Класс бетона	Класс арматуры	Продольное армирование			Поперечное армирование		
					$\rho_x, \%$	$\varnothing, \text{мм}$	шаг, мм	$\rho_y, \%$	$\varnothing, \text{мм}$	шаг, мм
McNiece [3]	Шарнирно закреплена в углах	Сосредоточенная нагрузка в центре плиты	C ³⁰ / ₃₇	S400	0.85	14	120	0.85	14	120
Gaston Kruger [4]	Оперта по контуру		C ³⁵ / ₄₅	S400	0.86	14	120	0.86	14	120

Моделирование плит сеточным методом выполнялось в программном комплексе SAP2000. Разбиение сетки принималось согласно правилам, описанным выше. Ширина и шаг балок принимались $2d$, где d — это рабочая высота сечения. Нагрузка прикладывалась в виде сосредоточенных сил в центральных узлах плит.



Плита, шарнирно закрепленная в углах, сосредоточенная нагрузка приложена в центр плиты (McNiece 1976)



Плита опёрта по контуру, сосредоточенная нагрузка приложена в центр плиты (Gaston Kruger 1998)

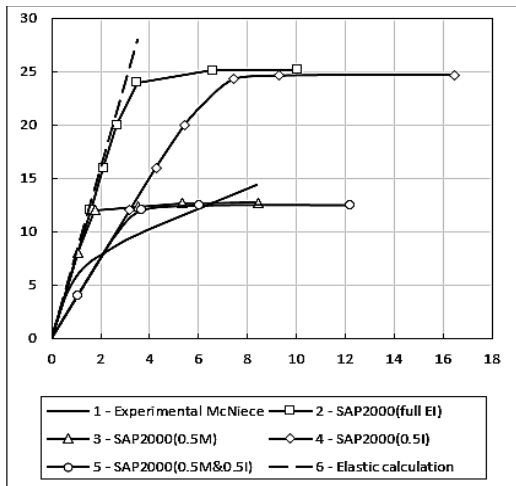
Рисунок 4 – Сеточная модель плит в SAP2000

Характеристики пластического шарнира изгиба описываются диаграммой «момент–кривизна», полученной аналитически с учетом средних характеристик материалов (таблица 2).

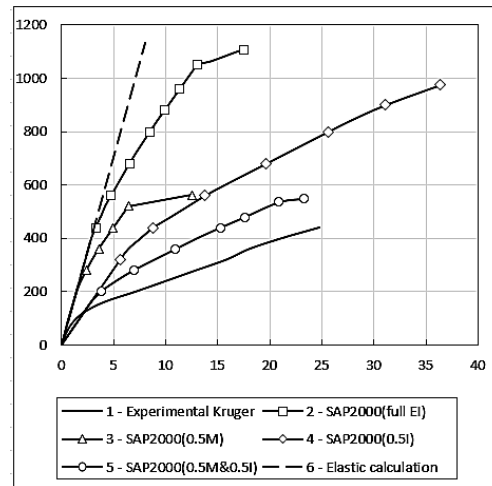
Таблица 2 – Характеристики пластических шарниров изгиба в SAP2000

McNiece 1976			Gaston Kruger 1998			
Характеристики пластического шарнира						
Displacement Control Parameters						
Point	Moment/SF	Curvature/SF		Point	Curvature/SF	
E-	-340000	-0.000463		E-	-21400000	-0.000114
D-	-330000	-0.0002785		D-	-20500000	-0.0000699
C-	-320000	-0.000097		C-	-19500000	-0.0000258
B-	-320000	0		B-	-19500000	0
A	0	0		A	0	0
B	320000	0		B	19500000	0
C	320000	9.700E-05		C	19500000	2.580E-05
D	330000	2.785E-04		D	20500000	6.990E-05
E	340000	4.630E-04		E	21400000	1.140E-04
Модифицированные характеристики пластического шарнира (0.5M _y)						
Displacement Control Parameters						
Point	Moment/SF	Curvature/SF		Point	Curvature/SF	
E-	-170000	-0.000463		E-	-10700000	-0.000114
D-	-165000	-0.0002785		D-	-10225000	-0.0000699
C-	-160000	-0.000097		C-	-9750000	-0.0000258
B-	-160000	0		B-	-9750000	0
A	0	0		A	0	0
B	160000	0		B	9750000	0
C	160000	9.700E-05		C	9750000	2.580E-05
D	165000	2.785E-04		D	10225000	6.990E-05
E	170000	4.630E-04		E	10700000	1.140E-04

Первоначально расчету подвергалась схема с немодифицированными характеристиками жесткостей элементов сетки как в линейно-упругой стадии (диаграмма 2, рисунок 5), так и в пластической стадии работы элементов, при которой их работа осуществляется с активированными пластическими шарнирами. После сравнения диаграммы «сила-перемещение», полученной при данном расчете, с экспериментальной, было установлено значительное завышение силы, соответствующей началу пластической работы.



McNiece 1976



Gaston Kruger 1998

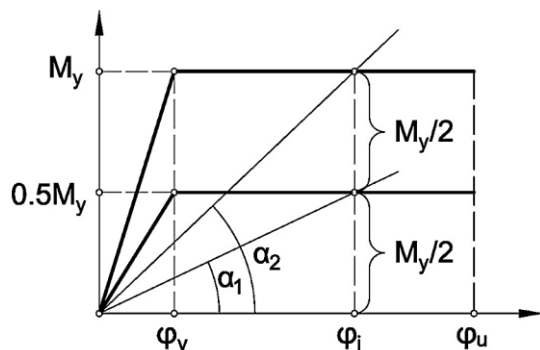
Рисунок 5 – Диаграмма «сила-перемещение»

Это может свидетельствовать о том, что углы поворота и, как следствие, перемещения, соответствующие началу пластической работы в немодифицированной системе, достигаются значительно позже, чем при проведении эксперимента. Это может быть связано с неадекватным описанием жесткостных параметров либо в линейно-упругой стадии, либо в пластической стадии, либо в обеих стадиях вместе.

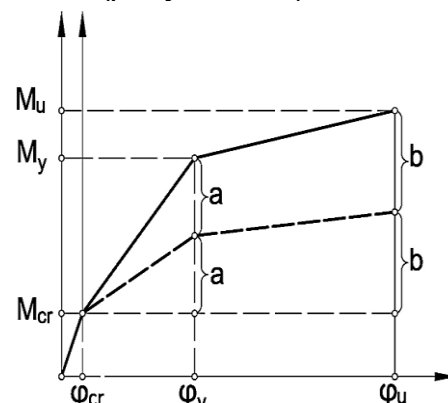
Для исследования влияния изменения жесткости в линейно-упругой и пластической стадии работы элементов были произведены расчеты с модифицированными характеристиками жесткостей элементов сетки в упругой стадии работы элементов. Как видно из полученной диаграммы 4 (рисунок 5), значение силы, соответствующей началу пластической работы элементов, не изменилось, но изменился начальный модуль упругости системы.

Это говорит о том, что изменение характеристик жесткостей в упругой стадии не приводит к адекватному описанию работы системы (рисунок 5).

Как известно, жесткостью сечения является тангенс угла наклона касательной к диаграмме момент-кривизна, т. е. в более жесткой системе тому же углу поворота будет соответствовать большее значение момента чем в менее жесткой. Таким образом, снизить жесткость в пластической стадии — это подобрать такое значение момента, при котором соответствующее ему значение угла поворота будет соответствовать реальному поведению конструктивной системы (рисунок 6, а).



а) корректировка жесткости



б) корректировка жесткости с учетом момента трещинообразования

Рисунок 6 – Диаграмма «момент-кривизна»

Так как изменение жесткости только в упругой стадии не привело к адекватному решению (диаграммы 4, 5; рисунок 5), снижаем значение момента при той же кривизне в 2 раза, тем самым снизив в 2 раза тангенс угла наклона и жесткость системы. Результат снижения жесткости системы в линейно-упругой и пластической стадиях (уменьшение момента в 2 раза) показан на диаграмме 3 (рисунок 5).

Учитывая, что упругий расчет плиты, описанный четырехугольными элементами, был выполнен без учета изменения жесткости в результате трещинообразования и показал хорошую сходимость с упругим расчетом (график 6, рисунок 5), выполненным сетками, и начальной частью экспериментальной диаграммы, можно сделать вывод о том, что до момента трещинообразования и плита, описанная сетками, и плита, описанная плитными элементами, адекватно описывает поведение системы.

Таким образом, в задании пластического шарнира необходимо заложить момент трещинообразования, и корректировку жесткости выполнять после момента трещинообразования путем уменьшения момента в два раза (рисунок 6). Результат расчета с учетом такой корректировки представлен на рисунке 7.

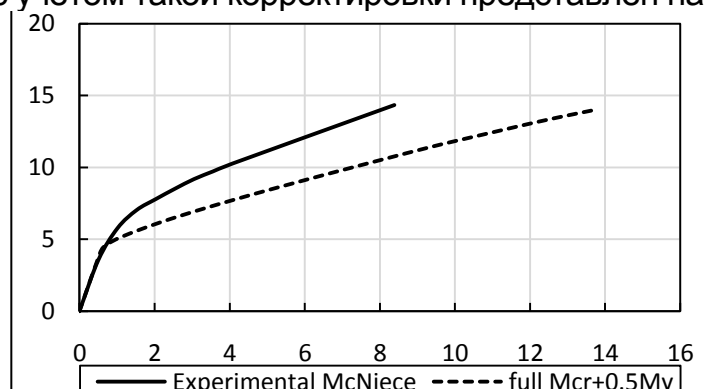


Рисунок 7 – Диаграмма «сила-перемещение», полученная с учетом трещинообразования

Заключение. Сравнив результаты, мы можем сделать вывод, что изменение жесткости в линейно-упругой стадии не требуется, необходима корректировка жесткости в пластической стадии.

Дальнейшее расхождение в экспериментальной диаграмме и диаграмме, полученной сеточным методом, связано с изменением жесткости после образования трещин. Данная корректировка жесткости должна быть учтена при задании свойств пластического шарнира и описания переходной части диаграммы из линейно-упругой (до образования трещин), в пластическую.

Описанная выше сеточная модель позволяет оценивать воздействия на стыки «плита-колонна». Описание их нелинейного поведения позволяет оценить полную реакцию конструкции. В частности, можно оценить надежность соединений в отношении продавливания и конструктивной деформативности.

Список цитированных источников

1. CORTI G. Grid model for the non-linear behavior of R/C flat-slab subjected to gravity and lateral loads. – 2010.
2. ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05). American Concrete Institute, Farmington Hills. – Michigan, 2005.
3. Bashur, F.K. Nonlinear model for reinforced concrete slabs / F.K. Bashur, D. Darwin – University of Kansas Center for Research, Inc., 1976.
4. Krüger, G. Punching tests on RC flat slabs with eccentric loading / G. Krüger, O. Burdet, R. Favre. // Proceedings of the 2nd Int. Ph. D. Symposium in Civil Engineering, Budapest 1998. – Proceedings of the 2nd Int. Ph. D. Symposium in Civil Engineering, Budapest 1998, 1998. – №. EPFL-CONF-111634. – С. 1–8.