

УДК 69.07

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ОБЛЕГЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С НЕИЗВЛЕКАЕМЫМИ ВКЛАДЫШАМИ- ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Уразалина Регина Жанаковна

regina.uazalina@mail.ru

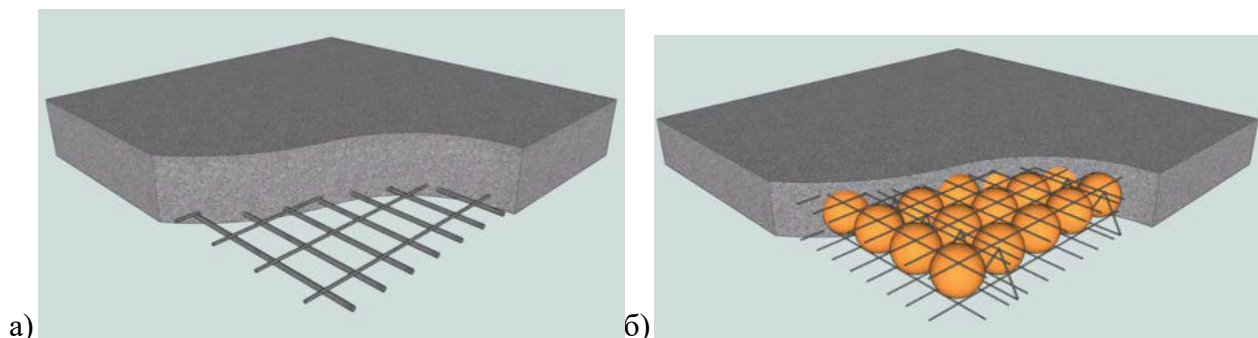
магистрант кафедры «Проектирование зданий и сооружений»

Архитектурно-строительного факультета,

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель –Цыгулёв Д.В.

В современном строительстве зданий и сооружений огромное внимание уделяется экономической эффективности, что является одной из важных проблем. Для ее решения применяют новые конструктивные формы, одними из которых являются облегченные монолитные плиты перекрытия. Уменьшение расхода строительных материалов при сохранении несущей способности конструкций обеспечивает существенный экономический эффект. Международным лидером в области производства многопустотных монолитных плит перекрытий является компания Bubble Deck, которая использует шарообразные пластиковые пустотообразователи. Различия между сплошной монолитной плитой и облегченной плитой перекрытия с пустотообразователями представлены на рисунке 1[2].



а)

б)

Рис.1 - Сплошная монолитная плита (а); плита с пустотообразователями (б)

Поперечное сечение Bubble Deck похоже на обычные сборные многопустотные плиты перекрытия. Последние имеют недостаток в виде передачи сил только в одном направлении, поэтому такие плиты нуждаются в поддержке обоих концов балками или стенами.

Статические расчеты многопустотных плит с применением технологии Bubble Deck выполняются в соответствии со стандартными нормами Еврокода 2, действующего на территории РК [3]. Для расчета конструкции плиты перекрытия Bubble Deck используется упрощенная модель поперечного сечения - взаимопересекающиеся двутавры. Элемент, содержащий пустотообразователи, идеализируется в I-образном сечении (рис.2). В настоящее время расчеты несущей системы здания чаще всего производят методом конечных элементов, применяя вычислительные комплексы SCAD, Stark-ES, SAP2000 и др.

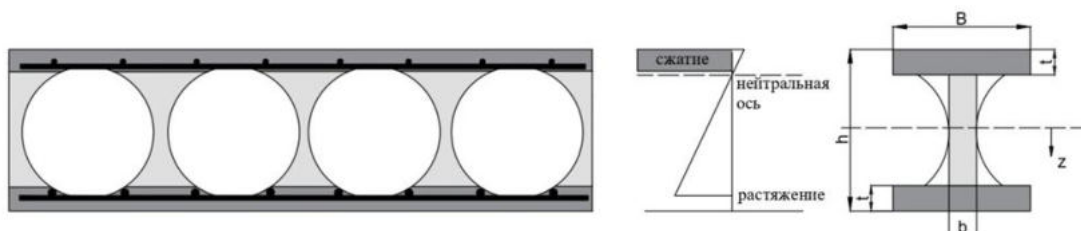


Рис.2 - Распределение напряжений в железобетонном сечении при изгибающем моменте. Расчётное поперечное сечение

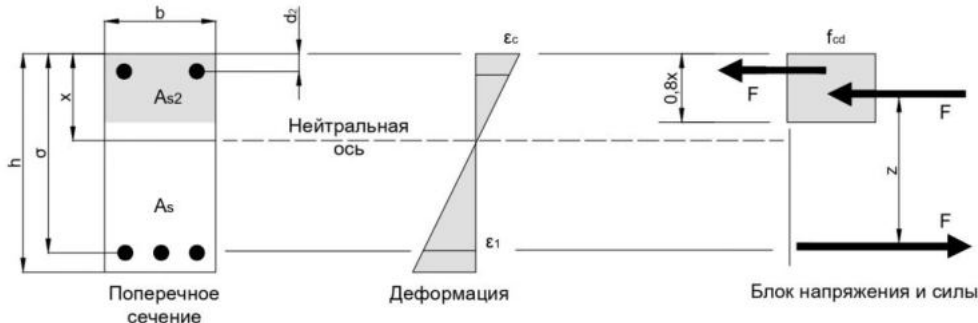


Рис.3 - Стандартная блок-схема напряжений по Еврокоду 2

Пустоты расположены в середине поперечного сечения, где бетон оказывает ограниченное воздействие, сохраняя при этом сплошные участки верхней и нижней частей, где могут существовать высокие напряжения. Таким образом, плита является полностью функциональной в отношении как положительного, так и отрицательного изгиба.

В нижней части каркасов расположены рабочие арматурные стержни, воспринимающие растягивающие усилия (рис.3). В зонах пересечения перекрытия с колоннами сохраняются сплошные монолитные участки с арматурными каркасами, обеспечивающими восприятие возникающих в этих зонах максимальных усилий.

Работа плиты Bubble Deck схожа с работой сплошной монолитной плиты. Проектирование облегченных плит перекрытия производится с меньшей нагрузкой, соответствующей уменьшенному количеству бетона. Важно подчеркнуть некоторые различия в статических расчетах между плитами. Основное различие между сплошной монолитной плитой и многопустотной плитой - это сопротивление сдвигу. Из-за меньшего объема бетона сопротивление сдвигу также будет ниже.

Для плиты Bubble Deck сопротивление сдвигу пропорционально количеству бетона, в связи с особой геометрией, сформированной эллипсоидальными пустотами, что позволяет всему бетону быть эффективным. На практике, уменьшенное сопротивление сдвигу не

приводит к проблемам, так как пустотообразователи отсутствуют в местах с высоким сдвигом, то есть в зоне установки колонн и стен.

Для всех безбалочных плит перекрытий в месте соединения колонны с перекрытием возникают большие касательные напряжения. Поэтому в зонах примыкания плиты перекрытия к колоннам пустотообразователи не устанавливаются (рис.4).

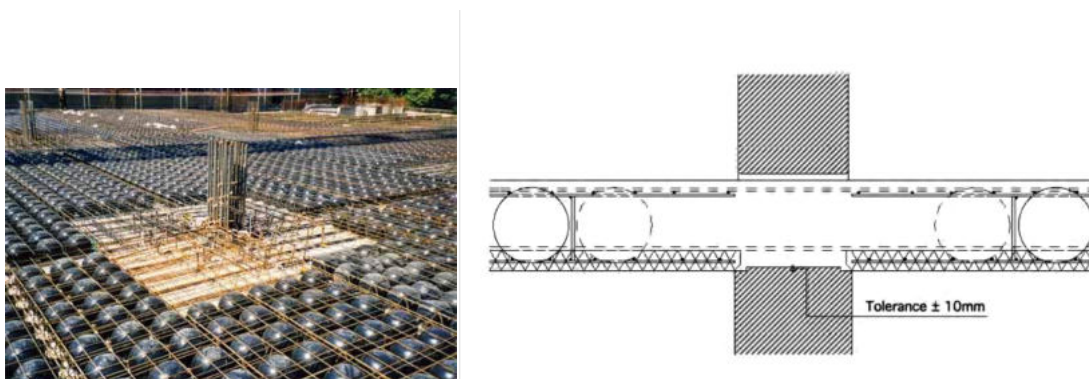


Рис.4 – Зона примыкания плиты перекрытия к колонне

Основные этапы расчёта плиты перекрытия:

- подбор поперечного сечения (толщина плиты, размер пустотообразователей, защитный слой бетона);
- предварительный расчёт плиты перекрытия согласно Еврокоду 2, с учётом уменьшенной нагрузки и приведенной жёсткости;
- определение монолитных участков;
- проверка прочности плиты перекрытия.

Расчет прочности на изгиб для прямоугольного поперечного сечения может выполняться традиционным расчётом для сплошной монолитной плиты, если соблюдается следующее ограничение [5]:

$$\mu_{sds} = m_{sd} \cdot D_{BD} \cdot \frac{1,96}{d_B^3 \cdot f_{ck}} \leq 0,2$$

где, μ_{sds} - относительный изгибающий момент в зоне пустотообразователя;

m_{sd} - максимальный изгибающий момент;

D_{BD} – диаметр шарика;

d_B – статическая высота;

f_{ck} - характеристическая прочность.

Расчёт плиты перекрытия Bubble Deck можно производить согласно данным, вычисленным фирмой производителем и приведенным в таблице 1[4]. Расстояние между осями пустотообразователями может варьироваться. Затем следует адаптировать снижение нагрузки в зависимости от количества оставшихся пустотообразователей на квадратный метр.

Таблица 1. Технические характеристики

Диаметр шара [см]	18.00	22.50	27.00	31.50	36.00	40.50	45.00
Минимальное расстояние между осями [см]	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00

Максимальное количество шаров [1/м ²]	25.00	16.00	11.11	8.16	6.25	4.94	4.00
Рекомендуемая минимальная толщина плиты [см]	23.00	28.00	34.00	40.00	45.00	52.00	58.00
Снижение нагрузки на шар [кН]	0.08	0.15	0.26	0.41	0.61	0.87	1.19
Максимальное снижение нагрузки на м ² [кН/м ²]	1.91	2.39	2.86	3.34	3.82	4.29	4.77
Коэффициент жесткости [-]	0.88	0.87	0.87	0.88	0.87	0.88	0.88
Коэффициент сдвига [-]	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

Выполнен расчёт плиты перекрытия с использованием системы Bubble Deck.

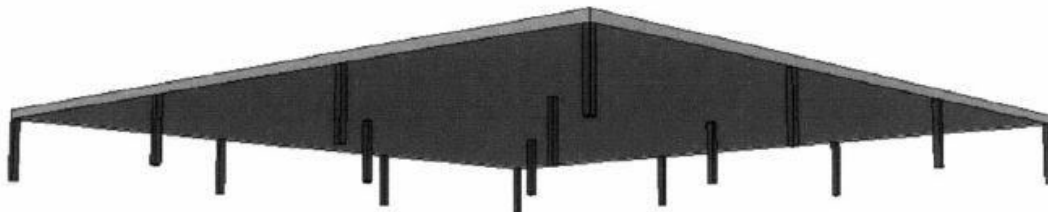


Рис. 5. – 3D модель рассчитываемой плиты перекрытия

Система: локально поддерживаемая плита с тремя пролётами в каждом направлении (рис.5).

Пролет: 9м x 9м.

Нагрузка: приложенная нагрузка на плиту перекрытия 5 кН/м², дополнительная нагрузка 1,5 кН/м².

Толщина плиты перекрытия: 35 см.

Выбранный размер пустотоборозователя: 27 см.

Технические характеристики выбираем в соответствии с таблицей 1.

Определение внутренней нагрузки:

$$0,35\text{м} \cdot 25 \text{ кН/м}^3 - 2,86 \text{ кН/м}^2 = 5,89\text{кН/м}^2$$

Оценка деформации, принимая во внимание коэффициент жесткости 0,87 (рис.6,7):

- Деформация в состоянии I с 30% приложенной нагрузки на плиту перекрытия: $f_{I,1} = 7,4 \text{ мм}$;
- Деформация в состоянии I от внутренней нагрузки: $f_{I,2} = 4,8 \text{ мм}$;
- Деформация в состоянии II с учетом доли деформации зависящей от времени:

$$f_{II,1} = 7,4 \text{ мм} \cdot 4 = 29,6\text{мм}$$

$$f_{II,2} = f_{II,1} - f_{I,2} = 25\text{мм} \leq 12,7/500 = 25\text{мм}$$

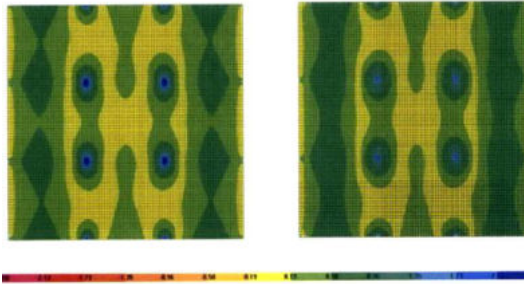


Рис.6. - Распределение напряжений по XX

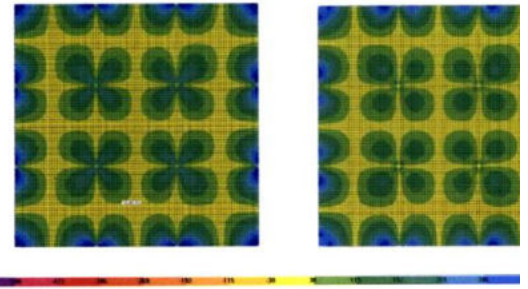


Рис.7. - Распределение напряжений по XY

Проверка поперечной силы:

Предельное значение для сплошной монолитной плиты:

$$V_{Rd,ct} = 0,134 \text{ МН/м}$$

Предельное значение для Bubble Deck:

$$V_{Rd,ct} = 0,60 \cdot 0,134 \text{ МН/м} = 0,080 \text{ МН/м}$$

Зоны с поперечной силой ≥ 0.080 МН/м должны быть монолитными (рис.8).

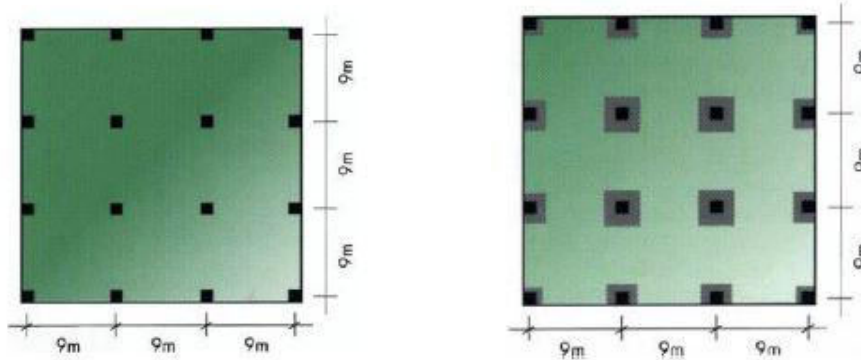


Рис. 8. – Зоны с монолитными участками

Расчетная прочность на изгиб: согласно расчету методом конечных элементов максимальное расчетное значение для изгибающего момента составляет 152 кН/м.

Относительный изгибающий момент:

$$\mu_{sds} = 0,152 \cdot 0,27 \cdot \frac{1,96}{0,33 \cdot 45} = 0,066 \leq 0,2$$

Проектирование может быть выполнено традиционными методами расчёта плиты перекрытия.

На основании анализа расчёта плиты перекрытия с использованием системы Bubble Deck, можно сделать следующие выводы:

1) Расчет облегченных плит перекрытия производится как для монолитной сплошной плиты перекрытия с учетом нескольких дополнительных факторов, поэтому можно говорить о целесообразности использования и преимуществах новой технологии.

2) Сравнение расположения колонн в плане при традиционном методе устройства перекрытий и устройстве перекрытий по системе Bubble Deck показывает достоинства последнего: уменьшается количество колонн, увеличиваются пролеты, уменьшается расход материалов (рис.9).

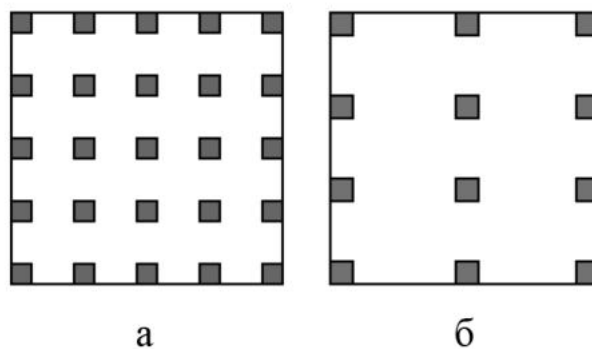


Рис. 9. - План расположения колонн [5]:
 а – перекрытие в виде сплошной монолитной плиты,
 б – перекрытие системы Bubble Deck

3) Снижение расхода материалов позволит сократить время строительства, снизить общие затраты. Кроме того, это приводит к снижению собственного веса конструкций.

4) Методика расчета плиты перекрытия согласно Еврокоду 2 выполняется с учетом требований нормативных документов РК.

Список использованных источников

1. АГСК-1 Перечень нормативных правовых актов и нормативных технических документов в области архитектуры, градостроительства и строительства, действующих на территории Республики Казахстан (по состоянию на 15 января 2020 года).
2. BubbleDeck System. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bubbledeck-uk.com/>.
3. СП РК EN 1992 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций.
4. BubbleDeck Design Guide.
5. "BubbleDeck Engineering Design and Properties Overview" BubbleDeck Voided Flat Slab Solutions- Technical Manual and Documents (2007).