

УДК 692.52:624.012.3/4

## ПРИМЕНЕНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА В ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

С.А. Бугаевский, докторант, к.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Проведен сравнительный анализ современных технологий устройства облегченных железобетонных перекрытий, применяемых в Украине. Выполнено усовершенствование технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий за счет перехода от технологии двухстадийного бетонирования к технологии с применением самоуплотняющегося бетона. Даны основные рекомендации по подбору состава самоуплотняющегося бетона с учетом современных требований.

*Ключевые слова:* облегченные железобетонные перекрытия, неизвлекаемый вкладыш-пустотообразователь, двухстадийное бетонирование, суперпластификатор, самоуплотняющийся бетон.

## ЗАСТОСУВАННЯ БЕТОНУ, ЗДАТНОГО ДО САМОУЩІЛЬНЕННЯ, В ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ПОЛЕГШЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ

С.О. Бугаєвський, докторант, к.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

*Анотація.* Проведено порівняльний аналіз сучасних технологій улаштування полегшених залізобетонних перекриттів, що застосовуються в Україні. Виконано удосконалення технології улаштування полегшених залізобетонних перекриттів за рахунок переходу від технології двостадійного бетонування до технології із застосуванням бетонів, здатних до самоущільнення. Дано основні рекомендації з підбору складу бетону, здатного до самоущільнення, з урахуванням сучасних вимог.

*Ключові слова:* полегшені залізобетонні перекриття, недобуваний вкладиш-пустототворювач, двостадійне бетонування, суперпластифікатор, бетон, здатний до самоущільнення.

## USE OF SELF-COMPACTING CONCRETE IN TECHNOLOGY OF BUILDING REINFORCED-CONCRETE VOIDED SLABS

S. Buhaevskiy, Doctoral Student, Ph. D. (Eng.),

Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* Comparative analysis of modern technologies of building reinforced-concrete voided slabs used in Ukraine is carried out. Improvement of the technology of building reinforced-concrete voided slabs due to transition from concrete to the two-stage technology, using self-compacting concrete is continued. The key recommendations on the selection of the composition of self-compacting concrete in accordance with modern requirements are given.

*Key words:* reinforced-concrete voided slabs, hollow core, two-stage concreting, superplasticiser, self-compacting concrete.

### Введение

В Украине находит широкое применение технология устройства облегченных железобетонных

бетонных перекрытий при строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений [1, 2].

Процесс создания эффективных строительных конструкций самым тесным образом связан с технологией их изготовления. Хорошо известны случаи, когда самые оригинальные конструктивные решения не находят применения из-за отсутствия соответствующего технологического обеспечения. Поэтому, в тесной взаимосвязи с усовершенствованием облегченных железобетонных перекрытий, осуществляется разработка соответствующих технологических процессов, суть которых сводится к использованию захороняемых вкладышей для формирования внутренней геометрии конструкции перекрытия.

### Анализ публикаций

Применение захороняемых вкладышей из вторичных пенополистирола, пенополиэтилена и полиуретана, с целью снижения материалоемкости при заданной несущей способности в различных железобетонных элементах (стенные панели, панели перекрытия, покрытия, диафрагмы жесткости, балки-стенки) из обычного и легкого бетона, было предложено профессором Шмуклером В.С. еще в начале 90-х годов [3, 4]. Из критерия  $\partial S / \partial h = 0$  ( $S$  – вес элемента,  $h$  – толщина элемента) определяют количество внутренних ребер, при котором вес элемента минимален [4].

Проведем сравнительный анализ современных технологий устройства облегченных железобетонных перекрытий, применяемых в строительстве.

Согласно патенту [5] в способе устройства сборно-монолитного железобетонного перекрытия осуществляют формирование в одной опалубке армированных главных и второстепенных балок, балочных плит с вкладышами. В качестве неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей в балочной плите применяют железобетонные прямоугольные блоки, выполненные с углублениями по контактными поверхностям для лучшего сцепления с монолитным бетоном перекрытия (рис. 1).

Предлагаемый способ реализуют следующим образом. После возведения колонн каркаса или несущих внешних и внутренних стен монтируют опалубку с плоским днищем, на которую в проектное положение устанавли-

вают нижнюю сетку балочной плиты 2, каркасы 4 и 6 соответственно второстепенных и главных балок и выполняют бетонирование нижнего слоя перекрытия. После этого на отформованный слой бетона укладывают железобетонные вкладыши с пустотами 8, устанавливают верхнюю сетку 3 балочной плиты 1 и продолжают бетонирование перекрытия до его полного проектного размера.

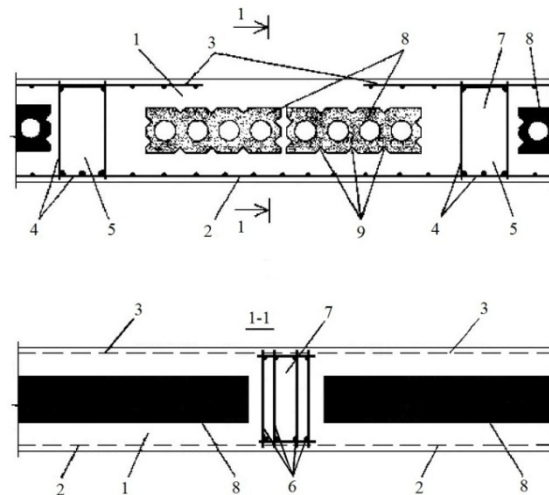


Рис. 1. Конструкция сборно-монолитного железобетонного перекрытия: 1 – балочная плита; 2, 3 – арматура нижней и верхней сеток; 4 – арматурный каркас второстепенной балки; 5 – второстепенная балка; 6 – арматурный каркас главной балки; 7 – главная балка; 8 – вкладыш с пустотами; 9 – углубления во вкладыше

Основным недостатком предложенного способа является недостаточное уменьшение собственного веса облегченного перекрытия только за счет отверстий в железобетонных вкладышах.

Развитием предложенного способа является замена железобетонных вкладышей на более легкие теплоизоляционные материалы (рис. 2, 3) по форме цилиндра или параллелепипеда при устройстве облегченных перекрытий [6, 7].

Наиболее близкими по технической сущности к приведенным способам (рис. 4, 5) являются способы устройства монолитного железобетонного перекрытия по патентам Российской Федерации [8, 9]. Они отличаются только формой армирования железобетонного перекрытия; при этом в качестве

вкладышей применяют пенополистирольные элементы, выполненные в форме параллелепипеда [8], или вкладыши в виде эластичной полиэтиленовой оболочки, наполненной воздухом под давлением [9]. Полиэтиленовые оболочки выполнены в плане в виде квадрата, прямоугольника или овала без указания в патенте основных геометрических размеров.

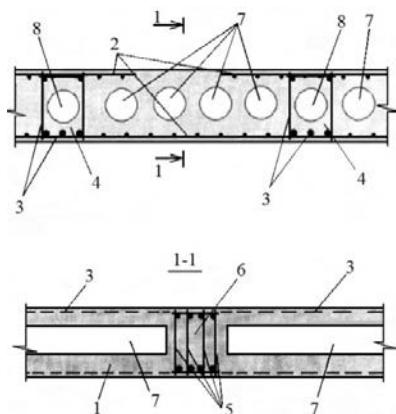


Рис. 2. Конструкция облегченного железобетонного перекрытия с цилиндрической формой вкладыша : 1 – балочная плита; 2 – арматура балочной плиты; 3 – арматурный каркас второстепенной балки; 4 – второстепенная балка; 5 – арматурный каркас главной балки; 6 – главная балка; 7, 8 – вкладыши

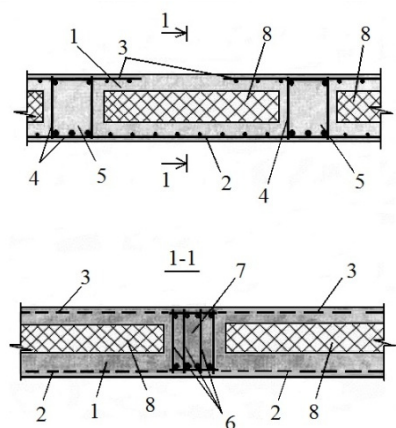


Рис. 3. Конструкция облегченного железобетонного перекрытия с формой вкладыша параллелепипед: 1 – балочная плита; 2, 3 – арматура нижней и верхней сеток; 4 – арматурный каркас второстепенной балки; 5 – второстепенная балка; 6 – арматурный каркас главной балки; 7 – главная балка; 8 – вкладыш

В этих способах [6–9] не указано, за счет чего осуществляется фиксация вкладышей при бетонировании облегченного перекрытия.

Существует способ устройства облегченного перекрытия за счет бетонирования плиты в три стадии [10]: первая стадия – бетонирование нижней обшивки перекрытия; вторая стадия – установка инвентарной опалубки и бетонирование ребер средней части перекрытия; третья стадия – демонтаж инвентарной опалубки, заполнение сформированных пустот легкими сыпучими материалами и укладка арматуры верхней сетки с бетонированием верхней части перекрытия. Для фиксации вкладышей при двухстадийном бетонировании облегченного перекрытия предложены два способа пригрузки за счет веса укладываемой бетонной смеси [11, 12]. По первому способу [11] установку заранее изготовленных вкладышей осуществляют непосредственно на свежий бетон нижней обшивки перекрытия (рис. 4, а, б).

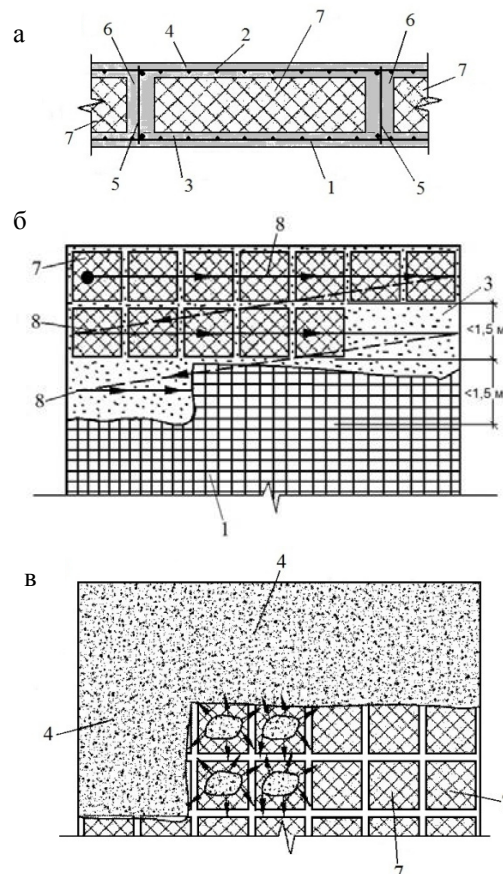


Рис. 4. Способ устройства облегченного железобетонного перекрытия: а – поперечное сечение перекрытия; б и в – последовательность бетонирования перекрытия; 1, 2 – арматура нижней и верхней сеток; 3, 4 – нижняя и верхняя обшивка; 5 – арматурные каркасы; 6 – ребра перекрытия; 7 – вкладыши; 8 – направление бетонирования нижней обшивки перекрытия

При этом фиксация вкладышей осуществляется за счет сил сцепления бетона нижней обшивки и поверхности вкладышей. После установки вкладышей ожидают набор прочности бетона не менее 1,5 МПа, для восприятия технологических нагрузок при бетонировании верхней части перекрытия. Затем устанавливают верхнюю арматурную сетку и производят во вторую стадию бетонирование верхней части перекрытия, причем для дополнительной фиксации вкладыша необходимо подавать бетонную смесь сначала на вкладыши, а затем – в пространства между вкладышами (рис. 4, в).

По второму способу [12] перерыв между бетонированием нижней и верхней частей перекрытия составляет 2 часа за счет порядка бетонирования верхней части перекрытия (рис. 5).

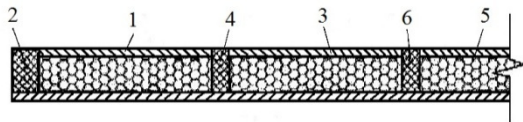


Рис. 5. Схема бетонирования верхней части перекрытия: 1-6 – порядок бетонирования

Устройство железобетонного перекрытия облегченного типа такими способами позволяет осуществлять наименее материалоемкое (ввиду отсутствия фиксирующих приспособлений) крепление вкладышей за счет сил сцепления бетона нижней полки с поверхностью вкладыша, а также за счет нагружения вкладыша бетонной смесью, при бетонировании верхней части перекрытия.

Вопрос фиксации вкладышей при бетонировании облегченного железобетонного перекрытия решается различными методами [13–15]. Размеры и форма фиксаторов вкладышей обусловлены высотой плиты перекрытия, размерами вкладышей и требованиями к несущей способности перекрытия.

В одном из способов [13] вкладыши, предварительно собранные в пакет, устанавливают на нижний слой бетона перекрытия, соединяя их креплением через каждые 1,0–1,5 м с арматурными каркасами второстепенных балок (рис. 6).

Для удержания в проектном положении вкладышей применяют металлические П-образ-

ные скобы [14]. Фиксацию вкладышей выполняют на арматуру нижней сетки путем закрепления скоб к опалубке (рис. 7). Существенным недостатком этого способа фиксации вкладышей является быстрый износ дорогостоящей опалубки за счет сверления отверстий под П-образные скобы.

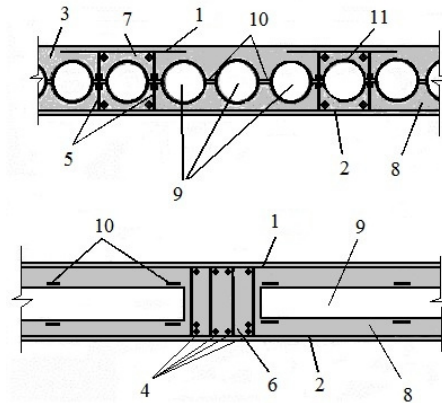


Рис. 6. Поперечные сечения облегченного перекрытия: 1, 2 – арматура верхней и нижней сеток; 3 – балочная плита; 4, 5 – арматурный каркас главной и второстепенной балок; 6, 7 – главная и второстепенная балки; 8 – нижний слой бетона перекрытия; 9 – собранные в пакет вкладыши; 10, 11 – соединительное крепление

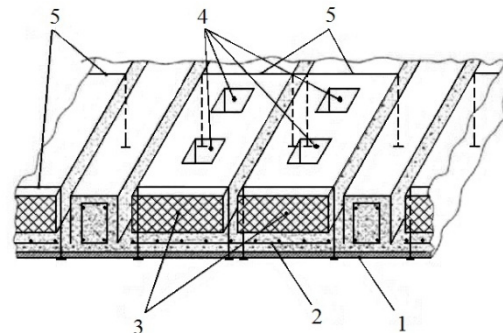


Рис. 7. Схема фиксации вкладышей в облегченном перекрытии: 1 – опалубка; 2 – арматура нижней сетки; 3 – вкладыши; 4 – сквозные отверстия во вкладышах; 5 – металлические скобы

Одним из приемов фиксации вкладышей является армирование облегченных перекрытий таким образом, чтобы его форма обеспечивала установку вкладышей в проектное положение.

Форма второстепенных балок обеспечивает крепление к ним вкладышей цилиндрической



формы [15]. После установки главных и второстепенных балок укладывают арматурную сетку и фиксируют в проектное положение вкладыши (рис. 8). При этом положение вкладышей жестко привязано к конструкции второстепенной балки.

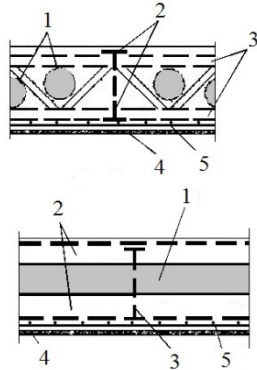


Рис. 8. Схема фиксации вкладышей в облегченном перекрытии: 1 – вкладыши; 2 и 3 – главные и второстепенные металлические сквозные балки; 4 – опалубка; 5 – арматурная сетка

Рассмотрим более подробно способ устройства облегченного перекрытия, при котором фиксация вкладыша осуществляется путем свободного всплытия (рис. 9).

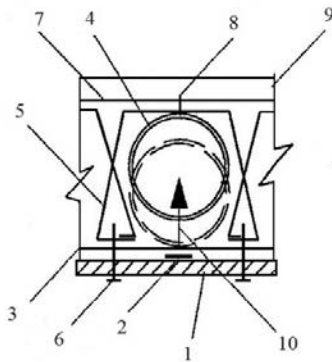


Рис. 9. Схема фиксации вкладышей в облегченном перекрытии: 1 – опалубка; 2 – подкладки для фиксации защитного слоя; 3 – арматура нижней сетки; 4 – вкладыш; 5 – фиксаторы вкладышей; 6 – металлическая скоба; 7 – арматура верхней сетки; 8 – мягкая проволока; 9 – бетонная смесь; 10 – выталкивающая сила

По этому способу [16] сначала устанавливают опалубку, затем на нее укладывают арматуру нижней сетки и фиксируют зазор для защитного слоя бетона подкладками. После этого на арматуру нижней сетки укладывают с определенным шагом несъемные вкладыши

(картонные трубы, обработанные гидрофобным составом, или пенопласт). На вкладыши сверху в шахматном или другом порядке устанавливают фиксаторы, которые закрепляют к опалубке и арматуре нижней сетки с помощью металлической скобы. Затем на фиксаторы сверху укладывают стержни арматуры верхней сетки и скрепляют мягкой проволокой.

До укладки бетонной смеси вкладыши лежат на арматуре нижней сетки, а в момент укладки бетонной смеси вкладыши под влиянием выталкивающей силы  $P$  от бетонной смеси свободно всплывают внутри объема фиксаторов, перемещаясь вертикально или почти вертикально вверх до упора в фиксаторы, и автоматически принимают фиксированное проектное положение (рис. 9).

Все приведенные способы устройства облегченных перекрытий обладают существенным недостатком, заключающимся в необходимости бетонирования облегченного перекрытия в две стадии. Применение самоуплотняющегося бетона (СУБ) позволит усовершенствовать технологию устройства облегченных перекрытий путем перехода к одностадийному бетонированию на всю толщину плиты перекрытия.

### Цель и постановка задачи

Целью работы является усовершенствование технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий за счет перехода от технологии двухстадийного бетонирования к технологии с применением самоуплотняющихся бетонов. Нами поставлена задача – разработать рекомендации по подбору состава самоуплотняющегося бетона с учетом строительного рынка Украины.

### Основы получения самоуплотняющегося бетона

Нормативных документов по получению самоуплотняющихся бетонов в Украине не существует, однако можно воспользоваться мировым опытом [17–20].

Получение самоуплотняющихся бетонов достигается за счет применения мелкозернистых заполнителей (крупность щебня – до 16 мм), добавок-стабилизаторов вязкости и суперпластификаторов, позволяющих продолжительное время сохранять неизменную

подвижность бетонной смеси. Использование самоуплотняющегося бетона позволяет повысить скорость бетонирования, снизить требования к перекачиванию бетонной смеси и гарантировать надежность заполнения всего объема опалубки при бетонировании густоармированных конструкций перекрытий. Минеральные добавки как неотъемлемую часть СУБ подразделяют на инертные (известняковые или доломитовые порошки), пуццолановые (зола-уноса, микрокремнезем) и гидравлические (молотый доменный шлак). Добавки-стабилизаторы вязкости повышают внутреннюю связность самоуплотняющегося бетона при течении и препятствуют сегрегации крупного заполнителя при высокой подвижности бетонной смеси [20].

Базовые реологические свойства СУБ можно обеспечить благодаря тщательному подбору исходных материалов и их пропорций [17, 19]. Основные свойства СУБ: высокая текучесть, надежное удаление воздуха при самоуплотнении, высокая устойчивость к расслаиванию.

В соответствии с основными свойствами выделяют три основных типа СУБ [21]: мелкодисперсный тип (значительное увеличение содержания мелкодисперсной фракции по сравнению с обычным бетоном), стабилизаторный тип (использование добавок-стабилизаторов) и комбинированный тип (комбинация двух предыдущих типов).

Применение СУБ требуется при устройстве облегченных перекрытий в таких случаях:

- там, где невозможно применить вибрирование;
- при выполнении лицевых и сложных поверхностей бетона;
- при изготовлении элементов со сложной внутренней и внешней геометрией;
- в случае густоармированных конструкций перекрытий;
- в условиях ограниченного пространства на стройке;
- при необходимости выполнения работ с пониженным уровнем шума или в сжатые сроки.

Самоуплотняющиеся бетоны прочно заняли свою просторную нишу за счет хорошо регулируемых, высоких, длительно сохраняемых реологических и технологических функций на стадиях перемешивания, транспортирования, формования и твердения [22].

Приведем пример составов бетонной смеси для СУБ, применяемых в разных странах (табл. 1).

Таблица 1 Состав бетонной смеси для самоуплотняющихся бетонов [23]

Компоненты бетонной смеси	Расход на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси
Япония	
Вода, кг	175
Портландцемент с пониженным тепловыделением, кг	530
Зола-уноса, кг	70
Мелкий заполнитель, кг	751
Крупный заполнитель, кг	789
Добавка-суперпластификатор, кг	9
Европейский Союз	
Вода, кг	190
Портландцемент, кг	280
Известковый наполнитель, кг	245
Мелкий заполнитель, кг	865
Крупный заполнитель, кг	750
Добавка-суперпластификатор, кг	4,2
США	
Вода, кг	180
Портландцемент, кг	357
Гранулированный шлак, кг	119
Мелкий заполнитель, кг	936
Крупный заполнитель, кг	684
Добавка-суперпластификатор, мл	2500
Индия	
Вода, кг	163
Цемент, кг	330
Зола высококальциевая, кг	150
Крупный заполнитель 10 мм, кг	309
Крупный заполнитель 20 мм, кг	455
Мелкий заполнитель, кг	917
Добавка-суперпластификатор, мл	2400

Однако СУБ имеют и определенные недостатки:

- более высокие затраты на материалы;
- меньшая стабильность бетонной смеси;
- более высокие, по сравнению с обычным бетоном, затраты на разработку рецептуры, производство и обеспечение контроля качества. Сфера применения СУБ будет ограничена теми случаями, когда он сможет обеспечить наилучшее соотношение затрат и экономического эффекта.

В отличие от обычного бетона, СУБ более чувствителен к колебаниям рецептуры; самое большое влияние на него оказывает содержание влаги в окружающей среде и заполни-

телях. Также необходимо понимать, что если не будет соблюдаться точность дозировки при взвешивании, то мы не получим самоуплотняющийся бетон.

Так как система является достаточно сложной, то взаимодействие 5 компонентов (цемент, вода, заполнители, минеральные добавки и добавка-суперпластификатор) должно происходить в соответствии с определенной загрузкой в смеситель. Как следствие, в процессе производства может происходить увеличение времени замеса, так как гомогенизация смеси и вступление добавок в реакцию требуют более интенсивного перемешивания; особенно это актуально в случае, если предприятия не адаптированы к производству данных бетонов.

Скорость укладки СУБ значительно возрастает при использовании бетононасосов – здесь можно достичь показателей порядка 200 погонных метров и более. Также СУБ можно подавать самотеком с большой высоты. В связи с отсутствием уплотнения, время работ сокращается. Снижаются затраты по формированию поверхности – это связано со способностью СУБ самовыравниваться, но из-за этого нельзя выполнять поверхности с большим уклоном [21].

Самоуплотняющаяся бетонная смесь должна обладать такими основными показателями [19]:

- расплыв конуса (растекаемость) – более 550 мм;
- время достижения диаметра расплыва 500 мм – не более 20 с;
- время прохождения через *V*-образную воронку должно быть 10–20 с.

Рецептура самоуплотняющейся бетонной смеси весьма существенно отличается от состава обычной бетонной смеси. Первым отличием является принципиально другой подход к соотношению и гранулометрии заполнителей (расход щебня не превышает расход песка, рассев заполнителей, по возможности, приближается к идеальной кривой за счет обогащения нескольких фракций).

Второе отличие заключается в обязательном присутствии в смеси минеральных добавок и повышенном расходе цемента. При этом даже между двумя видными российскими специалистами в области бетоноведения и тех-

нологии бетонов С.С. Каприеловым и В.И. Калашниковым существует полемика о величине расхода цемента для самоуплотняющегося бетона (330 кг/м<sup>3</sup> [24] и 630 кг/м<sup>3</sup> [25] соответственно).

Третьим отличием являются тип и дозировка пластифицирующей добавки (суперпластификатор), доза которого на порядок превосходит стандартный расход для обычного бетона. До недавнего времени для получения самоуплотняющихся бетонных смесей использовались только импортные суперпластификаторы четвертого поколения на поликарбоксилатной основе. При этом расход суперпластификатора составлял не привычные 0,2–0,3 % от расхода цемента (как это принято для обычных бетонных смесей), а достигал предельной для этих добавок величины в 1,4–2,0 %.

Однако в настоящее время на рынке Украины представлены суперпластификаторы не только зарубежного, но также и отечественного производства (табл. 2). При этом стоимость суперпластификаторов значительно снизилась и варьируется в пределах 29–42 грн/л добавки.

Таблица 2 Рекомендуемая дозировка добавки от массы цемента для получения СУБ

Наименование фирмы	Наименование суперпластификатора	Дозировка
«Полипласт», Россия	Полипласт СП СУБ	1,0–1,5 %
«BASF», Германия	MasteGlenium 116	0,8–2,0 %
«MC-Vauchemie», Германия	MC-PowerFlow 2695	1,0–5,0 %
«Stachema», Чехия	Stacheplast 156	0,9–1,5 %
ООО «Будиндустрия ЛТД», Украина	Релаксол-Супер ПК	0,5–1,0 %
«Coral», Украина	Coral Maestro	0,5–1,0 %
«СКТ-СТАНДАРТ», Белоруссия	Хидетал-ГП-9	1,0–1,5 %
«SIKA», Швейцария	Sika ViscoCrete 5-600 UA	1,0–2,0 %

Опыт применения самоуплотняющихся бетонов показал преимущества введения суперпластификаторов в бетонную смесь,

однако был замечен и ряд ограничений в работе с ними. Во-первых, большинство суперпластификаторов, особенно при больших дозировках, способны замедлять схватывание бетонной смеси. Во-вторых, при ее транспортировке в течение 60-90 минут эффект от действия добавки снижается, то есть уменьшается подвижность. В-третьих, подача смеси по трубопроводу к месту укладки на расстояние свыше 200-250 метров стимулирует расслоение и создает неоднородность в готовом изделии. В результате время выполнения работ по бетонированию возрастает, ухудшается качество поверхности изделий, снижается прочность.

Для достижения высоких эксплуатационных характеристик самоуплотняющихся бетонов предъявляются очень жесткие требования к производственным материалам. Крупность минеральной добавки составляет не более 0,125 мм, причем 70 % из них – размером 0,063 мм. Крупный заполнитель обязательно фракционируют по размерам 10–16 мм и 16–20 мм. Также допускается применение неорганических материалов с высокой удельной поверхностью, которые увеличивают водоудерживающую способность смеси (белая сажа, молотый асбест, бентониты). Например, 20 кг активного кремнезема заменяют 60 кг цемента и обеспечивают равнозначную прочность, причем в ранние сроки твердения прочность увеличивается, так же, как трещиностойкость и водонепроницаемость бетона.

Самоуплотняющиеся бетонные смеси характеризуются высокой текучестью, что обеспечивает формование изделий без применения интенсивных механических воздействий, в частности, вибрации. С другой стороны, эти смеси должны иметь достаточную вязкость для предотвращения расслоения и седиментации крупного заполнителя. Эти два требования противоречивы; их решение может быть достигнуто при применении суперпластификаторов в комплексе с высокодисперсными минеральными добавками. При этом последние имеют преимущества перед органическими добавками-загустителями, поскольку, наряду с улучшением реологических свойств бетонных смесей, обеспечивают повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик бетона. Сочетание минеральных добавок с суперпластификаторами при оптимизации гранулометрического состава заполнителей позволяет получить

высокопрочные бетоны (прочность при сжатии – более 70 МПа) из самовыравнивающихся смесей.

Для запуска производства самоуплотняющегося бетона на базе участка железобетонных изделий ОДО Жилстрой-2 в г. Харькове нами были подобраны производители минеральных добавок: АО «Новоселовский горно-обогатительный комбинат» выпускает пылевая кварц по цене 870 грн/т и завод «Innotek Bud» (г. Харьков, ул. Диканевская, 50) – три сорта шлака гранулированного молотого по цене от 650 до 850 грн/т.

Нами предложена технология устройства железобетонного перекрытия облегченного типа путем бетонирования конструкции в один этап. На данную технологию получено решение УКРПАТЕНТ от 14.08.2015 г. № 14327/ЗУ/15 про выдачу декларационного патента на полезную модель «Способ устройства железобетонного перекрытия облегченного типа».

Основные технологические операции устройства железобетонного перекрытия облегченного типа включают: монтаж опалубки, установку нижней арматурной сетки и арматурных каркасов ребер, установку вкладышей, установку верхней арматурной сетки и бетонирование перекрытия. Незвлекаемые вкладыши-пустотообразователи из пенополистирола или минеральной ваты крепятся к нижней арматурной сетке и арматурным каркасам ребер до установки верхней арматурной сетки. Бетонирование перекрытия выполняют полностью за один этап на всю толщину конструкции, без перерыва, бетонной смесью, которая растекается и уплотняется под действием собственного веса (без вибрации), заполняя форму (опалубку) с установленной арматурой, сохраняя однородность.

При этом технологический показатель бетонной смеси – диаметр расплыва стандартного конуса должен быть не менее 760 мм, а закрепление незвлекаемых вкладышей-пустотообразователей выполняют металлическими или неметаллическими фиксаторами, которые обеспечивают удержание вкладышей от всплытия при укладке бетонной смеси и закрепление вкладышей в проектное положение в горизонтальной плоскости.



Один из размеров вкладыша в плане не должен превышать 1000 мм, при этом бетонную смесь сначала подают в зазор между вкладышами до тех пор, пока уровень уложенной бетонной смеси не превысит уровень вкладышей, а затем выполняют бетонирование верхней части перекрытия.

Суть конструкции и технологии устройства облегченного перекрытия объясняется графическими материалами, представленными на рис. 10.

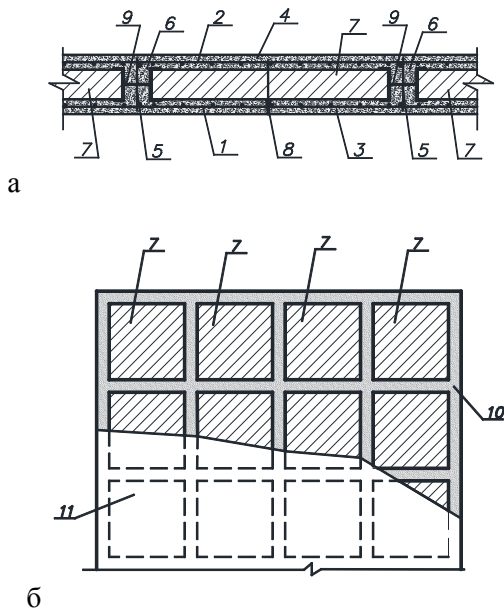


Рис. 10. Способ устройства облегченного железобетонного перекрытия: а – поперечное сечение перекрытия; б – последовательность бетонирования перекрытия; 1, 2 – арматура нижней и верхней сеток; 3 и 4 – нижняя и верхняя обшивка; 5 – арматурные каркасы; 6 – ребра перекрытия; 7 – вкладыши; 8 и 9 – фиксаторы; 10 – зазор между вкладышами; 11 – бетонирование верхней части перекрытия

Для проведения лабораторных исследований, с целью получения самоуплотняющейся бетонной смеси, были изготовлены приборы для определения удобоукладываемости (распływ конуса без и с блокировочным кольцом), вязкости ( $T_{500}$ ,  $V$ -образная воронка), способности преодолевать препятствия ( $L$ -образный ящик с тремя арматурными стержнями), в соответствии с нормативными документами [17-19]. Основные этапы испытаний представлены на рис. 11-14.

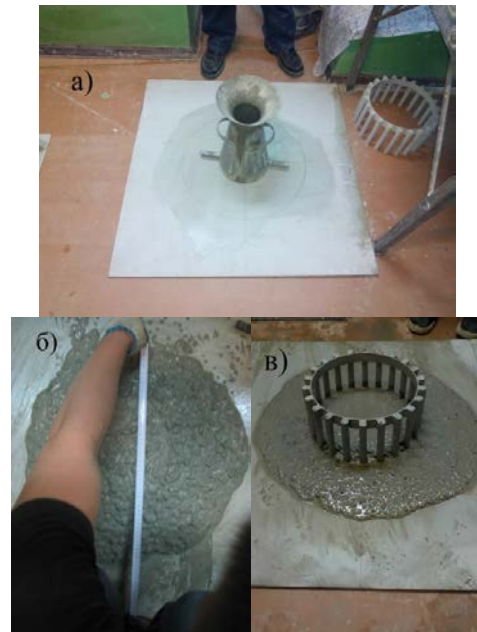


Рис. 11. Проведение испытаний самоуплотняющейся бетонной смеси для определения удобоукладываемости: а – приборы для испытания; б – измерение диаметра расплыва конуса; в – распływ бетонной смеси через блокировочное кольцо



Рис. 12. Проведение испытания самоуплотняющейся бетонной смеси для определения вязкости с помощью  $V$ -образной воронки

Для подбора состава СУБ были использованы следующие материалы:

- а) портландцемент ПЦ II/A-III-400P в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-46:2010 производства ПАО «Евроцемент-Украина», Харьковская обл., г. Балаклея;
- б) в качестве минеральной добавки – шлак гранулированный молотый высшего сорта (1-40 микрон, удельная поверхность 4-5 тыс.  $\text{м}^2/\text{г}$ ), в соответствии с ТУ У В.2.7-20.6-34469256-001:2014 производства «Innotek Bud» (г. Харьков);

в) в качестве мелкого заполнителя использовали песок ПАО «Кременчугский речной порт» (г. Кременчуг). Песок соответствует требованиям ДСТУ Б В.2.7-32-95 и ДСТУ Б В.2.7-29-95, основные свойства приведены в табл. 3, 4;



Рис. 13. Проведение испытания для оценки способности самоуплотняющейся бетонной смеси преодолевать препятствия при протекании через труднодоступные узкие места: а – загрузка бетонной смесью L-образного ящика для испытания; б – определение средней глубины бетонной смеси



Рис. 14. Проведение испытания свежеприготовленной бетонной смеси на устойчивость к расслаиванию путем просева через сито: а – определение фактической массы бетонной смеси на сите с квадратным отверстием размером 5×5 мм; б – определение массы бетонной смеси, прошедшей через сито

Таблица 3 Физико-механические свойства песка

Наименование характеристики	Един. изм.	Значение характеристики
Модуль крупности песка	%	1,6
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1300
Содержание глины в комках	%	–
Содержание пылеватых и глинистых частиц	%	0,3
Средняя плотность зерен	г/см <sup>3</sup>	2,6
Влажность	%	4,0

Таблица 4 Зерновой состав песка

Диаметр сит:	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
Ч.о., %	–	–	0,6	4,1	52,0	38,6	4,7
П.о., %	–	–	0,6	4,7	56,7	95,3	100

г) в качестве крупного заполнителя использовали щебень фр. 5–10 мм с карьера ОАО «Новополтавский карьер», Запорожская обл., Черниговский район, с. Новополтавка. Щебень соответствует требованиям ДСТУ Б В.2.7-75-98, основные свойства приведены в табл. 5;

д) в качестве суперпластификатора была использована добавка Stacheplast 156 фирмы STACHEMA. Применяется для изготовления СУБ в летних условиях производства. Сохраняет подвижность от 2 до 3 часов. Представляет собой жидкость коричневого цвета с рН = 5–9 плотностью 1,04–1,08 кг/л.

Таблица 5 Физико-механические свойства щебня

Наименование характеристики	Един. изм.	Значение характеристики
Содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы	%	17
Содержание пылеватых и глинистых частиц	%	0,7
Содержание зерен слабых пород	%	2,6
Марка по дробимости	–	1200
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1310
Марка по морозостойкости	–	300

На основании испытаний был подобран следующий состав СУБ (на 1 м<sup>3</sup> бетона): цемент – 390 кг; минеральная добавка (МД) – 78 кг;

песок – 840 кг; щебень фр. 5-10 мм – 840 кг; вода – 200 л ( $V/(Ц+МД)=0,43$ ); добавка Stacheplast 156 – 4,68 кг (1 % от Ц+МД). Полученная самоуплотняющаяся бетонная смесь характеризуется следующими параметрами, приведенными в табл. 6.

Таблица 6 Показатели самоуплотняющейся бетонной смеси

Наименование показателя	Значение показателя	Класс
Удобоукладываемость	$R_K = 675$ мм	SF2
Удобоукладываемость (с блокировочным кольцом)	$R_{K_{\text{кольцо}}} = 675$ мм	-
Вязкость	$T_{500} = 2$ с	VS2
Вязкость	$t_{\text{воронки}} = 4,9$ с	VF1
Способность преодолевать препятствие (с тремя арматурными стержнями)	0,91	PA2
Устойчивость к расслаиванию	5 %	SR2
Прочность на сжатие, определенная на образцах кубах 100x100x100 мм	$R_{сж} = 456$ кг/см <sup>2</sup>	C35/45

### Выводы

Устройство железобетонного перекрытия облегченного типа предложенным способом позволяет значительно ускорить процесс бетонирования за счет укладки бетонной смеси в один этап; при этом отсутствует перерыв в бетонировании для набора прочности бетона нижней полкой перекрытия и установки верхней арматурной сетки перекрытия, необходимость уплотнения бетонной смеси, т.к. она обладает высокой подвижностью, что обеспечивает растекание и уплотнение под действием собственного веса. Снижаются затраты времени на формирование верхней поверхности перекрытия в связи со способностью СУБ к самовыравниванию. Отсутствует технологический шов между слоями бетона, уложенного в две стадии.

### Литература

1. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Буряк. – Х.: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
2. Помазан М.Д. Совершенствование технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.08 / Максим Дмитриевич Помазан. – Харьков, 2013. – 187 с.
3. А. с. 1738960 СССР, Е 04 С 2/04. Стеновая панель / В.С. Шмуклер. – № 4865060/33; заявл. 10.09.90; опубл. 07.06.92, Бюл. № 21.
4. А. с. 1738962 СССР, Е 04 С 2/26, Е 04 В 5/02. Железобетонный ограждающий элемент / В.С. Шмуклер, В.Д. Бедим, И.В. Шмуклер, Д.В. Бедим. – № 4865059/33; заявл. 10.09.90; опубл. 07.06.92, Бюл. № 21.
5. Пат. 11742 Украины, МПК Е 04 G 23/00. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекрыття / Магала В.С., Савицький М.В., Швець М.А., Рабич О.В.; заявник та патентовласник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № 200505127; заявл. 30.05.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1.
6. Пат. 68818 Украина, МПК Е 04 G 23/00. Способ устройства монолитного железобетонного перекрытия / Магала В.С., Кожанов Ю.А., Савицкий Н.В., Большаков В.И., Куличенко И.И., Рабич Е.В.; заявитель и патентообладатель Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. – № 2003109775; заявл. 31.10.2003; опубл. 15.08.2004.
7. Пат. 69769 Украина, МПК Е 04 G 23/00. Способ организации сборно-монолитного железобетонного перекрытия / Магала В.С., Кожанов Ю.А., Савицкий Н.В., Большаков В.И., Куличенко И.П., Рабич Е.В.; заявитель и патентообладатель Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. – № 20031210919; заявл. 02.12.2003; опубл. 15.09.2004.
8. Пат. 2378461 Российская Федерация. МПК Е 04 В 5/32. Конструкция монолитного перекрытия и способ его возведения / Макаров А.В.; заявитель и патентообладатель Макаров А.В. – № 2008116633/03; заявл. 25.04.2008; опубл. 10.01.2010.
9. Пат. 61306 Российская Федерация. МПК Е 04 В 1/18. Железобетонное монолитное перекрытие / Колганов Ю.А.; заявитель и патентообладатель Колганов Ю.А. – № 2005137878/03; заявл. 05.12.2005; опубл. 127.02.2007.
10. Пат. 110391 Российская Федерация. МПК Е 04 В 1/00. Многопустотный не-

- сущий элемент плит зданий / Бубниевский Л.Ш.; заявитель и патентообладатель Бубниевский Л.Ш. – № 2011123599/03; заявл. 09.06.2011; опубл. 20.11.2011.
11. Пат. 69346 Україна, МПК E04C 2/00, E 04 B 5/00, E 04 G 21/00. Спосіб улаштування залізобетонного перекриття полегшеного типу / Шмуклер В.С., Помазан М.Д.; заявник та патентовласник Шмуклер В.С. – № 201112222; заявл. 18.10.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8.
  12. Пат. 75556 Україна, МПК E 04 C 2/00, E 04 B 5/00, E 04 G 21/00. Спосіб улаштування полегшеного залізобетонного перекриття / Шмуклер В.С., Помазан М.Д.; заявник та патентовласник Шмуклер В.С. – № 201204865; заявл. 18.04.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. №23.
  13. Пат. 69985 Украина, МПК E 04 G 23/00. Способ организации монолитного железобетонного перекрытия / Магала В.С., Кожанов Ю.А., Савицкий Н.В., Большаков В.И., Куличенко И.П., Рабич Е.В.; заявитель и патентообладатель Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. – № 20031211913; заявл. 19.12.2003; опубл. 15.09.2004.
  14. Пат. 24122 Україна, МПК E 04 B 5/00. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття / Куличенко І.І., Чернець В.А., Магала В.С., Рабич О.В., Савицький М.В., Чумак Ю.Г.; заявник та патентовласник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № 200612819; заявл. 04.12.2006; опубл. 25.06.2007.
  15. Пат. 62344 Україна, МПК E 04 G 23/00. Спосіб улаштування монолітного залізобетонного перекриття / Магала В.С., Кожанов Ю.О., Савицький М.В., Большаков В.І., Швець М.А., Рабич О.В.; заявник та патентовласник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № 20023032057; заявл. 07.03.2003; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.
  16. Пат. 65670 Украина, МПК E 04 C 2/04, 2/06, E 04 B 5/02, E 04 G 21/12. Способ изготовления многополостной железобетонной монолитной плиты / Артюх В.Г., Козин В.П., Данильченко А.А., Санников И.В., Тонкачев Г.Н.; заявитель и патентообладатель СЕМАНТИК РЕСЕАРЧ, ЛК, US. – № 2003109719; заявл. 29.10.2003; опубл. 15.04.2004.
  17. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, 2005. – 68 p.
  18. Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов: СТО 70386662-306-2013. – Введен 27.05.2013. – М., 2013. – 73 с.
  19. Основные требования при производстве работ с самоуплотняющимися бетонными смесями: СТО СРО-С 60542960 00050-2015. – Введен 12.02.2015. – М., 2015. – 89 с.
  20. Выбор сырьевых материалов для производства самоуплотняющихся бетонов. Бюллетень Construction Chemicals. – 2009. – № 5. – С. 13–16.
  21. Войлоков И.А. Самоуплотняющиеся бетоны. Новый этап развития бетоноведения / И.А. Войлоков // Экспозиция. Бетоны&Сухие смеси. – 2008. – № 65. – С. 5–8.
  22. Ушеров-Маршак А.В. Взгляд в будущее бетона / А.В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2014. – №3. – С. 4–5.
  23. Базанов С.М. Самоуплотняющийся бетон – эффективный инструмент в решении задач строительства / С.М. Базанов, М.В. Торопова. – Режим доступа: <http://www.ibeton.ru/a195.php>.
  24. Каприелов С.С. Новые модифицированные бетоны в современных сооружениях / С.С. Каприелов, Г.С. Кардумян // Бетон и железобетон. Бетонные изделия. – 2011. – С. 78–82.
  25. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 4–6.
- Рецензент: В.П. Кожушко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 14 августа 2015 г.