

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Belov V.V., Kulyaev P.V., Artemyev A.A. Impact of Granulometric Composition on Ultrasonic Processing Efficiency of Fine-grained Concrete // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical Engineering and Chemical Technology». 2021. No. 1 (9), pp. 6–14.

УДК 69.003.13

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН В БЕТОНЕ, ИЗГОТОВЛЕННОМ С УТИЛИЗИРОВАННЫМИ ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ**

*П.Ю. Матар<sup>1</sup>, Ж.-Ф.Ж. Зехиль<sup>2</sup>, Ж.Ж. Асаад<sup>3</sup>, Т.Р. Баркая<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup> Ливанский университет (г. Бейрут, Ливан)*

*<sup>2</sup> Университет Нотр Дам – Луайзе (г. Зук Мосбех, Ливан)*

*<sup>3</sup> Баламандский университет (г. Аль Кура, Ливан)*

*<sup>4</sup> Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Матар П.Ю., Зехиль Ж.-Ф.Ж.,  
Асаад Ж.Ж., Баркая Т.Р., 2021

**Аннотация.** В статье представлен обзор двух исследовательских работ по изучению влияния полипропиленовых волокон на свойства бетона с утилизированными заполнителями (БУЗ) и, в частности, самоуплотняющегося бетона (СУБ), включающего утилизированные заполнители. Были изучены следующие свойства БУЗ: предел прочности при сжатии, предел прочности на растяжение при раскалывании, предел прочности на растяжение при изгибе, модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность, абсорбция и пустоты. Что касается СУБ, включающего утилизированные заполнители, то были исследованы его удобоукладываемость, предел прочности при сжатии и предел прочности при растяжении.

**Ключевые слова:** утилизированные заполнители, рециклированный бетон, самоуплотняющийся бетон, полипропиленовые волокна, физико-механические свойства, реологические свойства.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-14-24**

**ВВЕДЕНИЕ**

Возможность использования полипропиленовых волокон (ППВ) в бетоне изучена в значительной степени. Гораздо меньшее количество научных исследований посвящено исследованию влияния ППВ на свойства бетона, включающего заполнители из рециклированного (вторичного) бетона (ЗРБ).

Установлено, что включение ЗРБ в состав смеси значительно влияет на прочность на сжатие, если процентное содержание ЗРБ составляет более 50 % от общего объема заполнителя, в то время как при содержании ЗРБ менее 30 % его влияние на прочность становится несущественным [1]. При увеличении процентного содержания ЗРБ происходит также падение прочности на растяжение при раскалывании и изгибе. Во

многих исследованиях отмечается значительное снижение модуля упругости бетона с повышенным содержанием ЗРБ. Однако влияние ЗРБ на коэффициент Пуассона еще недостаточно изучено.

Добавление волокон в бетон обычно производят для улучшения определенных его свойств. Действительно, по сравнению с бетоном, не содержащим волокна, фибробетон характеризуется улучшенным сопротивлением растрескиванию, прочностью на растяжение, прочностью на изгиб, прочностью на сдвиг, пластичностью и ударной вязкостью. Наличие волокон также приводит к более однородному, изотропному и пластичному поведению бетона. В частности, ППВ широко используются в конструкционном бетоне для повышения его целостности, улучшения его прочностных свойств и увеличения долговечности. Наиболее важным преимуществом фибробетона является его способность выдерживать большие деформации после возникновения первой трещины. Как правило, целостность волокон сохраняется после возникновения трещины, а те волокна, которые перекрывают трещину, будут препятствовать ее дальнейшему раскрытию. Главный недостаток повышенного содержания в бетоне волокон – снижение удобоукладываемости вследствие их комкования и последующего увеличения внутреннего трения. Однако эта проблема может быть до некоторой степени решена добавлением соответствующих добавок, обеспечивающих равномерное распределение волокон в бетонной смеси. Хотя ППВ не оказывают существенного влияния на прочность на сжатие, они значительно улучшают прочность на растяжение при раскалывании и изгибе, если содержание ППВ не превышает определенного порогового значения, выше которого эти показатели начинают снижаться. Влияние ППВ на модуль упругости и коэффициент Пуассона бетона еще недостаточно исследовано. При этом уже проведенные работы показывают, что введение ППВ уменьшает как модуль упругости, так и коэффициент Пуассона бетона.

В данной статье представлены результаты исследований, посвященных изучению влияния ППВ на физико-механические свойства бетона с утилизированными заполнителями, а также на удобоукладываемость, реологические и основные прочностные свойства самоуплотняющегося бетона, включающего утилизированные заполнители.

### **ВЛИЯНИЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА С УТИЛИЗИРОВАННЫМИ ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ [2]**

Изучалось влияние ППВ на удобоукладываемость и плотность свежего бетона, а также на прочность на сжатие, на растяжение при раскалывании и при изгибе, модуль упругости, величину коэффициента Пуассона, абсорбцию и пористость затвердевшего бетона. С этой целью исследовались три серии бетонных смесей, содержащих ЗРБ в количестве 0, 25 и 50 % от общего количества заполнителей. В каждую серию вводились ППВ в количестве 0; 0,15 и 0,3 % от объема бетона. Все смеси имели водоцементное отношение (В/Ц), равное 0,54, и осадку конуса, равную  $120 \pm 20$  мм.

### **МАТЕРИАЛЫ**

В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент РА-L 42,5, соответствующий ливанскому стандарту NL 53. Он также эквивалентен цементу СЕМ II/A-L 42,5, соответствующему европейскому стандарту EN 197-1. Удельная поверхность

по Блейну, средний размер частиц и удельный вес цемента составляли  $3\,700\text{ см}^2/\text{г}$ ,  $16,6\text{ мкм}$  и  $3,05$  соответственно.

В качестве природных заполнителей применялось местное сырье – дробленый известняк и песок, полученные в окрестности Бекаа (Ливан). Утилизированные заполнители (УЗ) были получены путем дробления бетонных цилиндрических образцов, собранных в трех лабораториях. Утилизированные заполнители замещали 0, 25 и 50 % от природных заполнителей (ПЗ). Размеры частиц заполнителей составляли от  $4,75$  до  $19\text{ мм}$  для крупных заполнителей и менее  $4,75\text{ мм}$  для мелких заполнителей и природного песка.

Вода, использовавшаяся для смешивания и поливки бетона в процессе твердения, была чистой, свежей и без примесей.

Для достижения заданной осадки конуса во всех смесях применялась высокоэффективная водоредуцирующая добавка (ВЭВРД) на основе синтетических полимеров. Она обладает сильной диспергирующей способностью по отношению к мелким частицам бетона и способна, таким образом, обеспечить требуемую удобоукладываемость бетона при сохранении пониженного В/Ц.

Несмотря на низкий модуль упругости, ППВ широко используются благодаря ряду полезных свойств, таких как ограниченная водопоглощающая способность, высокая пластичность, высокая жесткость, высокий предел прочности на растяжение, коррозионная стойкость, исключительная долговечность и доступная цена. Такие волокна обычно применяются в строительных растворах и бетонах для улучшения их пластичности и противодействия растрескиванию цементной матрицы. Микрофиламентные ППВ с высокими характеристиками обычно используются в обычном бетоне для предотвращения появления небольших трещин, которые могут возникнуть в результате пластической усадки, преждевременного высыхания и ранних тепловых изменений объема затвердевших вяжущих материалов. Длина и диаметр волокон составляли соответственно  $12\text{ мм}$  и  $30\text{ мкм}$ . Это обеспечивает их относительно высокое соотношение, равное  $400$  (т.е.  $12/0,03$ ), что позволяет волокнам лучше влиять на микротрещины в микроструктуре бетона. Удельный вес ППВ и модуль упругости составляли  $0,91$  и  $3,5\text{ ГПа}$  соответственно. Было принято относительно низкое содержание волокон, чтобы уменьшить трение между ними и заполнителями и ограничить возможные потери прочности на сжатие. Сниженное содержание ППВ также уменьшает комкование волокон и приводит к их более равномерному распределению в объеме бетона. Это необходимо для того, чтобы сдерживать образование и рост микротрещин в цементной матрице. Более высокое содержание ППВ приводит к значительному снижению удобоукладываемости: бетон становится жестким, повышается трудоемкость его укладки и уплотнения.

### ПРОВЕДЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Удобоукладываемость бетона определялась с помощью испытания на осадку конуса и регулировалась с помощью ВЭВРД. Прочность на сжатие (рис. 1а), прочность на растяжение при раскалывании (рис. 1б), статический модуль упругости и коэффициент Пуассона были измерены путем испытания бетонных цилиндров стандартных размеров, т.е. диаметром  $150\text{ мм}$  и высотой  $300\text{ мм}$ , в возрасте 7 и 28 дней. Прочность на изгиб (модуль разрыва) определялась в возрасте бетона 28 дней путем испытания на изгиб по трехточечной схеме нагружения неармированных бетонных балок, имеющих поперечное

сечение 150×150 мм и длину пролета 500 мм (рис. 1в). Плотность, абсорбция и пустоты измерялись в возрасте бетона 28 дней с помощью бетонных кернов массой более 800 г, извлекаемых из стандартных бетонных цилиндров.



Рис. 1. Бетонные образцы, подвергнутые испытанию:  
*а* – на сжатие (50 % ЗРБ, 0,3 % ППВ); *б* – растяжение при раскалывании (50 % ЗРБ, 0,3 % ППВ); *в* – изгиб (0 % ЗРБ, 0 % ППВ)

### ВЫВОДЫ

На основании результатов, полученных в ходе данного исследования, были сделаны следующие выводы:

1. Смеси, содержащие большее количество ППВ, показали повышенную потребность в высокоэффективной водоредуцирующей добавке для достижения заданной осадки конуса. Это связано с необходимостью компенсировать повышенное трение между волокнами и крупным заполнителем, а также уменьшить комкование волокон.

2. Включение ЗРБ в смесь вызвало значительное снижение прочности на растяжение при раскалывании и изгибе. Это объясняется существенным влиянием более слабой (новой) контактной зоны на предел прочности БУЗ.

3. Наблюдаемое падение прочности на сжатие при добавлении в смесь ЗРБ было менее значительным. Это можно объяснить преобладающим (в данном случае) эффектом прочности ПЗ.

4. Добавление ЗРБ снизило модуль упругости, значение коэффициента Пуассона и плотность, одновременно увеличив абсорбцию и пустотность затвердевшего бетона. Уменьшение модуля упругости может быть связано с наличием трещин в ЗРБ, относительно низким модулем упругости и более высокой пористостью старого цементного теста. Снижение плотности объясняется меньшим удельным весом ЗРБ по сравнению с ПЗ. Увеличение абсорбции и проникаемых пустот может быть обусловлено более высокой пористостью и способностью ЗРБ поглощать воду.

5. Была проведена корреляция между проникаемыми пустотами и модулем упругости. Эта корреляция также выявила роль ЗРБ и ППВ. Повышение доли ЗРБ значительно увеличивает пустоты и снижает модуль упругости. Увеличение содержания ППВ также увеличивает пустоты и снижает модуль упругости, но в меньшей степени.

6. Как в бетоне на натуральном заполнителе, так и в БУЗ не наблюдалось значительного влияния содержания ППВ на прочность на сжатие.

7. Падение прочности на растяжение при раскалывании и изгибе из-за включения ЗРБ в значительной степени компенсировалось добавлением ППВ. Повышение обоих пределов прочности (до 25 %) является результатом способности волокон перекрывать трещины в цементной матрице, окружающей частицы заполнителя.

8. Добавление ППВ несколько снизило модуль упругости всех бетонных смесей. Наиболее значительное наблюдаемое падение модуля Юнга БУЗ составило 4,3 и 4,9 %, что соответствовало содержанию ППВ 0,15 и 0,3 %. При этом содержание ЗРБ оказывало наибольшее воздействие, приводящее к падению модуля Юнга, в то время как содержание ППВ влияло в меньшей степени.

9. Не наблюдалось существенного влияния от добавления ППВ на коэффициент Пуассона. Тем не менее небольшое снижение коэффициента Пуассона отмечалось во всех смесях. Наиболее значительное наблюдаемое падение коэффициента Пуассона для БУЗ составило 4,2 и 6 % при содержании ППВ 0,15 и 0,3 % соответственно.

10. Добавление ППВ не повлияло на плотность затвердевшего бетона. Это можно объяснить небольшим количеством ППВ, принятым в этой работе.

11. Абсорбция несколько снизилась с увеличением содержания ППВ, что может объясняться очень низкой водопоглощающей способностью ППВ. Наблюдаемое в этом случае ограниченное падение абсорбции может быть связано с содержанием волокон в БУЗ, не превышающим 0,3 %.

12. Пустотность немного увеличились с повышением содержания ППВ. Наиболее значительное образование пустот в БУЗ составило 1,4 и 4,8 %, что соответствует содержанию ППВ 0,15 и 0,3 %.

### **ВЛИЯНИЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН НА УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА, СОДЕРЖАЩЕГО УТИЛИЗИРОВАННЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ [3]**

Влияние заполнителей из рециклированного бетона на удобоукладываемость самоуплотняющегося бетона требует особого внимания при бетонировании элементов конструкций из рециклированного бетона. Фактически ЗРБ, полученный путем дробления бетонных обломков, собранных с мест сноса сооружений, состоит из природного крупного заполнителя (ПКЗ) и приклеенного раствора, которые придают скелету бетона, образованному заполнителем, специфические характеристики, такие как пониженная плотность, более высокая водопоглощающая способность, большая угловатость и более грубая текстура поверхности. Эти особенности изменяют внутреннее сопротивление истеканию бетонной смеси с прямым влиянием на деформируемость и обеспечивают легкость укладки СУБ в сложные формы с большим количеством арматуры.

Хотя удобоукладываемость может быть улучшена с помощью ВЭВРД, заданная осадка конуса может достигаться добавлением ЗРБ. Благодаря их более высокому водопоглощению снижается количество свободной, химически не связанной воды затворения [4].

Полипропиленовое волокно может включаться в состав смеси конструктивных бетонов для повышения прочности на изгиб, реакции после растрескивания и сопротивления энергетическим и ударным нагрузкам. Тем не менее такие включения препятствуют деформируемости цементной матрицы из-за комкования волокон и взаимодействия с крупным заполнителем.

При попытке оценить одновременное влияние ЗРБ и ППВ на удобоукладываемость и реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС) было установлено, что удобоукладываемость бетона ухудшилась из-за совместного воздействия ЗРБ и ППВ.

Данное исследование было направлено на количественную оценку комбинированного воздействия ЗРБ и ППВ на удобоукладываемость и реологические свойства СУБ. Были изготовлены различные серии СУБ, содержащие от 25 до 100 % ЗРБ и от 0,25 до 1,75 % ППВ; соотношение между водой и вяжущим (В/ВЖ) варьировалось от 0,38 до 0,5, в то время как ВЭВРД регулировалась таким образом, чтобы обеспечить заданный расплыв конуса, равный  $700 \pm 25$  мм. Характеристики подвижности, связности, проходимости, сопротивления сегрегации, а также прочность на сжатие и растяжение при раскалывании, которые изменились в результате добавления ЗРБ и ППВ, были зафиксированы и сопоставлены с предельными значениями, указанными в Европейских рекомендациях по самоуплотняющемуся бетону [5].

### МАТЕРИАЛЫ

Использовавшееся вяжущее вещество состояло из 70 % портландцемента типа I (по ASTM – стандарту американского общества специалистов по испытаниям и материалам), 25 % доменного шлака марки 100 и 5 % микрокремнезема. Удельная поверхность по Блейну, средний размер частиц и удельный вес вяжущего вещества составляли  $3\,750\text{ см}^2/\text{г}$ , 21,2 мкм и 3,03 соответственно. В качестве мелкодисперсного заполнителя использовался кремнистый песок; его удельный вес, водопоглощающая способность и дисперсность составляли 2,65, 1,01 и 2,54 соответственно.

Природные крупные заполнители состояли из дробленого известняка. Утилизированные заполнители были получены путем дробления бетонных отходов. Все заполнители имели номинальный максимальный размер 12,5 мм.

В этом исследовании использовались микрофиламентные ППВ. Волокна имели номинальную длину 12 мм и диаметр 80 мкм, что определяет соотношение размеров, равное 150. Удельный вес ППВ, удлинение при разрыве, модуль упругости и предел прочности на разрыв составляли 0,93, 7 %, 6,6 ГПа и 520 МПа соответственно.

Была также использована ВЭВРД типа F на базе нафталинсульфоната. Чтобы предотвратить сегрегацию и засорение, добавляли модификатор вязкости, являющийся жидким производным гидроксипропилцеллюлозы и широко используемый в производстве СУБ для регулирования связности и стабильности.

### СОСТАВ СМЕСЕЙ

В данном исследовании рассматривались две контрольные СУБС с ПЗ, обладающие средней и высокой прочностью на сжатие. Смесь средней прочности была приготовлена с использованием комплексного вяжущего с расходом  $375\text{ кг}/\text{м}^3$  и имела В/ВЖ = 0,5, в то время как высокопрочная смесь имела содержание вяжущего материала  $450\text{ кг}/\text{м}^3$  и В/ВЖ = 0,38. Дозировка ВЭВРД была скорректирована так, чтобы обеспечить расплыв конуса, равный  $700 \pm 25$  мм. Стабильность смесей обеспечивалась путем регулирования концентрации модификатора вязкости для достижения индекса визуальной стабильности порядка 1.

Полипропиленовые волокна были включены в различные испытанные серии СУБС (контрольные и модифицированные путем добавления ЗРБ) с постепенным приращением, равным 0,25 % от массы вяжущего.

### ПРОВЕДЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Удобоукладываемость СУБС оценивалась путем определения расплыва конуса (рис. 2), времени  $T_{500}$  для достижения расплыва конуса, равного 500 мм, времени вытекания из V-образной воронки ( $T_v$ ) (рис. 3), проходимости и сопротивления сегрегации. Прочность определялась путем испытания СУБС в L-образном ящике с двумя гладкими стержнями диаметром 12 мм (рис. 4). Сопротивление сегрегации определялось путем заливки свежей СУБС в сито с квадратными отверстиями размером 5 мм, а затем взвешиванием материала, прошедшего через сито после двухминутного перерыва (рис. 5). Для оценки реологических свойств СУБ, а именно предела текучести ( $\tau_0$ ) и пластической вязкости ( $\eta$ ), использовалась четырехлопастная лопатка с прорезями, соединенная с ротационным реометром (рис. 6).

Время схватывания определялось на образцах строительного раствора, полученных мокрым просеиванием свежего СУБ на сите диаметром 4,75 мм, а прочность на сжатие и на растяжение при раскалывании – на бетонных цилиндрах диаметром 100 мм и высотой 200 мм в возрасте бетона 28 дней.



Рис. 2. Определение расплыва конуса



Рис. 3. Определение  $T_v$  с помощью V-образной воронки



Рис. 4. Определение проходимости с помощью L-образного ящика



Рис. 5. Определение сопротивления сегрегации с помощью сита



Рис. 6. Определение предела текучести и пластической вязкости с помощью лопатки, соединенной с ротационным реометром

## ВЫВОДЫ

Проведенное исследование было направлено на оценку одновременного воздействия добавок ЗРБ и ППВ на удобоукладываемость СУБ с В/ВЖ, варьируемым от 0,38 до 0,5. Результаты испытаний показали, что включение ППВ привело к более высокой потребности в высокоэффективной водоредуцирующей добавке для обеспечения заданной осадки конуса, особенно когда смеси приготавливались с повышенным содержанием ЗРБ. Это было связано с необходимостью улучшения диспергируемости цементной матрицы, чтобы обеспечить образование комков волокон и увеличить внутреннее трение из-за ЗРБ. Максимально возможное содержание ППВ для бетонной смеси на натуральном заполнителе с В/ВЖ = 0,5 составило 1,75 %, в то время как для смеси с В/ВЖ = 0,38 и содержащей 100 % ЗРБ снизилось до 0,5 %.

Добавление ППВ привело к увеличению  $T_{500}$  и  $T_v$  (что отражает снижение скорости истекания), а также уменьшению проходимости бетонной смеси, особенно при пониженном В/ВЖ и/или увеличенном содержании ЗРБ. Тем не менее смеси, содержащие повышенное количество ППВ и ЗРБ, имели повышенное сопротивление сегрегации. Это может быть приписано синергетическому эффекту непрерывной сети межчастичных связей в фибробетоне наряду с большей относительной водопоглощающей способностью ЗРБ, что снижает вредное воздействие свободной воды затворения в свежем бетоне.

Четырехлопастная лопатка с прорезями, вращающаяся в бесконечной среде, использовалась для определения кривых потока СУБ. Параметры  $\tau_0$  и  $\eta$  увеличились для смесей с большим содержанием ППВ и ЗРБ, при этом повышение  $\eta$  было примерно вдвое большим по сравнению с  $\tau_0$ . Это свидетельствует о том, что такие включения главным образом влияют на пластическую вязкость смеси, определяемую при движении, в то время как текучесть, которая отражает необходимую энергию для инициирования истечения, остается менее подверженной их влиянию. Предлагаются серии диаграмм для прогнозирования откликов  $T_v$  и проходимости при изменении реологических свойств бетонной смеси.

Эффект от добавления ППВ не повлиял на прочность на сжатие смесей, изготовленных с заданными В/ВЖ и типом заполнителя. Тем не менее прочность на растяжение при раскалывании для самоуплотняющегося фибробетона заметно увеличилась благодаря перекрывающему действию волокон, которое ограничивает распространение трещин в непосредственной близости от частиц заполнителя. Практически это означает, что падение прочности на растяжение из-за включений ЗРБ может быть компенсировано добавлением ППВ.

В целом полученные результаты хорошо согласуются с другими подобными исследованиями. Так, в работе [1] проводились испытания серий образцов с включением ЗРБ 0, 25 и 50 % с целью определения влияния ЗРБ на механические характеристики, в том числе на прочность при сжатии и растяжении, модуль упругости и др. При этом для изготовления бетонных образцов использовались аналогичные компоненты, однако получены они были из совершенно других источников. Тем не менее закономерности влияния ЗРБ на характеристики БУЗ при сжатии (прочность и модуль деформаций) оказались практически идентичными. Наблюдается несколько большее расхождение показателей снижения прочности при растяжении на изгиб, и это объясняется тем, что в работе [1] применялся рециклированный бетон практически той же исходной прочности,

что и основная матрица БУЗ. Все это свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббас З.А., Баркая Т.Р., Гавриленко А.В. Экспериментальное исследование механических свойств рециклированных бетонов. *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы международных академических чтений*. Курск. 2017. № 1. С. 1–9.
2. Matar P., Zéhil G.-P. Effects of Polypropylene Fibers on the Physical And Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete. *Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition*. 2019. No. 34 (6), pp. 1327–1344.
3. Matar P., Assaad J.J. Concurrent Effects of Recycled Aggregates and Polypropylene Fibers on Workability and Key Strength Properties of Self-consolidating Concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 199, pp. 492–500.
4. Matar P., Assaad J.J. Effect of Vertical Reinforcing Bars on Formwork Pressure of SCC Containing Recycled Aggregates. *Journal of Building Engineering*. 2017. No. 13, pp. 159–168.
5. EPG, The European Guidelines For Self-compacting Concrete Specification Production and Use. 2005. URL: <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf> (дата обращения: 12.02.2021).

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*МАТАР Пьер Юсеф* – PhD, HDR, профессор кафедры гражданского строительства, инженерный факультет, Ливанский университет, Beirut, Ливан. E-mail: pmatar@ul.edu.lb

*ЗЕХИЛЬ Жерард-Филипп Жерард* – PhD, доцент кафедры гражданского и экологического строительства, Университет Нотр-Дам – Луайзе, Зук Мосбех, Ливан. E-mail: gpzehil@ndu.edu.lb

*АСААД Жозеф Жан* – PhD, доцент кафедры гражданского и экологического строительства, инженерный факультет, Баламандский университет, Аль Кура, Ливан. E-mail: Joseph.Assaad@balamand.edu.lb

*БАРКАЯ Темур Рауфович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, инженерно-строительный факультет, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: btrs@list.ru

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Матар П.Ю., Зехиль Ж.-Ф.Ж., Асаад Ж.Ж., Баркая Т.Р. Использование полипропиленовых волокон в бетоне, изготовленном с утилизированными заполнителями // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 1 (9). С. 14–24.

**USE OF POLYPROPYLENE FIBERS IN CONCRETE FABRICATED  
WITH RECYCLED AGGREGATES**

**P.Y. Matar<sup>1</sup>, G.-Ph.G. Zéhil<sup>2</sup>, J.J. Assaad<sup>3</sup>, T.R. Barkaya<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Lebanese University (Beirut, Lebanon)*

<sup>2</sup>*Notre Dame University – Louaize (Zouk Mosbeh, Lebanon)*

<sup>3</sup>*University of Balamand (Al Koura, Lebanon)*

<sup>4</sup>*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** This article presents an overview of two research works investigating the effect of polypropylene fibers on the properties of recycled aggregate concrete (RAC) and, particularly, self-consolidating concrete (SCC) incorporating recycled aggregates. The following properties of RAC were evaluated: compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio, density, absorption, and voids. As for the SCC including recycled aggregates, the workability, compressive strength, and tensile strength were examined.

**Keywords:** recycled aggregates, recycled concrete, self-consolidating concrete, polypropylene fibers, physical and mechanical properties, rheological properties.

**REFERENCES**

1. Abbas Z.A., Barkaya T. R., Gavrilenko A.V. Experimental Study of the Mechanical Properties of Recycled Concrete. In the Collection: Security of the Construction Fund of Russia. *Problems and Solutions. Materials of International Academic Readings*. Kursk. 2017. No. 1, pp. 1–9. (In Russian).
2. Matar P., Zéhil G.-P. Effects of Polypropylene Fibers on the Physical and Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete. *Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition*. 2019. No. 34 (6), pp. 1327–1344.
3. Matar P., Assaad J.J. Concurrent Effects of Recycled Aggregates and Polypropylene Fibers on Workability and Key Strength Properties of Self-consolidating Concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 199, pp. 492–500.
4. Matar P., Assaad J.J. Effect of Vertical Reinforcing Bars on Formwork Pressure of SCC Containing Recycled Aggregates. *Journal of Building Engineering*. 2017. No. 13, pp. 159–168.
5. EPG, The European Guidelines for Self-compacting Concrete Specification Production and Use. 2005. URL: <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf> (date of access: 12.02.2021).

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**MATAR Pierre Youssef** – PhD, HDR, Professor; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Lebanese University, Beirut, Lebanon. E-mail: pmatar@ul.edu.lb

**ZEHIL Gérard-Philippe Gérard** – PhD, Associate Professor; Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Notre Dame University – Louaize, Zouk Mosbeh, Lebanon. E-mail: gpzehil@ndu.edu.lb

**ASSAAD Joseph Jean** – PhD, Associate Professor; Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of Balamand, Al Koura, Lebanon. E-mail: Joseph.Assaad@balamand.edu.lb

**BARAKAYA Temur Raufovich** – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Matar P.Y., Zehil G.-P.G., Assaad J.J., Barkaya T.R. Use of Polypropylene Fibers in Concrete Fabricated With Recycled Aggregates // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical Engineering and Chemical Technology». 2021. No. 1 (9), pp. 14–24.

УДК 004.031.42

**ОБЗОР ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
И КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ****В.В. Крылова, Л.А. Степанова***Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Крылова В.В., Степанова Л.А., 2021

**Аннотация.** Представлен анализ отечественного и зарубежного опыта в области проектирования инфраструктур пространственных данных (ИПД). Рассмотрены этапы развития, структура и элементы ИПД Российской Федерации и Китайской Народной Республики.

**Ключевые слова:** инфраструктура пространственных данных, ИПД, Китай, ГИС, GPS.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-24-32**

В настоящее время как в России, так и в Китае органы государственной власти и местного самоуправления, хозяйствующие субъекты создают и используют большие объемы пространственных и тематических данных, которые, как правило, локализованы и не скоординированы между собой, что исключает их комплексное использование.

Актуальность выбранной тематики определяется отсутствием единой системы идентификации пространственных объектов как универсального элемента связи различных баз данных, а также комплексной системной информации, что является одной из существенных причин несогласованности решений по развитию территорий, принимаемых различными органами управления этих двух стран.

Объемы накапливаемых, обрабатываемых и используемых пространственных и тематических данных федеральных органов власти, органов государственной власти и местного самоуправления, хозяйствующих субъектов, а также развитие современных информационных технологий и интернета изменили технологии массового сбора, хранения, обработки, использования пространственных данных, а также методы представления геоинформации, методы поиска, обеспечения доступа к ней, методы ее обработки, анализа и визуализации. Это обусловило создание ИПД.

**Инфраструктура пространственных данных в Российской Федерации.** Первое определение ИПД Российской Федерации как информационно-телекоммуникационной