



**РАСТИТЕЛЬНОЦЕМЕНТНЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ СКОРЛУПЫ
ГРЕЦКОГО ОРЕХА**

VEGETABLE CEMENT CONCRETE BASED ON WALNUT SHELLS

УДК 666.972:634.51

Хадыкина Елена Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент, Майкопский государственный технологический университет, Россия, г. Майкоп

Меретуков Заур Айдамирович, доктор технических наук, профессор, Майкопский государственный технологический университет, Россия, г. Майкоп

Khadykina Elena, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Maikop State Technological University, Russia, Maikop, e-mail: lena-khadykina@yandex.ru

Meretukov Zaur, Doctor of Technical Sciences, Professor, Maikop State Technological University, Russia, Maikop, e-mail:zaur-meretukov@yandex.ru

Аннотация

Современные мировые тенденции показывают предпочтительное малоэтажное строительство даже в крупных городах. Легкий бетон является самым распространенным материалом для малоэтажного строительства. Существующие легкие бетоны с добавками остатков древесины имеют ряд недостатков, обусловленных свойствами заполнителя. Предлагаемый заполнитель из дробленой скорлупы грецкого ореха обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными природными органическими

заполнителями: малая водопотребность и загниваемость, высокая прочность. В литературе отсутствуют данные по техническим характеристикам измельченной скорлупы. Таким образом, требуется определить технические характеристики измельченной скорлупы, выбрать метод обработки, снижающий количества водорастворимых сахаров в скорлупе, подобрать составы легкого бетона, обеспечивающего его оптимальные характеристики. Новая разновидность легкого бетона будет иметь характеристики, отличные от существующих аналогов.

Annotation

Modern global trends show the preferred low-rise construction even in large cities. Lightweight concrete is the most common material for low-rise construction. Existing lightweight concretes with additions of wood residues have a number of disadvantages due to the properties of the aggregate. The offered filler made of crushed walnut shells has a number of advantages over traditional natural organic fillers: low water demand and decay, high strength. There are no data in the literature on the technical characteristics of crushed shells. Thus, it is required to determine the technical characteristics of the crushed shell, choose a processing method that reduces the amount of water-soluble sugars in the shell, select the composition of lightweight concrete that provides its optimal characteristics. The new type of lightweight concrete will have characteristics that are different from existing counterparts.

Ключевые слова: Легкий бетон, мелкий заполнитель, композиционный материал, скорлупа грецкого ореха, цементные яды.

Key words: Lightweight concrete, fine aggregate, composite material, walnut shells, cement poisons.

Введение

В настоящее время во всем мире отмечается тенденция к облегчению веса строительных конструкций и изделий, то есть к применению в них прочных облегченных бетонов. Одним из способов снижения веса бетона является

замена тяжелых заполнителей на отходы древесины. На сегодняшний день имеется множество видов арболита под разными названиями. Это «Велокс» в Австрии, «Дюрипанель» в Германии, «Пиринобетон» в бывшей Чехословакии, «Дюризол» в Швейцарии.

Грецкий орех произрастает в Азии и на Кавказе, на Украине и Молдове. Скорлупа составляет 55-59 % от веса валового сбора грецкого ореха. Лишь незначительная часть ее используется в производстве кормов для животноводческой отрасли, а другая часть закапывается в землю или сжигается, тем самым загрязняя окружающую среду. На сегодня мировое производство грецких орехов возросло до 1,8 млн. тонн [6]. В Краснодарском крае грецкий орех произрастает повсеместно, существует большое количество крупных и малых предприятий по переработке грецкого ореха, которые испытывают сложности со сбытом и утилизацией скорлупы ореха. В республике Адыгея проводится программа по изучению и промышленному разведению грецкого ореха [8, 2]. Скорлупа это довольно прочный, мало затратный, экологически чистый и ежегодно-возобновляемый продукт.

Измельченную скорлупу используют во многих отраслях, в том числе и в промышленности:

- в качестве фильтрующего элемента в фильтрах, для фильтрации воды;
- сбора нефтепродуктов и других примесей, применяется в качестве кольматанта при бурении скважин на нефть и газ;
- для обеззараживания воды вместо активированного угля (в виде золы).

Также, скорлупа находит свое место в строительной отрасли [13]. Ее добавляют при изготовлении линолеума, толя, ее используют при производстве материала maderon. Maderon – это перерабатываемый испанский материал для изготовления мебели, сделанный, в основном, из перемолотой скорлупы миндаля, фундука и грецкого ореха.

Скорлупа грецкого ореха обладает более ценными в техническом смысле показателями, чем отходы сельскохозяйственной продукции (солома, лузга,

древесные опилки) – более низкое водопоглощение, лучшая биостойкость и прочность и т.д. По этой причине, она может являться основой искусственных строительных материалов и строительных смесей и растворов.

Система, состоящая из воды, вяжущего, отходов древесины в качестве замены каменного заполнителя для приготовления легкого бетона резко отличается в плане химического взаимодействия компонентов, технологии расчета состава[11]. Литературный обзор выявил отсутствие данных по техническим характеристикам мелкого заполнителя из скорлупы грецкого ореха, необходимых для проектирования оптимального состава строительного композита. Для того чтобы использовать скорлупу грецкого ореха в качестве мелкого заполнителя при производстве строительных материалов на основе портландцемента необходимо решить следующие задачи:

1. измельчение скорлупы до необходимой крупности;
2. обработка скорлупы для извлечения «цементных ядов»[1,3];
3. определение технических характеристик такого заполнителя, необходимых для подбора оптимального состава строительного конгломерата или раствора;
4. проектирование состава легкого бетона, обеспечивающего его оптимальные характеристики.

Изучение особенностей структуры скорлупы грецкого ореха и его дробимости [12,15] выявило следующие особенности:

1. Зерна имеют угловатую форму, что вызывает большую пустотность смеси и неэффективность прессования при приготовлении бетонной смеси;
2. Измельченный заполнитель активно впитывает воду, что приводит к его заметному разбуханию;
3. Влага, впитанная заполнителем, вероятно, сможет позволить исключить операцию увлажнения бетонного камня в первые 3 дня;

Зерновой состав после измельчения представлен в таблице 1.

Таблица 1. Частные остатки измельченной скорлупы грецкого ореха.

Частные остатки в % на ситах с диаметром отверстий, мм				
5	2,5	1,25	0,63	прошло через все сита
42	45	9	2,4	1,6

Средняя плотность заполнителя в рыхлонасыпанном состоянии составила $\rho_{\text{Н}}^{\text{Рыхл}} = 0,494 \text{ г/см}^3$, в уплотненном состоянии $\rho_{\text{Н}}^{\text{Упл}} = 0,520 \text{ г/см}^3$. Значение пустотности измельченной скорлупы представленного фракционного состава $V_{\text{пуст}}=48\%$ неудовлетворительно, так как при приготовлении строительных растворов или бетона приведет к перерасходу наиболее дорогостоящего компонента вяжущего вещества. Для определения зернового состава с минимальной пустотностью составлялись смеси различного зернового состава, Так как при измельчении фракция 3 мм получается в небольшом количестве, то решили объединить фракции 2,5 и 3 мм, самую крупную фракцию более 7,5 мм исключили, так как она будет вызывать расклинивающее действие на структуру легкого бетона [14].

Зерновой состав смеси представлен в таблице 2.

Таблица 2. Зерновой состав смеси с минимальной пустотностью.

Полные остатки в % на ситах с диаметром отверстий, мм				
7,5	5	2,5	1,25	прошло через все сита
10	40	80	90	100

Насыпная плотность в рыхлонасыпанном состоянии составила $\rho_{\text{Н}}^{\text{Рыхл}}=0,53 \text{ г/см}^3$, в уплотненном состоянии $\rho_{\text{Н}}^{\text{Упл}} = 0,61 \text{ г/см}^3$, пустотность $V_{\text{пуст}} = 31\%$.

При изготовлении строительных конгломератов минеральные вяжущие затворяются водой. Минеральные заполнители, как правило, не разбухают. Остатки растений имеют в своей структуре внутренние полости, которые приводят к заметному разбуханию материала при насыщении водой [1]. Поэтому для смеси с оптимальным зерновым составом изучили водопоглощение (рис. 1).

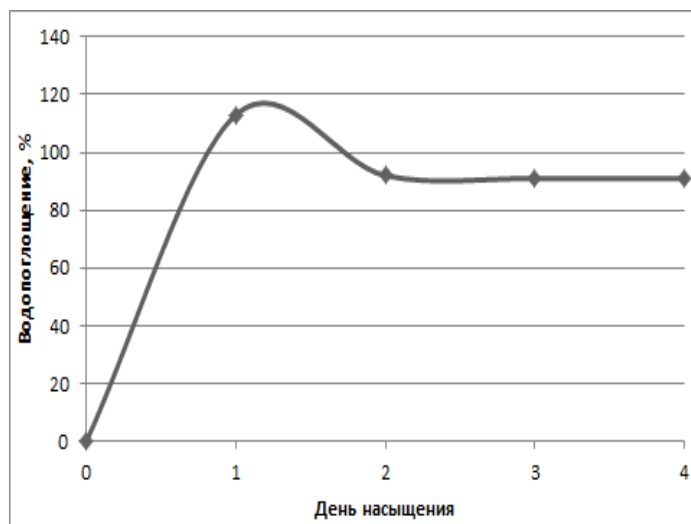


Рис. 1. Зависимость водопоглощения измельченной скорлупы от дня насыщения водой.

В процессе твердения бетона влага, впитанная древесным заполнителем, будет оттягиваться в цементный камень. Поэтому была изучена влагоотдача измельченной скорлупы (при $t = 22^{\circ}\text{C}$) (рис 2).

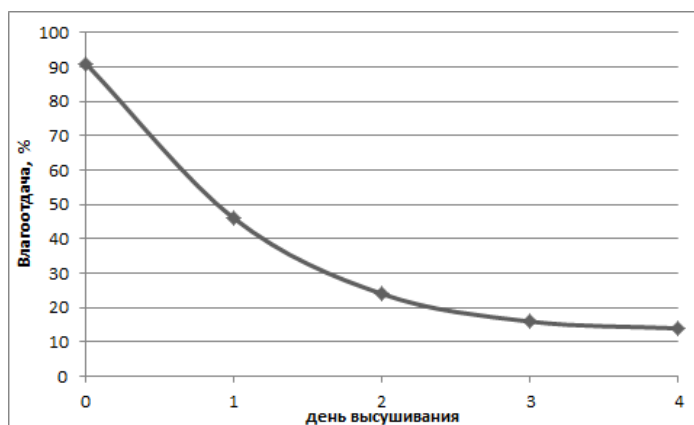


Рис. 2. Зависимость влагоотдачи измельченной скорлупы грецкого ореха от дня высушивания.

Мы считаем, что если изготовить бетонный материал на основе скорлупы, то влага, впитанная заполнителем, вероятно, сможет позволить исключить операцию увлажнения бетонного камня, проводимую в первые три дня при уходе за уложенной бетонной смесью.

В ходе исследования оказалось, что при водонасыщении скорлупы происходит ее заметное разбухание. Поэтому было изучено увеличение объема скорлупы при водонасыщении. Увеличение объема составило 34%.

Одним из специфических особенностей древесного заполнителя является наличие в нем легкогидролизуемых и экстрактивных вредных веществ, так называемых «цементных ядов», отрицательно влияющих на свойства цементного камня.

Для борьбы с этим явлением предложено несколько методов [1, 3].

Грецкий орех так же содержит в своем составе водорастворимые сахара [7]. Для подбора метода обработки скорлупы грецкого ореха для снижения содержания водорастворимых сахаров были исследованы три серии образцов:

1. Необработанная скорлупа.

2. Заполнитель заливается горячей водой с температурой 60-70⁰С и выдерживается 24 часа для лучшего извлечения водорастворимых сахаров. Далее с заполнителя сливается вода с растворенными сахарами, заполнитель высушивается.

3. Заполнитель обрабатывается раствором негашеной извести, выдерживается 48 часов. Далее с заполнителя сливается раствор, заполнитель высушивается.

Содержание водорастворимых сахаров представлено в таблице 3.

Таблица 3.Содержание водорастворимых сахаров в скорлупе грецкого ореха.

Наименование образца	Количество сахаров , % масс.
Скорлупа без обработки	5,82
Скорлупа, обработанная водой	3,41
Скорлупа, обработанная гашеной известью	3,75

Из результатов следует, что обработка водой более эффективна для снижения количества водорастворимых сахаров. Учитывая, что время обработки водой составляет 24 часа, а гашеной известью 48 часов и требует дополнительных затрат на покупку реактива, образует сточные воды, требующие специальных методов переработки, более экономически выгодно и экологически безопасно остановиться на обработке скорлупы водой.

Для создания легкого бетона использовался портландцемент марки ПЦ 500, измельченная скорлупа грецкого ореха оптимального состава, обработанная водой.

Сначала были изготовлены пилотные образцы на сухом заполнителе. Оказалось, что в процессе твердения цементного камня сухой заполнитель активно впитывает воду из цементного теста, что приводит к хрупкости и рыхлой структуре получаемых образцов.



Рис. 3. Образец бетона, полученный на сухом заполнителе.

Следующие образцы были изготовлены на насыщенной водой скорлупе. Предполагалось, что та влага, впитанная заполнителем, вероятно, сможет позволить исключить операцию увлажнения бетонного камня, проводимую в первые три дня при уходе за уложенной бетонной смесью. Оказалось, что при твердении бетонного камня скорлупа отдает влагу и уменьшается в объеме. Это так же приводит к излишне рыхлой структуре получаемых образцов.



Рис. 4. Образец бетона, полученный на насыщенном водой заполнителе.

При использовании мелкого заполнителя, высушенного до остаточной влажности 25% (ГОСТ 19222-84 Государственный стандарт союза ССР. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. 1985-01-01. 30 с.) структура получается более плотная.



Рис.5. Образец бетона, полученный на заполнителе, высушенном до остаточной влажности 25%.

Для подбора состава бетона была заложена серия образцов при водоцементном отношении 0,75.

Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Состав и свойства серии образцов легкого бетона.

№	Соотношение компонентов		Средняя плотность, кг/м ³	R _{сж} , 28 сут
	портландцемент	Заполнитель *		
1.	1	1,4	580	3,10
2.	1	1,2	600	3,30
3.	1	1,0	760	3,80
4.	1	0,8	980	3,90
5.	1	0,6	1200	4,10
6.	1	0,4	1350	4,25

*Влажность заполнителя 0%

Требуется получить конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон. Поэтому для дальнейшей работы был выбран состав 5.

Для улучшения комплекса свойств легкого бетона в его состав вводят различные добавки [4, 9, 10]. Были изучены химические добавки, рекомендуемые для управления физико-механическими и технологическими свойствами бетонов. Были выбраны наиболее доступные ускорители твердения, так как проектируемый состав легкого бетона предназначен для малоэтажного частного строительства и должен быть доступен потребителю. Влияние добавок на прочность и дозировка добавок представлены в таблице 5.

Таблица 5. Дозировка добавок в бетон, прочность образцов бетона.

Наименование добавки	Без добавки	Нитрат кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Нитрит натрия NaNO_2	Жидкое стекло Na_2SiO_3
Количество добавки, % от массы цемента	-	2	1,5	6
Предел прочности на сжатие (28 сут)	3,9	6,6	10,0	4,5

Нитрит натрия NaNO_2 показал наибольший рост прочности при наименьших дозировке.

Полученные характеристики оптимального состава легкого бетона представлены в таблице 6.

Таблица 6. Состав и свойства легкого бетона на основе скорлупы грецкого ореха.

Характеристики легкого бетона	
Состав	Портландцемент : заполнитель* : нитрит натрия 1:1:0,02 при водоцементном соотношении 0,75
Зерновой состав заполнителя	7,5мм: 5мм: 2,5мм: 1,25мм:<1,25 мм

	1:3:4:1:1
$R_{сж}^{28}$	10,0
Средняя плотность	1205 кг/м ³
Водопоглощение по массе, %	3,2
Теплопроводность, Вт/м*°С	0,295

*При влажности заполнителя 25%

Полученный легкий бетон по своим характеристикам близок к группе конструкционно-теплоизоляционных бетонов марки D1000.

Уточненная технология получения легкого бетона:

1. Легкий заполнитель заливается горячей водой с температурой 60-70⁰С и выдерживается 24 часа для лучшего извлечения водорастворимых сахаров. Далее с заполнителя сливается вода с растворенными сахарами, заполнитель высушивается до остаточной влажности 25%.

2. Отмеренное количество воды и нитрита натрия смешивается с заполнителем и портландцементом. Перемешивание производится в течение 5 минут.

3. Бетонный раствор помещается в форму, погружается и пропаривается в камере в течение 6 часов при температуре 80⁰С.

Выводы:

Получены технические характеристики мелкого заполнителя на основе скорлупы грецкого ореха: водопоглощение, влагоотдача, зерновой состав. Определен зерновой состав, обеспечивающий минимальную пустотность заполнителя. Определены насыпная плотность в рыхлонасыпанном и уплотненном состоянии, пустотность, разбухаемость мелкого заполнителя оптимального зернового состава.

Подобран метод обработки скорлупы грецкого ореха обеспечивающий снижение содержания водорастворимых сахаров.

Подобран ускоритель твердения бетона, увеличивающий прочность на сжатие в 2,5 раза.

Определен состав и технология получения легкого бетона на основе скорлупы грецкого ореха.

Список литературы

1. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Толеуов Т.Ж. Получение легкого арболитобетона на основе цементнозольношламового вяжущего и органического заполнителя из скорлупы грецкого ореха // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/07TVN416.pdf>
2. Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Луговской А.П. Современные тенденции селекции ореха грецкого в России // Современные проблемы науки и образования , 2015, № 2, с. 531 .
3. Жив А. С., Галербуй С., Исакулов Б. Р. Ресурсосберегающие технологии получения арболита на основе отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов Азии и Африки// Механизация строительства - 2013г. №3, с. 14-17
4. Зоткин, А.Г. Бетоны с эффективными добавками [Электронный ресурс] / А.Г. Зоткин. - М.: Инфра-Инженерия, 2014. - 160 с
5. Коротаев Э. И. , Клименко М. И. Производство строительных материалов из древесных отходов.- М.: СИ, 1977. -164 с.
6. Министерство сельского хозяйства США ФАС: Общий обзор мирового рынка грецкого ореха. 2016 г.
7. Оболевская А. Б., Щеглов В. П. Химия древесины и полимеров. М.: СИ, 1980.168 с.
8. Сухоруких Ю. И. , Биганова С. Г. О выращивании грецкого ореха в республике Адыгея.// Вестник Майкопского государственного технологического университета,2010, № 3, с. 26-31.
9. Gürü, M.; Atar, M.; Yıldırım, R. Production of polymer matrix composite particleboard from walnut shell and improvement of its requirements. Mater. Des. 2008, 29, 284–287. [CrossRef]

10. Jiang, J.L., Niu, Y.A, Jiang, Y.A. Effect of composite set-accelerator on the properties of ultra-lightweight foamed concrete (Article) View Correspondence (jump link) //Journal of Functional Materials Volume 46, Issue 12, 30 June 2015, Pages 12116-12121 and 12126.
11. Mannan, M.A., Ganapathy, C. Mix design for oil palm shell concrete(Article). View Correspondence (jump link). Cement and Concrete Research Volume 31, Issue 9, September 2001, Pages 1323-1325.
12. Mingzheng, L.; Changhe, L.; Yanbin, Z.; Min, Y. Shell crushing mechanism analysis and performance test of flexible-belt shearing extrusion for walnut. J. Agric. Mach. 2016, 47, 267–273.
13. Shafigh, P.; Mahmud, H.B.; Jumaat, M.Z.B.; Ahmmad, R.; Bahri, S. Structural lightweight aggregate concrete using two types of waste from the palm oil industry as aggregate. J. Clean. Prod. 2014, 80, 187–196. [CrossRef]
14. Zheng, Z.F.; Zou, J.C.; Hua, B.; Zhang, H.J.;Wang, R. Study on the constituents of walnut shell. J. Southwest For. Coll. 2016, 26, 33–36.
15. Zhou, C.; Zhensheng, Y.; Junyan, L.; Chunpin, W.; Xiaofang, X. Determination and analysis on elements in chinese walnut shell. Guangdong WeiliangYuansuKexue 2005, 12, 58–60

Bibliography

1. Akulova M.V., Isakulov B.R., Dzhumabaev M.D., Toleuov T.Zh. Production of lightweight wood concrete based on cement-ash slurry binder and organic filler from walnut shells // Internet magazine "Science" Volume 8, No. 4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/07TVN416.pdf>
2. Biganova S.G., Sukhorukikh Yu.I., Lugovskoy A.P. Modern trends in walnut breeding in Russia // Modern problems of science and education, 2015, no. 531.
3. Zhiv A. S., Galebuy S., Isakulov B. R. Resource-saving technologies for obtaining wood concrete based on industrial waste and local raw materials from Asia and Africa // Mechanization in construction - 2013. No. 3, p. 14-17

4. Zotkin, A.G. Concretes with effective additives [Electronic resource] / A.G. Zotkin. - M.: Infra-Engineering, 2014. -- 160 p.
5. Korotaev EI, Klimenko MI Production of building materials from wood waste.- M.: SI, 1977. -164 p.
6. USDA FAS: General Overview of the World Walnut Market. 2016 Nov.
7. Obolevskaya AB, Shcheglov VP Chemistry of wood and polymers. Moscow: SI, 1980, 168 p.
8. Sukhorukikh Yu. I., Biganova SG On the cultivation of walnuts in the Republic of Adygea. // Bulletin of the Maikop State Technological University, 2010, No. 3, p. 26-31.
9. Gürü, M.; Atar, M.; Yıldırım, R. Production of polymer matrix composite particleboard from walnut shell and improvement of its requirements. Mater. Des. 2008, 29, 284–287. [CrossRef]
10. Jiang, J.L., Niu, Y.A, Jiang, Y.A. Effect of composite set-accelerator on the properties of ultra-lightweight foamed concrete (Article) [View Correspondence \(jump link\)](#) //Journal of Functional Materials Volume 46, Issue 12, 30 June 2015, Pages 12116-12121 and 12126.
11. Mannan, M.A., Ganapathy, C. Mix design for oil palm shell concrete(Article). View Correspondence (jump link). Cement and Concrete Research Volume 31, Issue 9, September 2001, Pages 1323-1325.
12. Mingzheng, L.; Changhe, L.; Yanbin, Z.; Min, Y. Shell crushing mechanism analysis and performance test of flexible-belt shearing extrusion for walnut. J. Agric. Mach. 2016, 47, 267–273.
13. Shafigh, P.; Mahmud, H.B.; Jumaat, M.Z.B.; Ahmmad, R.; Bahri, S. Structural lightweight aggregate concrete using two types of waste from the palm oil industry as aggregate. J. Clean. Prod. 2014, 80, 187–196. [CrossRef]
14. Zheng, Z.F.; Zou, J.C.; Hua, B.; Zhang, H.J.;Wang, R. Study on the constituents of walnut shell. J. Southwest For. Coll. 2016, 26, 33–36.

15. Zhou, C.; Zhensheng, Y.; Junyan, L.; Chunpin, W.; Xiaofang, X.
Determination and analysis on elements in chinese walnut shell. Guangdong
WeiliangYuansuKexue 2005, 12, 58–60