

УДК 674.816.2:691.175.746

UDC 674.816.2:691.175.746

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В ПОРИЗОВАННОМ КОНСТРУКЦИОННОМ АРБОЛИТЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ВСПУЧЕННЫЙ ПОЛИСТИРОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ****WAYS OF OPTIMIZING THE AMOUNT OF CHEMICAL ADDITIVES IN POROUS ARBOLITE CONTAINING FOAMED POLYSTYRENE GRAVEL AGGREGATE**

Адамия Анзор Михайлович

к.т.н., доцент

РИНЦ SPIN-код = 2571-1365

E-mail: [adamiya@mgul.ac.ru](mailto:adamiya@mgul.ac.ru)*Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»*

Adamiya Anzor Mihailovich

Cand. Tech. Sci., Assistant Professor

RSCI SPIN code = 2571-1365 w

E-mail: [adamiya@mgul.ac.ru](mailto:adamiya@mgul.ac.ru)*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University» (Mytishchi Branch)*

Статья посвящена исследованию оптимальных расходов химических добавок в древесно-цементном материале (арболите) содержащем вспученный полистирольный гравий. Для получения из крупнопористой структуры арболита слитной структуры инертный органически наполнитель (древесная дроблёнка) частично был заменён вспученным полистирольным гравием, размером в соответствие с крупностью пор. В статье рассмотрено применение различных добавок с учётом вида и качества инертного наполнителя, плотности композита и степени армирования конструкции. Химические добавки выбирали с целью поризации материала, образования плёнки на поверхности наполнителя и ускорения твердения цемента. Для решения задачи проведена серия активных экспериментов с различным числом факторов, варьируемых на различных уровнях. При выборе состава арболитовой смеси использованы результаты исследования влияния вспученного полистирольного гравия на структуру и свойства арболита. За критерием оценки оптимального расхода химических добавок была принята прочность арболита. В результате обработки экспериментальных данных, получена конечная регрессионная модель, описывающая влияние расхода химических добавок на прочность арболита. В табличном виде представлены уровни варьирования технологических факторов и матрица планирования экспериментов по оптимизации расхода химических добавок. Установлен оптимальный расход химических добавок для приготовления арболита, содержащего вспученный полистирольный гравий

The article deals with studying the ways of optimizing the amount of chemical additives in the wood-concrete material, i.e. arbolite, which contains foamed polystyrene gravel aggregate. To make arbolite honeycombed structure more conglomerated a non-reactive aggregate, i.e. hogged chips, has been partially replaced with foamed polystyrene gravel aggregate which has a mean particle size equal to a concrete pocket size. The article also deals with various additives to be used, taking into account the non-reactive aggregate type and its quality, the composite density and its reinforcement level. All chemical additives have been chosen to make the initial material more porous, to produce a film covering the aggregate surface and to speed up the process of concrete hardening. To solve to above problems a series of experiments was carried out, the latter studied various combinations of factors changing at certain levels. The results of studying the foamed polystyrene gravel aggregate influence on the arbolite structure and its characteristics were used to make a choice of the arbolite composition. The main criterion of the optimal amount of chemical additives has been considered the arbolite strength. The experimental data processing has resulted in the finite regression model which describes the chemical additive amount influence on the arbolite strength. The tables in the article show the levels of technological factors varying and the matrix of planning the experiments to be carried out in order to optimize the chemical additive amount. As a result of the research accomplished the optimal amount of chemical additives has been determined which enables to produce the arbolite with some foamed polystyrene gravel aggregate in its composition

Ключевые слова: АРБОЛИТ, ХИМИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ, ПОЛИСТИРОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ, ОПТИМАЛЬНЫЙ РАСХОД

Keywords: ARBOLITE (WOOD CONCRETE), CHEMICAL ADDITIVES, POLYSTYRENE GRAVEL AGGREGATE, OPTIMAL AMOUNT

Doi: 10.21515/1990-4665-128-017

Введение химических добавок – один из самых технологичных, гибких, доступных и универсальных способов улучшения свойств бетонных смесей и бетонов.

Химические добавки широко применяют в производстве арболита. В арболитовую смесь их вводят для повышения прочности, ускорения процессов твердения, улучшения технологических свойств арболитовой смеси (удобоукладываемость, однородность) и т.д.[1,2,3,4]. Добавками служат химические вещества, которые локализуют замедляющее действие экстрактивных веществ, содержащихся в органическом целлюлозном заполнителе, или покрывают частицы заполнителя водонепроницаемой плёнкой, препятствующей соприкосновению вредных веществ заполнителя с цементным тестом. Добавки являются также ускорителями твердения арболита, что позволяет сократить срок воздействия вредных веществ на гидратацию цемента [5,6,7].

Выбор химических добавок зависит от вида и качества органического заполнителя, а также от плотности арболита и степени армирования конструкции [8,9,10].

Известно, что добавки не изменяют характера зависимостей подвижности бетонной смеси от расхода воды и прочности бетона, от активности цемента и цементно-водного отношения, а только изменяют количественное соотношение между разными факторами. Величина подобных изменений зависит от дозировки добавки.

Оптимизацию расхода химических добавок в бетоне осуществляли с помощью метода математического планирования эксперимента (МПЭ). В исследованиях были приняты симметричный и ротатабельный план второго порядка [11,12] с разным числом факторов и на разных уровнях варьирования, позволяющий получить полные квадратичные уравнения регрессии вида:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n} b_{ij} x_i x_j,$$

где  $b$  – численные оценки коэффициентов модели;

$n$  – количество варьированных переменных.

Предварительный состав поризованного арболита подбирали расчетно-экспериментальным путём. При определении расхода древесной дроблёнки руководствовались тем, что на  $1\text{ м}^3$  арболита принимается  $1,3 \dots 1,5 \text{ м}^3$  инертного органического заполнителя в насыпном состоянии. Вид цемента и его ориентировочный расход назначили по таблице в зависимости от породы древесины и класса арболита. В качестве воздухововлекающей добавки для поризации применяли смолу древесную омыленную (СДО). В качестве химических добавок в арболитовую смесь вводились: хлорид кальция (Кальций хлористый технический) и жидкое стекло (Стекло жидкое натриево). Хлорид кальция является ускорителем твердения цемента, сокращает срок воздействия вредных веществ (древесных сахаров) на гидролиз и гидратацию цемента. Жидкое стекло образует плёнку на поверхности инертного органического заполнителя и препятствует соприкосновению вредных веществ заполнителя с цементным тестом, ускоряет процесс схватывания цемента, тем самым сокращает период воздействия сахаров на вяжущее [13,14].

Химические добавки в арболитовую смесь вводили в виде водного раствора. Для поддержания принятого водоцементного отношения (В/Ц) количество воды, содержащееся в растворах, учитывали при расчёте состава арболитовой смеси. Приготовления растворов химических добавок и корректировку В/Ц арболитовой смеси выполняли соблюдением требования ГОСТа 23732-79. Растворы химических добавок готовили в специальных ёмкостях с учётом коррозионной агрессивности этих растворов.

Известно, что арболит на древесной дроблѐнке имеет крупнопористую структуру и на величину межзерновой пустотности, определяющее влияние оказывает гранулометрический состав заполнителя [15,16] лущения слитной структуры бетона в арболите частично заменяли дроблѐнки вспученным полистирольным гравием, характеризующимся низким водопоглощением, сорбционной влажностью и средней насыпной плотностью. Размер гранул выбирали соизмеримым с межзерновыми пустотами арболитовой смеси и он составил 2...5 мм. Экспериментом уточнили влияние концентрации вспученного полистирола на прочность арболита, затем на основе полученного результата установили объѐм оптимального расхода полистирола в составе 1м<sup>3</sup> арболита [17].

Для определения оптимального расхода химических добавок был принят симметричный план второго порядка, числом факторов  $n = 3$  на трёх уровнях варьирования. В экспериментах варьировались следующие факторы:

$X_1$  – расход натриевого жидкого стекла в % от расхода цемента;

$X_2$  – расход хлорида кальция в % от расхода цемента;

$X_3$  – расход смолы древесной омыленной в % от расхода цемента.

За критерий оптимальности приняты прочность арболита и расход отдельных химических компонентов с учётом их влияния на арболит и экономики. Условия варьирования технологических факторов и матрица планирования эксперимента представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

### Условия варьирования технологических факторов

Технологические факторы	Код	Интервал варьирования	Уровни варьирования переменных		
			-1	0	+1
Расход жидкого стекла, кг	$X_1$	7,2	3,6	10,8	18,0
Расход хлорида кальция, кг	$X_2$	3,6	1,8	5,4	9,0
Расход СДО, кг	$X_3$	0,72	0,36	1,08	1,8

Таблица 2

**Матрица планирования экспериментов по оптимизации расхода  
химических добавок**

NN пп	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Расходы хим. добавок, кг/м <sup>3</sup>			Прочность арболита при сжатии R <sub>в</sub> , МПа
				Жидкое стекло	Хлорид кальция	СДО	
1.	-	-	-	3,6	1,8	0,36	0,6
2.	-	+	-	3,6	9,0	0,36	1,3
3.	-	-	+	3,6	1,8	1,8	0,5
4.	-	+	+	3,6	9,0	1,8	1,2
5.	-	0	0	3,6	5,4	1,08	1,7
6.	0	+	0	10,8	9,0	1,08	2,7
7.	0	-	0	10,8	1,8	1,08	1,9
8.	0	0	+	10,8	5,4	1,8	1,3
9.	0	0	-	10,8	5,4	0,36	1,5
10.	0	0	0	10,8	5,4	1,08	2,6
11.	+	-	-	18,0	1,8	0,36	1,0
12.	+	-	+	18,0	1,8	1,8	1,3
13.	+	+	-	18,0	9,0	0,36	2,4
14.	+	+	+	18,0	9,0	1,8	2,2
15.	+	0	0	18,0	5,4	1,08	3,2

Эксперименты проводились на следующем составе арболитовой смеси: портландцемент М400– 360 кг/м<sup>3</sup>, древесная дроблёнка 0,90 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, вспученный полистирол 0,40 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, вода 300 л/м<sup>3</sup> и химические добавки, расходы которых менялись соответственно табл. 2.

Обработка экспериментальных данных, подсчет уравнений регрессии, статистический анализ полученных уравнений и определение расчетных значений выходных параметров выполнялись по методу наименьших квадратов на ЭВМ.

Для получения моделей определяли множественный коэффициент корреляции (R), а также проверяли адекватность по критерию Фишера (F).

В исследовании были учтены, что в теории математического планирования эксперимента существует положение о том, что коэффициенты квадратных членов в планах второго порядка оставляют в уравнении, даже если они незначимы. Кроме того, по чисто

технологическим соображениям допускается введение любого статистически незначимого коэффициента [6].

В результате обработки экспериментальных данных получены коэффициенты уравнений регрессии, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

### Расчетные коэффициенты модели

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$
2,44	0,54	0,39	0,09	0,044	1,106	1,01	0,0375	0,0375	0,0125

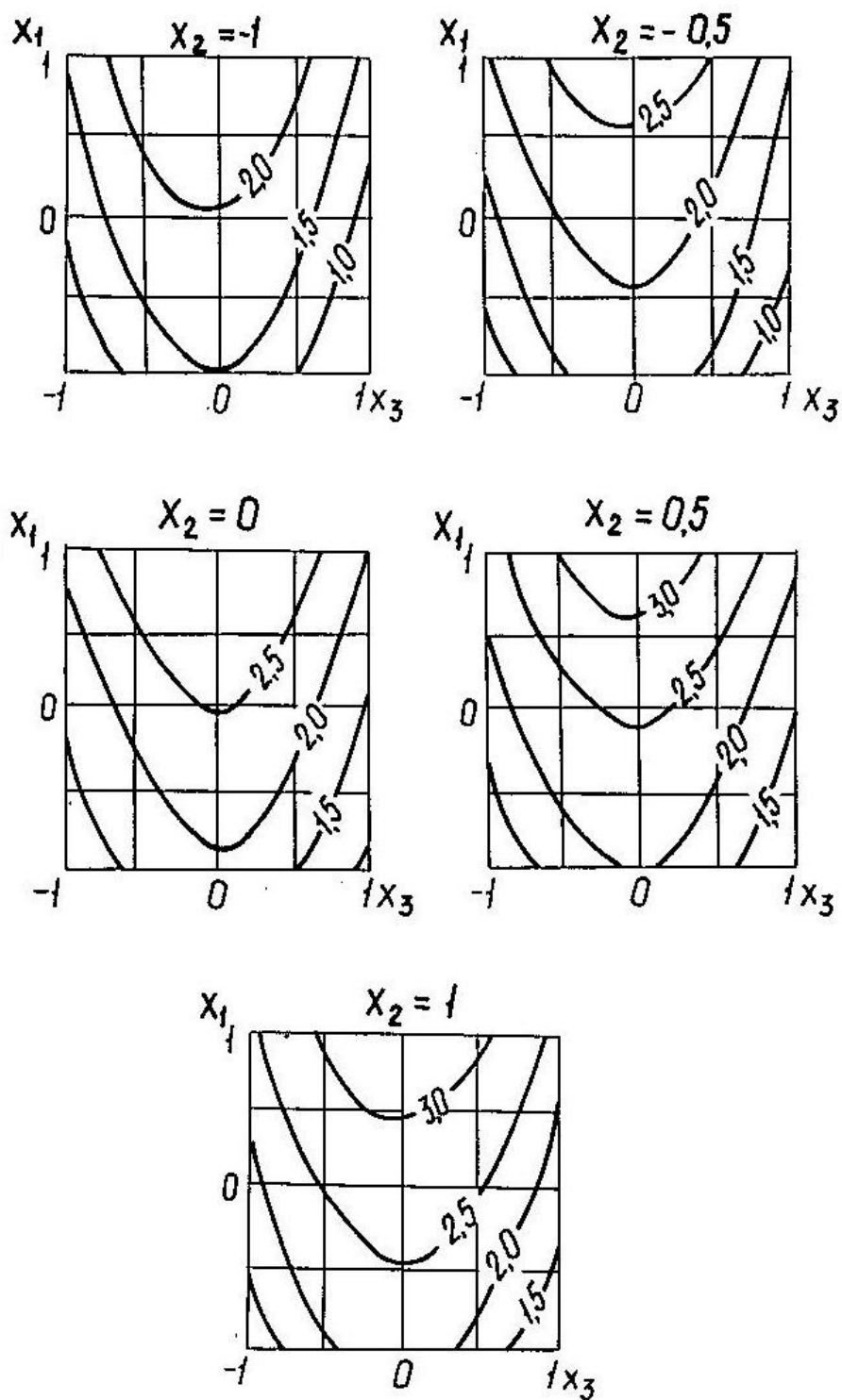
Расчетные коэффициенты корреляции и Фишера соответственно равны:

$$R = 0,991; F_{\text{кр. расч.}} = 30,84$$

Адекватность модели определяли по критерию Фишера. Табличное значение критерия Фишера  $F_{\text{кр. табл.}} = 230$ , при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степени свободы  $f_1 = 1$ ,  $f_2 = 5$  [7]. Расчетное значение критерия Фишера меньше табличного значения, т.е. полученная модель адекватна для принятого уровня доверительной вероятности. Конечная регрессионная модель, описывающая влияние расхода химических добавок на прочность арболита, имеет вид:

$$R_6 = 2,44 + 0,54X_1 + 0,39X_2 - 0,09X_3 + 0,044X_1^2 - 1,106X_2^2 - 1,01X_3^2 + \\ + 0,038X_1X_2 - 0,038X_1X_3 + 0,013X_2X_3.$$

На основании полученной модели построены графики, которые показаны на рис. 1. Как видно из рис.1., с увеличением  $X_1$  и  $X_2$  увеличивается прочность арболита и достигается максимум при  $X_3 = 0$ . Исходя из этого, для получения прочности  $R \geq 2,5$  МПа можно принять расход СДО равный  $X_3 = 0$ , т.е. 0,3% Ц, при котором целесообразно установить расход хлорида кальция  $X_2 = 0$ , т.е. 1,5% Ц, т.к. дальнейшее его повышение не приводит сколько-нибудь заметному приросту прочности,



$X_1$  – расход жидкого стекла (1...5)% Ц;

$X_2$  – расход хлорида кальция (0,5...2,5)% Ц;

$X_3$  – расход СДО (0,1...0,5)% Ц

**Рис. 1.** Влияние расхода химических добавок на прочность поризованного арболита.

но усиливает коррозионную активность вяжущего по отношению к закладным деталям арболитовых конструкций. В данном случае в соответствии с рис. 1. расход жидкого стекла будет  $X_1 = 0$ , т.е. 3% Ц.

В других вариантах, при меньшем расходе хлорида кальция для достижения набора прочности арболита (при расходе СДО – 0,3% Ц), надо увеличить расход жидкого стекла, однако это приведет к подорожанию арболитовых изделий.

В результате проведённого анализа (рис.1) можно установить следующие оптимальные расходы химических добавок для поризованного арболита: расход жидкого стекла – 3% Ц, хлорида кальция – 1,5% Ц и СДО – 0,3% Ц.

На основе проведённых исследований можно сделать вывод: получена трёхфакторная модель в виде полиномов второго порядка, адекватно описывающая зависимость прочности арболита при сжатии от расхода химических добавок.

#### Библиографический список

1. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989.-188с.
2. Ускорение твердения арболита химическими добавками /В.М.Бутерин, А.С.Щербаков, Н.Н.Силина и др. /Научн. тр. Московский лесотехн. ин-т.–М.:1976.– Вып.93. с.106-112
3. Мещеряков И.П. Щербаков А.С. Повышение прочности арболита химическими добавками /Лесоэксплуатация и лесное хозяйство. Т.17. -1966. –с.10-12
4. Грапп В.Б., Ратинов.В.Б. Применение химических добавок для интенсификации процесса производства и повышения качества бетона и железобетона/ ЛатНИИНТИ.- Рига, 1979.-28с.
5. Бутерин В.М. Исследование и оптимизация влияния некоторых химических добавок на интенсификацию роста прочности арболита / Научн. тр. Московский лесохехн. Ин-т. -1982. Вып.121. -150с.
6. Бутерин В.М. Исследование методов ускорения твердения арболита на древесном заполнителе. Автореф. дисс.на соиск. уч. степ. к.т.н. – М.: 1979.-19с.
7. Подчуфаров В.С. Исследование факторов , влияющих на качество арболита. Автореф. дисс. На соиск. уч. степ. к.т.н. –М.:1980.-19с.
8. Щербаков А.С. Влияние свойств исходных материалов и технологических факторов на прочност арболита /Лесожилэксплуатация и лесное хозяйство. М : 1966 - №32. -с.12-13.



9. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1970-272с.
10. Иванов Ф.М., Батраков В.Г., Лагойда А.В. Основные направления применения химических добавок к бетону // Бетон железобетон. 1981, № 9 –С.3-4.
11. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. – М.: НИИЖБ, 1982. – 103 с
12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программированное введение и планирование эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 287 с.
13. Соркин Э.Г. Методика и опыт оптимизации свойств бетона и бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1973. – 55 с.
14. Маев Е.Д. Влияние состава арболита на его свойства / Сборник трудов ВНИ-ИСМ. – М.: ВНИИСМ, 1965, -вып.1/91,- С.23-24.
15. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979.-343с
16. Склизов Н.И., Наназашвили И.Х. Структурообразование арболита. / Сб.трудов ЦНИИЭПСЕЛЬСТРОЯ, - М., 1976. № 15 –С.106-111.
17. Савин В.И., Адамия А.М., Широкова О.А.. Влияние вспученного полистирола на свойства поризованной арболитовой смеси и арболита /Сб. научн. Трудов/ Московский лесотехнический институт. – М.:1989. –вып.216.-с.79-86.

### References

1. Ratinov V.B., Rozenberg T.I. Dobavki v beton. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Strojizdat, 1989.-188s.
2. Uskorenie tverdenija arbolita himicheskimi dobavkami /V.M.Buterin, A.S.Shherbakov, N.N.Silina i dr. /Nauchn. tr. Moskovskij lesotehn. in-t.–М.:1976.–Vyp.93. s.106-112
3. Meshherjakov I.P. Shherbakov A.S. Povyshenie prochnosti arbolita himicheskimi dobavkami /Lesojekspluatacija i lesnoe hozjajstvo. T.17. -1966. –s.10-12
4. Grapp V.B., Ratinov.V.B. Primenenie himicheskikh dobavok dlja intensivifikacii processa proizvodstva i povyshenija kachestva betona i zhelezobetona/ LatNIINTI.- Riga, 1979.-28s.
5. Buterin V.M. Issledovanie i optimizacija vlijanija nekotoryh himicheskikh dobavok na intensivifikaciju rosta prochnosti arbolita / Nauchn. tr. Moskovskij lesotehn. In-t. -1982. Vyp.121. -150s.
6. Buterin V.M. Issledovanie metodov uskorenija tverdenija arbolita na drevesnom zapolnitele. Avtoref. diss.na soisk. uch. step. k.t.n. – М.: 1979.-19s.
7. Podchufarov V.S. Issledovanie faktorov , vlijajushhih na kachestvo arbolita. Avtoref. diss. Na soisk. uch. step. k.t.n. –М.:1980.-19s.
8. Shherbakov A.S. Vlijanie svojstv ishodnyh materialov i tehnologicheskikh faktorov na prochnost arbolita /Lesozhiljekspluatacija i lesnoe hozjajstvo. M : 1966 - №32. -s.12-13.
9. Buzhevich G.A. Legkie betony na poristyh zapolniteljah. –М.: Strojizdat, 1970-272s.
10. Ivanov F.M., Batrakov V.G., Lagojda A.V. Osnovnye napravlenija primeneniya himicheskikh dobavok k betonu // Beton zhelezobeton.1981, № 9 –С.3-4.
11. Rekomendacii po primeneniju metodov matematicheskogo planirovaniya jeksperimenta v tehnologii betona. – М.: NIIZhB, 1982. – 103 s

12. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. Programmirovannoe vvedenie i planirovanie jeksperimenta. – M.: Nauka, 1971. – 287 s.

13. Sorkin Je.G. Metodika i opyt optimizacii svojstv betona i betonnoj smesi. – M.: Strojizdat, 1973. – 55 s.

14. Maev E.D. Vlijanie sostava arbolita na ego svojstva / Sbornik trudov VNI-ISM. – M.: VNIISM, 1965, -vyp.1/91,- S.23-24.

15. Shejkin A.E., Chehovskij Ju.V., Brusser M.I. Struktura i svojsta cementnyh betonov. -M.: Strojizdat, 1979.-343s

16. Sklizkov N.I., Nanazashvili I.H. Strukturoobrazovanie arbolita. / Sb.trudov CNIJePSEL"STROJa, - M., 1976. № 15 –S.106-111.

17. Savin V.I., Adamija A.M., Shirokova O.A.. Vlijanie vspuchennogo polistirola na svojstva porizovannoj arbolitovoj smesi i arbolita /Sb. nauchn. Trudov/ Moskovskij lesotehnicheskij institut. – M.:1989. –vyp.216.-s.79-86.