

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №5, Том 13 / 2021, No 5, Vol 13 <https://esj.today/issue-5-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/21SAVN521.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Емельянов, Р. Т. Динамика виброуплотнения арболитовых изделий / Р. Т. Емельянов, Г. П. Баранова, Е. С. Турышева, И. А. Фролов // Вестник евразийской науки. — 2021. — Т. 13. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/21SAVN521.pdf>

For citation:

Emelyanov R.T., Baranova G.P., Turysheva E.S., Frolov I.A. Dynamics of vibration compaction of wood concrete products. *The Eurasian Scientific Journal*, 13(5): 21SAVN521. Available at: <https://esj.today/PDF/21SAVN521.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 480.59

Емельянов Рюрик Тимофеевич

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ert-44@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5453-4882>

Баранова Галина Павловна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: putinap@mail.ru

Турышева Евгения Сергеевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: E.Turysheva@mail.ru

Фролов Игорь Александрович

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия
Аспирант
E-mail: gorgezz@mail.ru

Динамика виброуплотнения арболитовых изделий

Аннотация. В современных условиях энергетической недостаточности существует проблема сбережения тепловой энергии в зданиях и сооружениях. В строительстве энергосберегающим материалам является арболит. Так как арболитовая смесь густая и содержит воздушные «пузыри» в готовом продукте образуются поры. Это отрицательно влияющие на прочность конструкционных изделий. Для устранения образования пор требуется интенсивное вибрирование вибровозбудителем. Вибрирование характеризуется динамическими характеристиками (ускорением и амплитудой колебания). Поэтому для получения требуемой плотности арболита необходимо обеспечить сочетание динамических параметров вибрационной системы и характеристик арболитовой смеси.

Авторами статьи рассмотрена динамика виброформования арболитовых изделий, когда рабочая кассета движется в вертикальной плоскости и заполняется шихтой. Обозначены причины расслоения бетонной смеси под воздействием вибрационной среды, создаваемой вибровозбудителем, что ведет к получению бракованных изделий. В статье приведены

максимально допустимые значения фактической средней плотности арболита в высушенном до постоянной массы состоянии в зависимости от вида заполнителя, блочная модель системы виброформовая в среде Mathlab*Simulink и выполнено математическое моделирование. Авторами получены графики ускорений колебаний вибровозбудителя и системы в зависимости от жесткости бункера и вязкости арболитовой смеси. Определены параметры колебательной системы, влияющие на степень заполнения рабочей кассеты. Выполнена проверка адекватности имитационной модели на конкретном примере. Выявлены параметры, позволяющие вести непрерывный контроль качества в процессе изготовления арболита.

Ключевые слова: метод; параметры; виброформовочная установка; арболитовая смесь; динамическая модель; колебания

Введение

В строительстве широко применяется арболитовая смесь, представляющая собой трехфазную среду и состоящую из твердой (заполнители), жидкой (цементное тесто) и газообразной (пузырьки воздуха) фаз. При заполнении кассеты арболитовой смесью посредством вибрации система приводится в гармонические колебания и последние передадутся частицам смеси, соприкасающимся с излучающей поверхностью. Более удаленные частицы вовлекаются силами сухого трения и вязкими сопротивлениями в колебательный процесс, при этом более массивные частицы будут иметь меньший размах колебаний и, таким образом, между частицами смеси возникнут относительные проскальзывания, скорость которых уменьшается по мере удаления от излучающей поверхности и на некотором расстоянии от последней она становится равной нулю. Эффективность виброформования изделий зависит от интенсивности и продолжительности воздействия рабочего органа машины на уплотняемую смесь. Интенсивность вибрационного воздействия оценивается максимальным ускорением колебаний рабочего органа формовочной машины (интенсивность по ускорению и величиной пропорциональной мощности колебаний рабочего органа формовочной машины (интенсивность по мощности). Рекомендуется пользоваться интенсивностью по ускорению при оценке работы действующих формовочных установок, проверке их в процессе изготовления изделий и отработке режимов формования [1–2]. Интенсивностью по мощности как правило пользуются при проектировании новых формовочных машин и отработке технологии массового производства изделий из жестких бетонных смесей.

Для эффективного уплотнения бетонной смеси, характеризующейся определенными показателями формируемости, необходим соответствующий режим колебаний (интенсивность, продолжительность) [3]. Продолжительность формования зависит от конфигурации и размеров изделий, насыщенности арматурой, вида оборудования, интенсивности вибрационного воздействия на смесь и ее удобоукладываемости. Продолжительность вибрирования проверяется опытным формованием, а контроль уплотнения осуществляется по коэффициенту уплотнения. Недостаточная вибрация приводит к недоуплотнению бетонной смеси, избыточная — может вызвать нарушение ее однородности (расслоение). Вследствие тиксотропных (способность разжижаться) свойств смеси в первой стадии вибрирования образуется скелет из заполнителей, где жидкая часть (мелкая фракция) быстро растекается и заполняет объем формируемого изделия. разжиженная бетонная смесь легко поддается уплотнению, которое в пластичных смесях эффективно протекает даже при относительно слабом ненаправленном вибрировании под действием гравитационных сил и, лишь в жестких смесях требует совместного применения интенсивного направленного вибрирования и дополнительного статического или динамического давления. Вибрационное воздействие синусоидальных

колебаний на бетонную смесь характеризуется амплитудой — A и частотой — w , а также их производными параметрами: скоростью ($A\omega$) и ускорением колебаний (w^2), которые в известной степени дают возможность установить необходимый эффект вибрации для перехода бетонной смеси из упруго-вязкого состояния в состояние временной текучести. Однако исследования показывают, что эффект вибрации наиболее полно характеризуется величиной интенсивности колебаний.

При виброформовании арболитовых изделий вертикальным способом осуществляется передвижение арболитовой смеси в направлении движения кассеты виброформовочной установки и происходит заполнение сот кассеты арболитовой смесью. Однако из-за неравномерного вибрирования происходит расслоение бетонной смеси. Для достижения требуемого уплотнения смеси необходимо обеспечить рациональное сочетание параметров вибрационной системы и свойств арболитовой смеси [4]. Применяя виброуплотнение следует наиболее эффективно сочетать параметры частоты, амплитуды, пригрузки и времени вибрирования. Но при выборе частоты и амплитуды также необходимо учитывать ограничительные условия, предусмотренные в промышленных виброплощадках, имеющих частоту 50 Гц и амплитуду 0,35–0,5 мм [5–6]. Для выбора рациональных параметров процесса виброуплотнения применяется моделирование с использованием пакета программ MATLAB*SIMULINK [7–9].

В бетонных работах обычно применяется виброуплотнение массы с визуальным контролем. Контроль плотности арболита выполняется по ГОСТ 27005-2014 «Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности». Выполняется статический контроль радиоизотопным методом. Определяется плотность арболита серии всех образцов в сухом виде [10]. При этом показатель расслаиваемости не должен превышать 10 %. Однако такой метод контроля не способствует равномерному распределению смеси в форме и исключению расслаиваемости а также степени уплотнения. Более прогрессивным является непрерывный контроль в процессе изготовления изделий [11]. Поэтому возникла необходимость разработки метода контроля уплотнения арболитовых изделий в процессе изготовления изделий.

Методы и материалы

Цель — повышение качества арболитовых изделий в процессе виброформования. Объектом исследований выбрана виброформовочная установка, экспериментальный образец которой приведен на рисунке 1.

Работа виброформовочной установки заключается в следующем. Рабочий процесс состоит из:

- вертикального выдвижения штока гидроцилиндра с рабочей кассетой в режиме вибрирования строительной смеси в бункере установки;
- опускания рабочей кассеты с "сотами", заполненными строительной смесью, из бункера вниз.

Кассета с "сотами" устанавливается по направляющим в бункер. Загружается арболитовая смесь и включается вибровозбудитель. Под действием вибрации кассета движется вниз и соты заполняются смесью. При движении через строительную смесь кассета преодолевает сопротивление смеси, которое уменьшается под воздействием вибрационной среды, создаваемой вибратором установки. Под воздействием вибрации изменяется не только видимый, но и действительный коэффициент трения вследствие происходящих физико-механических процессов, например, из-за выделения жидкой фазы на трущихся поверхностях кассеты. С помощью вибрации осуществляется передвижение строительной

смеси в направлении движения кассеты, а также заполнение "сот" кассеты строительной смесью.

Рабочие движения виброустановки и поворот кассеты осуществляются механически с помощью гидроцилиндров. Далее кассета транспортируется к месту затвердевания арболитовых блоков.

Этот способ более эффективен, производителен, позволяет вести контроль плотности материала в процессе выполнения рабочих операций.



1 — бункер; 2 — рама; 3 — откидная стенка; 4 — гидроцилиндр

Рисунок 1. Виброформовочная установка: (разработано Емельянов Р.Т., Фролов И.А.)

Основными критериями при подборе оптимального значения состава арболитовой смеси является плотность и соответствующая ей прочность затвердевшего состава, а также его коэффициент теплопроводности. Максимально допустимые значения фактической средней плотности арболита в высушенном до постоянной массы состоянии в зависимости от вида заполнителя, указанные в рабочих чертежах, не должны превышать значений, приведенных в таблице 1.

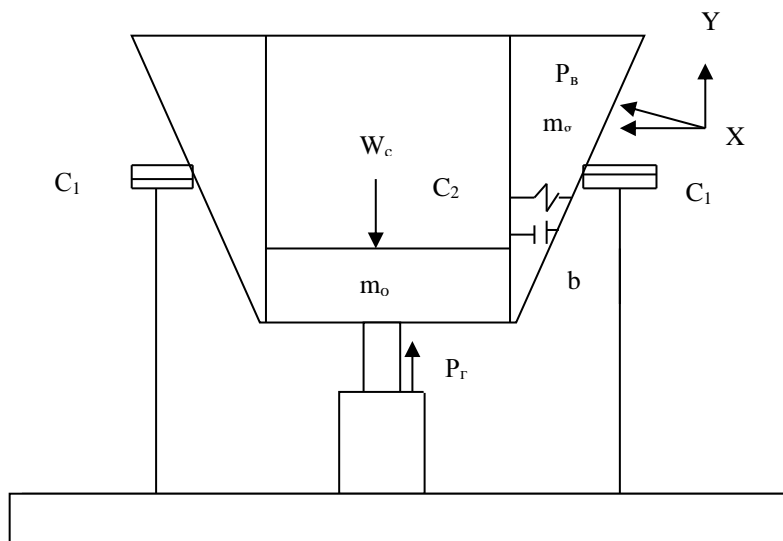
Таблица 1
Максимально допустимые значения фактической средней плотности арболита

Класс арболита по прочности на сжатие	Максимально допустимое значение фактической средней плотности арболита, кг/м ³				
	на измельченной древесине		на костре льна	на костре конопли	на дробленой рисовой соломе
	лесопиления и деревообработки	лесозаготовок			
В 0,35; В 0, 5	400	500	500	500	450
В 0,75	500	500	500	500	500
В 1,5	650	700	650	600	700
В 2,5	750	800	800	-	-
В 3,5	800	900	-	-	-

В качестве заполнителя используются древесные отходы, применяемые как вторичное сырье и подразделяемые на твердые, мягкие и кору. Наибольшее количество твердых и мягких отходов образуется в деревообрабатывающей промышленности. К твердым отходам относятся различного рода куски древесины, получаемые от измельчения горбылей, реек, срезков.

некондиционной древесины и сучьев. Мягкие отходы — опилки и стружки образующиеся при деревообработке древесины на пильных рамах, фуговальных, рейсмусовых и других станках.

Для определения влияния вибрационных характеристик виброоборудования на уплотнение арболитовой смеси разработана расчетная схема процесса, приведенная на рисунке 2.



P_z — усилие гидроцилиндра; W — сопротивление бетонной смеси; P_6 — вынуждающая сила; C_1 — жесткость амортизатора; C_2 — жесткость бункера; b_2 — вязкость арболитовой смеси; m_0 — масса кассеты со смесью

Рисунок 2. Расчетная схема процесса виброформования (разработано: Фролов И.А., Турышева Е.С.)

Математическая модель описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + b \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C \cdot (x_1 - x_2) = F \cdot \sin(\omega t + \alpha) + m_1 \cdot g \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 + b \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C \cdot (x_1 - x_2) = F \cdot \sin(\omega t) + m_2 \cdot g \end{cases}$$

где m_1 — масса вибровозбудителя, кг; m_2 — масса конструкций, кг; x_1 — перемещение, мм; x_2 — перемещение, мм; g — ускорение свободного падения, м/с²; F — сила вибровозбудителя, кН; C — жесткость системы, кН/м.

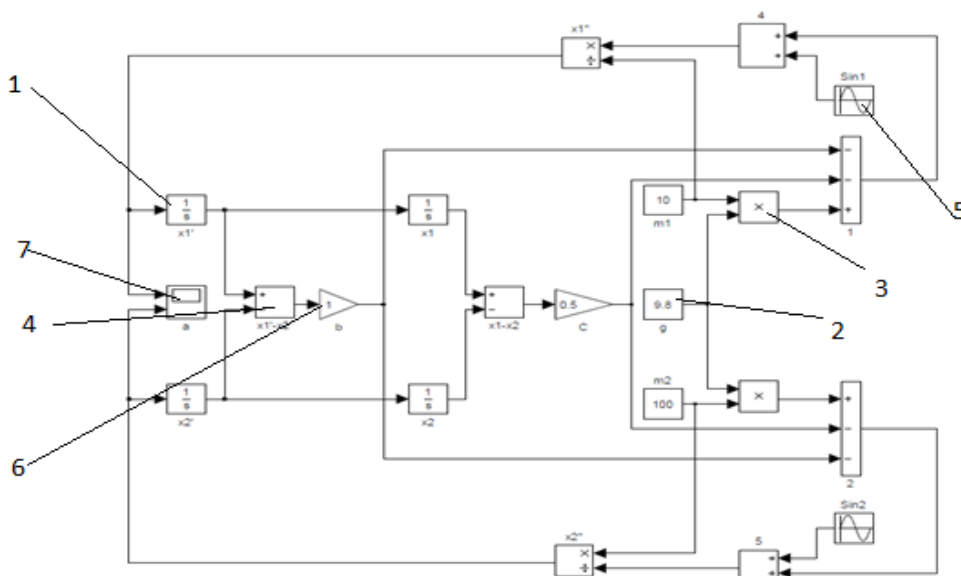
В таблице 2 приведены исходные параметры математической модели.

Таблица 2

Исходные параметры математической модели

Масса колебательной системы	кг	m_0	100,000
Масса дебаланса вибратора	кг	m_g	10,000
Радиус эксцентриситета	м	R	0,008
Частота вращения дебаланса	рад/с	W	300,000
Угол сдвига фаз	рад	U	0,500
Объем бетонной смеси	м ³	V	1,000
Жесткость амортизатора	Н/м	c_1	0,5; 10; 100
Жесткость бункера	Н/м	c_2	0,5; 10; 100
Время работы	с	t	10; 100; 200
Вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	250; 500; 1000

Размещение вибратора на плоскости бункера под углом γ вызывает колебания системы в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Используя полученную систему, составлена блочная модель в среде Mathlab*Simulink (рис. 3).



1 — блок Integrator; 2 — блок Constant; 3 — блок Product; 4 — блок Sumator; 5 — блок Sine Wave; 6 — блок Gain; 7 — блок Scope

Рисунок 3. Блочная модель процесса виброформования в среде Matlab*Simulink (разработано Фролов И.А., Баранова Г.П.)

По результатам математического моделирования процесса с несколькими комбинациями регулируемых параметров были получены графики ускорений колебаний бункера виброформовочной машины, приведенные на рисунке 4.

Главным критерием работоспособности в режиме воздействия на него вибрационных нагрузок является амплитуда колебаний бункера и ее вторая производная "ускорение".

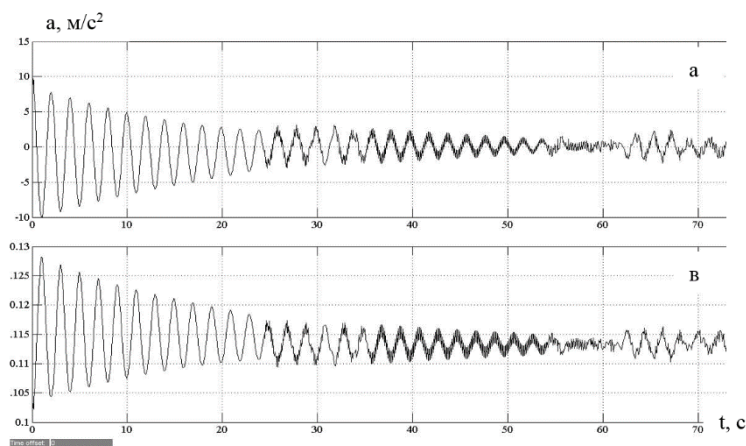


Рисунок 4. Зависимости ускорений бункера виброформовочной машины по времени при $C = 10$ кН/м, $t = 200$ с: а — вибровозбудителя; в — системы (разработано Турышева Е.С., Баранова Г.П.)

Как видно из графиков, колебания происходят в противофазе. При жесткости пружины 0,5 кН/м и 10 кН/м при любом времени вибрирования, а также вибрирования при жесткости пружины равной 100 кН/м в течение 100 и 200 с оказывается недостаточно для достижения состояния, когда колебания вибратора и конструкции не порождали бы дополнительную вибрацию. При жесткости пружины равной 100 кН/м и обработке на протяжении 10 с графики ускорений представлены синусоидами правильной формы. Наиболее приближенными к

необходимым результатам графики процесса при $C = 10$ кН/м и $t = 200$ с. В данном случае затухание колебаний, а значит и достижение необходимого результата, происходит уже примерно на 70 секунде. Данный отсчет примем за время стабилизации $t_{ст}$. После данной отметки значение ускорения не выходит за пределы граничной зоны $[0; 0,2]$ м/с².

Наибольшая амплитуда колебаний стенок бункера возникает при частоте колебаний 40 Гц. Использование вибратора с промышленной частотой 50 Гц позволяет получить амплитуду колебаний стенок бункера до 3,2 мм. С увеличением времени вибрирования с 200 до 300 с амплитуда колебаний снижается на 10 %, ускорения увеличиваются незначительно, не превышая нормативных значений.

При варьировании коэффициентом плотности смеси от 100 до 1000 кг/м³ и при вязкости смеси 200 Па/с результаты математических вычислений показали, что амплитуда колебаний вибросистемы составила от 0,09 до 0,30 мм. Величина амплитуды колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях существенных отличий не имеет. Ускорения элементов системы колеблются от 0,2 до 3,0 м/с². Ускорения, возникающие в вертикальной и горизонтальных плоскостях, существенных отличий не имеют. Ускорения, возникающие в вертикальной плоскости, превышают ускорения по горизонтальной плоскости. Их значения по плоскостям распределились следующим образом:

- ускорения в вертикальной плоскости изменялись от 0,7 до 3,0 м/с²;
- ускорения в горизонтальной плоскости — от 0,2 до 0,9 м/с².

При этом с увеличением плотности смеси от 100 до 800 кг/м³ амплитуда колебаний и ускорение элементов системы уменьшается. При вязкости смеси 200 изменение значений амплитуды колебаний и ускорений бункера имеет незначительные величины.

Выводы и заключение

Авторами определено, что вибрирование системы улучшает уплотнение за счет нарушения равновесия арболитовой смеси вследствие стекания цементного теста на дно формы, всплывания древесных частиц, разрыхления уплотненной массы и увеличения воздухоотделения. На первой стадии вибрирования, когда в смеси еще остаются незаполненные полости и цементное тесто не представляет единого слоя жидкости, уплотнение верхнего слоя смеси недостаточно, так как уплотнение идет под действием лишь собственного веса древесных частиц. Уплотнение средних и нижних слоев обеспечивается также за счет пригружения самой смеси. Поэтому требуется более мощное вибрационное воздействие на смесь в том числе и для преодоления значительных сил внутреннего трения арболитовой смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов, Р.Т. Исследование процесса вибрационного формования в технологиях инженерного обустройства автомобильных дорог / А.П. Прокопьев, Е.С. Турышева, Постоев П.А. Строительные и дорожные машины. — 2010. — № 10. — С. 44–48.
2. Турышева Е.С., Моделирование динамики бетоноукладчика малых форм / Емельянов Р.Т., Баранова Г.П., Турышева Е.С., Османов Э.И., Горских Е.С., Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 7(106). С. 774–779.
3. Prokopiev, A.P The analytical solution and the dynamic characteristics of the system model velocity control vibrating roller. Prokopiev A.P., Ivanchura V.I., Emelianov R.T. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2014. Т. 7. № 4. С. 480–488.
4. Perkins I., Skitmore M. Three-dimensional printing in the construction industry: A review. International Journal of Construction Management. 2015. Т. 15. No. 1. Pp. 1–9.
5. Tay Y.W. et al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing. Materials Science Forum. — 2016. — Т. 861. Pp. 177–181.
6. Barabanshchikov Yu.G., Arkharova A.A., Ternovskiy M.V. Beton s ponizhennoy usadkoy i polzuchestyu. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. No. 7(22). Pp. 152–165. (rus).
7. Kreiger M.A., MacAllister B.A., Wilhoit J.M., Case M.P. The current state of 3D printing for use in construction. The Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure. Ames. Iowa. 2015. Pp. 149–158.
8. Bos F. et al. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. Virtual and Physical Prototyping. 2016. Т. 11. No. 3. Pp. 209–225.
9. Pistro J., Villwock S., Völkel W., Kopf F. and Adam D. 2016 Continuous Compaction Control (CCC) with Oscillating Rollers Procedia Engineering 143 514–521. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.065.
10. Hu W., Shu X., Huang B. and Woods M. 2017 Field investigation of intelligent compaction for hot mix asphalt resurfacing Frontiers of Structural and Civil Engineering 11(1) 47–55. DOI: 10.1007/s11709-016-0362-x.
11. Barman M., Nazari M., Imran S.A., Commuri S., Zaman M., Beainy F. and Singh D. 2016 Quality Control of Subgrade Soil Using Intelligent Compaction Innovative Infrastructure Solutions 1(1) 23. DOI: 10.1007/s41062-016-0020-0.

Emelyanov Rurik Timofeevich

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: ert-44@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5453-4882>

Baranova Galina Pavlovna

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: putinap@mail.ru

Turysheva Evgeniya Sergeevna

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: E.Turysheva@mail.ru

Frolov Igor Alexandrovich

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: gorgezz@mail.ru

Dynamics of vibration compaction of wood concrete products

Abstract. Housing construction made of arbolite material is widely used in areas with low ambient temperatures. In modern conditions of energy insufficiency, there is a problem of saving thermal energy. Arbolite has such an advantage due to its low thermal conductivity. In Russia, there are large volumes of sawmill waste, which are the filler of arbolite. The use of sawmill waste in construction contributes to the improvement of the environmental situation. In addition, the accumulation of significant logging waste leads to the need for burning and contributes to the occurrence of fires. Everything requires further improvement of resource-saving technologies in construction.

The authors of the article present an analysis of the processes of vibro-forming of arbolite products when the working cassette moves in a vertical plane and is filled with a charge. The reasons for the stratification of the concrete mixture under the influence of a vibrating medium created by a vibration exciter are indicated, which leads to the production of defective products. The article presents the maximum permissible values of the actual average density of arbolite in a state dried to a constant mass, depending on the type of filler. The block model of the vibroform system is in the Mathlab*Simulink environment and mathematical modeling is performed. The authors obtained graphs of accelerations of vibrations of the vibration exciter and the system depending on the rigidity of the hopper and the viscosity of the arbolite mixture. The parameters of the oscillatory system affecting the degree of filling of the working cassette are determined. The adequacy of the simulation model was checked on a specific example. The parameters that allow continuous quality control in the process of making arbolite are revealed.

Keywords: method; parameters; vibration forming plant; arbolite mixture; dynamic model; vibrations