

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

### Строительные отходы как дисперсная система

УДК 504.054

Клименко М.Ю.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: klimdaver@bk.ru

Статья получена: 12.07.2018. Рассмотрена: 15.07.2018. Одобрена: 23.07.2018. Опубликована онлайн: 26.09.2018. ©РИОР

**Аннотация.** Автором статьи исследованы и классифицированы параметры свойств строительных отходов, их энергетические параметры и устойчивость в системе восстановления технического состояния зданий за счет применения основных положений теории устойчивости дисперсных систем. Сформированы основные параметры, определяющие свойства дисперсной среды и дисперсной фазы, выделяющие такие группы, как геометрические, физико-механические, химические, гидрофизические, теплофизические, оптические, аэродинамические для строительных отходов и объемно-планировочные, конструктивные, технического состояния, климатические для системы восстановления технического состояния здания. Устойчивость строительных отходов рассматривается как результирующий критерий, характеризующий их поведение в окружающей среде и позволяющий управлять ими с целью уменьшения их устойчивости и, в конечном счете, обеспечения экологической безопасности объектов строительства.

**Ключевые слова:** строительные отходы, свойства строительных отходов, энергетические параметры строительных отходов, устойчивость

строительных отходов, разрушение строительных отходов как дисперсной системы.

Увеличение техногенной нагрузки на окружающую среду негативно воздействует на безопасную область жизнедеятельности человека. Существенные масштабы образования и накопления строительных отходов ставят перед обществом актуальные проблемы уменьшения их поступления в окружающую среду за счет вторичного использования [1–8].

В период с 2010 по 2014 г. в Российской Федерации образовалось 74,1 млн т строительных отходов, из которых всего 48,3 млн т подверглось переработке и обезвреживанию [9]. При этом наблюдается негативная динамика образования аварийного жилого фонда, нуждающегося в капитальном ремонте (реконструкции). В 1990 г. площадь такого жилья составляла 3,3 млн м<sup>2</sup>, а на период 2015 г. эта цифра выросла до 19,62 млн м<sup>2</sup> [10].

Анализируя проектно-сметную документацию, можно сделать вывод о том, что понятие использования строительных отходов чаще всего включает в себя алгоритм способа их удале-

#### CONSTRUCTION WASTE AS A DISPERSE SYSTEM

M.Yu. Klimenko

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Department of Industrial, Civil Engineering, Geotechnical Engineering and Foundation Engineering Novocherkassk; e-mail: klimdaver@bk.ru

**Manuscript received:** 12.07.2018. **Revised:** 15.07.2018. **Accepted:** 23.07.2018. **Published online:** 26.09.2018. ©RIOR

**Abstract.** The authors studied and classified some parameters of construction waste properties, construction waste energy parameters and their stability in the building technical state recovery system by means of the application of basic tenets of the theory of disperse systems. Key parameters determining the properties of a dispersion medium and dispersed phase were formed; such

groups as geometric, physical and mechanical, chemical, hydrophysical, thermophysical, optical, aerodynamic (for construction waste) and space-planning, structural, technical state, climate (for the building technical state recovery system) were distinguished. Construction waste stability is considered as a resulting criterion, characterizing its behavior in the environment and making it possible to manage waste in order to decrease their stability and, eventually, providing ecological safety of construction projects.

**Keywords:** construction waste, construction waste properties, energy parameters of construction waste, construction waste stability, destruction of construction waste as a disperse system.

ния (складирования) с целью их дальнейшей перевозки на полигоны ТБО и утилизации, что отражено в табл. 1.

Большинство исследований сегодня предлагают рассматривать любое загрязняющее вещество как дисперсную систему. Такой подход реализует теорию дисперсных систем, базирующуюся на классических положениях коллоидной и физической химии. Основные классификационные признаки дисперсных систем для строительных отходов представлены в табл. 2.

Опираясь на данные предыдущих исследований, в соответствии с теорией дисперсных систем строительные отходы представляют собой полидисперсную систему, состоящую из нескольких твердых дисперсных фаз (отдельные

фракции строительных отходов) и газообразной дисперсионной среды (воздушные прослойки между фракциями строительных отходов) [11; 12].

Процессы, определяющие свойства и состояние строительных отходов, не могут рассматриваться обособленно друг от друга. Общность природы этих процессов подчеркивает тесную взаимосвязь между ними. Это влияние зависит от ряда факторов: свойств дисперсной фазы (д. ф.) и дисперсионной среды (д. с.) строительных отходов, характеристик окружающей среды. Произведя анализ процессов, происходящих в дисперсной системе, строительные отходы сгруппированы в параметры, представленные в табл. 3.

Таблица 1

### Способы снижения негативного воздействия от строительных отходов

<i>Наименование строительных отходов</i>	<i>Место образования отходов</i>	<i>Способ использования строительных отходов</i>	<i>Способ удаления строительных отходов</i>
Лом бетона	Кладка стен и перегородок	Складируется на площадке с твердым покрытием	–
Бой строительного кирпича	Раствор цементный кладочный, ц/п стяжка	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Древесные отходы	Отделочные работы	–	Полигон ТБО, топливный ресурс
Лом штукатурки	Фундаментные блоки, перегородки из пенобетонных блоков	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Отходы кварцевого песка	Подготовка траншей под фундамент для дорожных покрытий и площадок	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Отходы цементного раствора, цемента	Демонтажные работы	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Мусор от бытовых помещений	Изготовление конструкций	–	Полигон ТБО
Щебень строительный, лом и крошка камня	Отходы трубопроводов	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Отходы керамических изделий	Строительные работы	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Отходы асфальтобетон	Строительные работы	Складируется на площадке с твердым покрытием	Полигон ТБО
Отходы битума	Устройство покрытия отмосток	–	Полигон ТБО
Отходы труб из полимерных материалов	Сварочные работы	–	Полигон ТБО
Лом черных металлов	Монтаж систем водопровода и канализации	Складируется на площадке с твердым покрытием	На лицензированное предприятие по переработке черных металлов
Отходы электродов сварочных	Жизнедеятельность	–	На лицензированное предприятие по переработке черных металлов

Таблица 2

**Строительные отходы согласно классификационным признакам дисперсных систем**

Классификационный признак дисперсной системы	Характеристика строительных отходов согласно признаку
Фракция, мм	0,016–1000
Степень дисперсности	Грубодисперсные, полидисперсные
Характер взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды	Лиофобное
Характер взаимодействия частиц дисперсной фазы	Свободнодисперсное
Характер взаимодействия частиц дисперсионной среды	Свободнодисперсное
Агрегатное состояние дисперсной фазы и дисперсионной среды	Твердое / газообразное

В результате рассмотрения параметров, определяющих свойства дисперсной фазы и дисперсионной среды, совокупность параметров, определяющих свойства строительных отходов, в общем виде можно представить как функциональную зависимость между группами параметров фазовых составляющих строительных отходов:

$$PP_{cw} = f_1((PP_{df.}), (PP_{ds.})) = f_1(f_{1-1}(G_{df.}, FM_{df.}, Ch_{df.}, Hy_{df.}, Th_{df.}, O_{df.}, Ae_{df.}), f_{1-2}(G_{ds.}, FM_{ds.}, Ch_{ds.}, Hy_{ds.}, Th_{ds.}, O_{ds.}, Ae_{ds.})), \quad (1)$$

где  $PP_{cw}$ ,  $PP_{df.}$ ,  $PP_{ds.}$  — совокупность параметров, определяющих свойства строительных отходов, их дисперсных фаз и дисперсных сред в системе восстановления технического состояния здания.

Анализируя процессы, происходящие в строительных конструкциях зданий при восстановительных работах, можно выделить следующие параметры дисперсной фазы и дисперсионной среды, представленные в табл. 4.

Таблица 3

**Основные параметры, определяющие свойства дисперсной фазы и дисперсионной среды строительных отходов**

Группа параметров	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсной фазы	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсионной среды
Геометрические ( $G_{df.}$ , $G_{ds.}$ )	Толщина, высота, ширина, длина и площадь обломка строительного отхода; размер фракции, площадь поперечного сечения, объем д. ф. и др.	Объем д. с.

Окончание табл. 3

Группа параметров	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсной фазы	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсионной среды
Физико-механические ( $FM_{df.}$ , $FM_{ds.}$ )	Масса, плотность, прочность, твердость, упругость, пластичность, масса д. ф. и др.	Плотность д. с., масса молекул д. с. (газа) и др.
Химические ( $Ch_{df.}$ , $Ch_{ds.}$ )	Химическая и коррозионная стойкость, растворимость д. ф., адгезия, кристаллизация и т.д.	Агрессивность д. с., химический состав д. с. и др.
Гидрофизические ( $Hy_{df.}$ , $Hy_{ds.}$ )	Влажность д. ф., гигроскопичность, капиллярное высасывание, водопоглощение д. ф. и пр.	Влажность д. с.
Теплофизические ( $Th_{df.}$ , $Th_{ds.}$ )	Теплопроводность, удельная теплоемкость, огнеустойчивость, огнеупорность, тепловое расширение, аккумулярование тепла, температура частиц д. ф. и др.	Температура частиц д. с., теплопроводность д. с. и др.
Оптические ( $O_{df.}$ , $O_{ds.}$ )	Светопропускание д. ф., прозрачность, коэффициент поглощения и др.	Светопропускание д. с.
Аэродинамическими ( $Ae_{df.}$ , $Ae_{ds.}$ )	Плотность, инертность и вязкость воздуха; шероховатость материала, скорость седиментации дисперсной фазы и пр.	Динамическая (кинематическая) вязкость д. с. и др.

Таблица 4

**Основные параметры среды строительных отходов, определяющие свойства д. ф. и д. с.**

Группа параметров	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсной фазы	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсионной среды
Геометрические ( $GS_{df.}$ , $GS_{ds.}$ )	Толщина, высота, ширина, длина и площадь элемента; площадь поперечного сечения, объем д. ф. и др.	Объем д. с.
Объемно-планировочные ( $VP_{df.}$ , $VP_{ds.}$ )	Форма в плане, длина, ширина и высота здания, расстояние между отдельными объемами д. ф. и др.	
Конструктивные ( $K_{df.}$ , $K_{ds.}$ )	Схема и элементы остова здания; ограждающие конструкции; тип перегородок, покрытия и перекрытия; заполнения проемов (оконных и дверных); кровля; тип дисперсной фазы и др.	

Окончание табл. 4

Группа параметров	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсной фазы	Наименование параметра, определяющего свойства дисперсной среды
Техническое состояние ( $TS_{df}, TS_{ds}$ )	Поврежденность дисперсной фазы, надежность, долговечность (время проведения капитального ремонта, время наступления аварийного состояния) и пр.	Объем д. с.
Климатические ( $KP_{df}, KP_{ds}$ )	Средняя температура воздуха, ветровой и снеговой район, нормативная глубина промерзания и пр.	Средняя температура частиц д. с.

Таким образом, при определении основных свойств дисперсной среды и дисперсной фазы установлены параметры фазовых элементов, которые раскрывают характеристики системы восстановления технического состояния здания (СВТСЗ) с точки зрения теории дисперсных систем и выражаются в формуле:

$$PP_{brs} = f_1((PPP_{df}), (PPP_{ds})) = f_1(f_{1-1}(GS_{df}, VP_{df}, K_{df}, TS_{df}, KP_{df}), f_{1-2}(GS_{ds}, VP_{ds}, K_{ds}, TS_{ds}, KP_{ds})), \quad (2)$$

где  $PP_{brs}$ ,  $PPP_{df}$ ,  $PPP_{ds}$  — совокупность параметров, определяющих параметры среды, ее дисперсных фаз и дисперсных сред в системе восстановления технического состояния здания.

Такое обобщение параметров позволяет в процессе развития теоретических основ экологической безопасности строительства дополнять каждую группу параметров д. ф. и д. с. новыми характеристиками и производить целенаправленную, последовательную оценку всех сторон динамики образования, накопления, распространения и разрушения строительных отходов [8; 9].

Согласно работам ряда исследователей, устойчивость является результирующей характеристикой, определяющей поведение и существование загрязняющего вещества (строительных отходов) как дисперсной системы, т.е. параметром его «жизнеспособности» [11; 12]. Чем более устойчива система, тем медленнее изменяются ее параметры и наоборот.

Приобретение, распределение и расход энергии строительных отходов количественно характеризуются энергетическими параметрами ( $W_{cw}$ ) дисперсной фазы ( $W_{df}$ ) и дисперсной

среды ( $W_{ds}$ ) строительных отходов, что предполагает возможность перераспределения отдельных ее видов, отражающих особенности существования строительных отходов. Обладая определенным запасом суммарной свободной энергии (энергии активации), строительные отходы проявляют в окружающей среде особенности своего поведения, что в конечном счете сказывается на их устойчивости:  $W_{cw} \sim U_{cw}$ . Отсюда следует, что устойчивость строительных отходов ( $U_{cw}$ ) является результирующей характеристикой, определяющей способность строительных отходов сопротивляться внешним воздействиям, что происходит при изменении энергии строительных отходов ( $W_{cw}$ ), которая, в свою очередь, зависит от параметров свойств строительных отходов ( $PP_{cw}$ ), образующихся в среде, образованной системой восстановления технического состояния здания ( $PP_{brs}$ ).

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Определены основные виды строительных отходов, образующихся при восстановлении зданий и сооружений.
2. Установлены классификационные признаки и соответствующие характеристики строительных отходов с точки зрения их повторного использования.
3. По результатам анализа процессов, протекающих в строительных отходах, нами предложены группы параметров их свойств (формулы 1, 2).
4. Описаны параметры, определяющие состояние строительных отходов в качестве дисперсной фазы и дисперсной среды.
5. Установлены факторы, определяющие устойчивость строительных отходов и системы восстановления технического состояния здания как дисперсных сред.

Таким образом, рассматривая строительные отходы с позиции теории устойчивости дисперсных систем, можно выявить, что основные пути решения проблемы уменьшения их поступления в окружающую среду заключаются в разрушении их как дисперсной системы за счет полной потери устойчивости. На основании проведенных исследований установлены параметры свойств строительных отходов, что позволяет управлять их поведением и в конечном счете снизить загрязнение окружающей среды.

## Литература

1. *Geoffrey Hamer*. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety // *Biotechnology Advances*, Volume 22, Issues 1. December 2003, Pages 71–79.
2. *Rajeev Pratap Singh, Pooja Singh, Ademir S.F. Araujo, M. Hakimi Ibrahim, Othman Sulaiman*. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option [article]// *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 55, Issue 7, May 2011, Pages 719–729.
3. *Forbes R. McDougall, Peter R. White, Marina Franke, Peter Hindle*. *Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory*, 2008.
4. *Alexis M. Troschinetz, James R. Mihelcic*. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries // *Waste Management*, Volume 29, Issue 2, February 2009, Pages 915–923.
5. *Адамян Р.Г.* Анализ экологических особенностей технологии захоронения твердых отходов потребления в условиях Армении [Текст] / Р.Г. Адамян // III Международная научно-практическая конференция «Современная школа России: вопросы модернизации» 1–4 марта 2013 г. — М., 2013. — С. 10–14.
6. *Беспалов В.И.* Классификационно-методические основы борьбы с загрязнением окружающей среды твердыми отходами потребления [Текст] / В.И. Беспалов, О.Н. Парамонова // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012». — Вып. 3. — Т. 9. — Одесса: Куприенко, 2012. — 89 с.
7. *Бакаева Н.В.* К постановке задачи управления системами жизнеобеспечения города на основе концепции биосферной совместимости [Текст] / Н.В. Бакаева // Сб. мат. VII Крымской Международной научно-практической конференции «Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн» (г. Симферополь, Национальная академия природоохранного и курортного строительства, 27 сентября — 01 октября 2010 года). — 2010. — С. 423–427.
8. *Клименко М.Ю.* Загрязнение территорий городской застройки валовыми выбросами в атмосферу и отходами при строительстве [Текст] / М.Ю. Клименко, Т.П. Кашарина // *Экология урбанизированных территорий*. — 2014. — № 4. — С. 68–70.
9. *Российский статистический ежегодник. 2015* [Текст]: Стат.сб. / Росстат.: М.: Росстат, 2015. — С. 727.
10. *Жилищное хозяйство в России. 2016* [Текст]: Стат. сб./ Росстат. — Ж72. М., 2016. — 63 с.
11. *Беспалов В.И.* Физическая модель процесса загрязнения окружающей среды твердыми отходами потребления [Текст] / В.И. Беспалов, О.Н. Парамонова // *Инженерный вестник Дона*. — 2012. — № 4 (часть 1). — URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/11/
12. *Парамонова О.Н.* Рассмотрение твердых отходов потребления как дисперсной системы [Текст] / О.Н. Парамонова // *Инженерный вестник Дона*. — 2013. — № 3. — URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1933/

## References

1. *Geoffrey Hamer*. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety // *Biotechnology Advances*, Volume 22, Issues 1– December 2003, Pages 71–79.
2. *Rajeev Pratap Singh, Pooja Singh, Ademir S.F. Araujo, M. Hakimi Ibrahim, Othman Sulaiman*. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option // *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 55, Issue 7, May 2011, Pages 719–729.
3. *Forbes R. McDougall, Peter R. White, Marina Franke, Peter Hindle*. *Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory*, 2008.
4. *Alexis M. Troschinetz, James R. Mihelcic*. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries // *Waste Management*, Volume 29, Issue 2, February 2009, Pages 915–923.
5. *Adamyany R.G.* Analiz ekologicheskikh osobennostey tekhnologii zakhoroneniya tverdykh otkhodov potrebleniya v usloviyakh Armenii [Analysis of the environmental features of the technology of disposal of solid waste products in Armenia]. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennaya shkola Rossii: voprosy modernizatsii» 1–4 marta 2013 g.* [III International Scientific and Practical Conference “Modern School of Russia: Modernization Issues” March 1–4, 2013]. Moscow, pp. 10–14.
6. *Bespalov V.I., Paramonova O.N.* *Klassifikatsionno-metodicheskie osnovy bor'by s zagryazneniem okruzhayushchey sredy tverdymi otkhodami potrebleniya. Sbornik nauchnykh trudov SWorld. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnye issledovaniya i ikh prakticheskoe primeneniye. Sovremennoe sostoyaniye i puti razvitiya 2012»* [Classification and methodological foundations of pollution control with solid waste consumption. Collection of scientific papers SWorld. Proceedings of the international scientific-practical conference “Scientific research and their practical application. Current state and development paths of 2012”]. Odessa: Kuprienko Publ., 2012, I. 3, V. 9, 89 p.
7. *Bakaeva N.V.* K postanovke zadachi upravleniya sistemami zhizneobespecheniya goroda na osnove kontseptsii biosfernoy sovmestimosti [On the formulation of the task of managing the life support systems of a city based on the concept of biospheric compatibility]. *VII Krymskoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geometricheskoe i komp'yuternoe modelirovaniye: energosberezheniye, ekologiya, dizayn» (g. Simferopol', Natsional'naya akademiya prirodookhrannogo i kurortnogo stroitel'stva, 27 sentyabrya — 01 oktyabrya 2010 goda)* [VII Crimean International Scientific and Practical Conference “Geometric and computer modeling: energy saving, ecology, design” (Simferopol, National Academy of Environmental Protection and Resort Construction, September 27 — October 1, 2010)]. 2010, pp. 423–427.
8. *Klimenko M.Yu., Kasharina T.P.* Zagryazneniye territoriy gorodskoy zastroyki valovymi vybrosami v atmosferu i otkhodami pri stroitel'stve [Pollution of urban areas by gross emissions into the atmosphere and waste during construction]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories]. 2014, I. 4, pp. 68–70.
9. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian statistical yearbook.]. Moscow, Rosstat Publ., 2015, p. 727.
10. *Zhilishchnoe khozyaystvo v Rossii* [Housing in Russia]. Moscow, 2016. 63 p.
11. *Bespalov V.I., Paramonova O.N.* Fizicheskaya model' protsesa zagryazneniya okruzhayushchey sredy tverdymi otkhodami potrebleniya [Physical model of the process of environmental pollution by solid waste consumption]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Donor's Engineering Bulletin]. 2012, I. 4. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/11/
12. *Paramonova O.N.* Rassmotreniye tverdykh otkhodov potrebleniya kak dispersnoy sistemy [Consideration of solid wastes of consumption as a disperse system]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2013, I. 3. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1933/