**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 3, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.10

УДК 624.139

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ УНОСА В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

А.В. Машченко, А.Б. Пономарев, Т.А. Спинова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 07 июня 2017

Принята: 25 июля 2017

Опубликована: 29 сентября 2017

Ключевые слова:

зола уноса, базальтовое волокно, мягкопластичная глина, пучинистые свойства, механические характеристики

АННОТАЦИЯ

Вопросы охраны окружающей среды требуют достаточно много внимания со стороны общественности и экологических организаций. На сегодняшний день ведутся многочисленные дискуссии по формированию новых форм и способов добычи энергии в будущем. На данный момент в России существует огромное количество промышленных отходов, которые способствуют загрязнению окружающей среды, а также занимают достаточно большие площади. Можно выделить определенную группу отходов производства, которая создает типовые экологические проблемы в каждом регионе России.

Переработка крупномасштабных отходов требует наличия развитой сети предприятий, которые будут реализовывать современные технологии и производить из отходов востребованную продукцию. Такой перспективной отраслью, где востребованы крупномасштабные отходы, является промышленность строительных материалов. Научно-техническое совершенствование в сфере строительства зданий и сооружений не может обойтись без использования в конструкциях новейших материалов, которые соответствуют таким параметрам, как легкость, технологичность, низкая теплопроводность, высокая химическая стойкость.

В статье представлены лабораторные испытания золы уноса. Были определены ее прочностные, деформационные и пучинистые свойства. Результаты сравнивались с ранее полученными данными лабораторных исследований мягкопластичных глинистых грунтов. Была совершена попытка улучшить механические характеристики золы уноса с помощью армирования геосинтетическими материалами. В качестве армирования было выбрано базальтовое рубленое волокно. Представлены методики испытаний, результаты исследований приведены в табличном виде, сделаны выводы.

© ПНИПУ

© **Машченко Александра Витальевна** – старший преподаватель, e-mail: Lybra013@yandex.ru.

Пономарев Андрей Будимирович – доктор технических наук, профессор, e-mail: spstf@pstu.ru.

Спинова Тамара Аркадьевна – старший преподаватель, e-mail: spstf@pstu.ru.

Aleksandra V. Mashchenko – Senior Lecturer, e-mail: Lybra013@yandex.ru.

Andrei B. Ponomarev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: spstf@pstu.ru.

Tamara A. Spirova – Senior Lecturer, e-mail: spstf@pstu.ru.

THE USE OF FLY ASH AS FOUNDATION BASES

A.V. Mashchenko, A.B. Ponomarev, T.A. Spirova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 07 June 2017

Accepted: 25 July 2017

Published: 29 September 2017

Keywords:

fly ash, basalt fiber, soft clay, heaving properties, mechanical characteristics

ABSTRACT

Environmental issues are gaining more and more attention from public and environmental organizations. Nowadays there has been a great discussion in finding the forms and methods of energy production for the future. At the moment there is a huge amount of industrial waste in Russia which contributes to environmental pollution and occupies large areas. It is possible to single out a certain group of production wastes which create typical environmental problems in each region of Russia.

Recycling of large-scale waste requires a developed network of enterprises that will implement modern technologies and produce necessary products from wastes. The building materials industry is such a promising industry where large-scale waste is used. Scientific and technological progresses in the building production are not possible without the use of new materials in structures that comply with such parameters as lightweight, technological effectiveness, low thermal conductivity and high chemical resistance.

The article presents the laboratory tests of fly ash. The strength, deformation and heaving properties of ash are determined. The results are compared with the previously obtained results of laboratory investigations of soft plastic clay soils. There is also an attempt to improve the mechanical characteristics of fly ash by reinforcement with geosynthetic materials. Basalt chopped fiber was chosen as a reinforcement. The article presents the test methods, results and analysis of studies. The test results are given in tables and the conclusions are given too.

© PNRPU

При производстве материалов, обладающих энергосберегательными функциями, в качестве наполнителя могут применяться различные виды минерального сырья [1]. Использование таких минеральных отходов способствует решению задач, поставленных в приоритетном направлении науки, технологии и техники в России [1]. Конструирование на основе минерального сырья теплоизоляционного материала может способствовать достижению двух целей – природоохранной, суть которой заключается в переработке крупномасштабных отходов промышленности и теплоэнергетики, и научно-технической, которая заключается в воплощении высоких технологий, а именно в производстве новых материалов для строительной индустрии, характеризующихся различными исключительными свойствами [2]. Одним из ярких примеров минеральных отходов является зола уноса (рис. 1).

Рис. 1. Зола уноса

Fig. 1. The fly ash

Зола уноса – это тонкодисперсный материал, который состоит из частиц размером до 0,14 мм, образуется в результате сжигания твердого топлива, после чего улавливается электрофильтрами и в сухом состоянии при помощи пневмотранспорта поступает в силосы-накопители [3].

На сегодняшний день известно широкое применение золы уноса для приготовления строительных материалов [4]:

- легких бетонов, используемых при подготовке оснований автодорог [5];

- шлакосиликатных бетонов, которые применяют для ремонта дорог, аэродромов, мостов, а также при ус-

тройстве полов, стойких к кислоте, в химических цехах, животноводческих комплексах, металлургических производствах [6];

– пенобетона, повышающего агрегативную устойчивость смеси в период между началом и окончанием схватывания цементного теста [7];

– замещает цемент в производстве строительных растворов, товарных бетонов, готовых изделий, используется в качестве добавки к цементу, при этом, не снижая его активность, применяется в подготовке бетонов для строительства дорог, а также в качестве примеси к глине в процессе изготовления черепицы и кирпича [8].

В зарубежной практике используют золу уноса как альтернативу обратной засыпки [9]. Известно также, что ее применяют на территории нашей страны при строительстве дорог, так как она увеличивает прочность, водостойкость и морозостойкость, водоотталкивающие и теплоизоляционные свойства. При этом зола уноса используется в основном с песком при соотношении 30 % золы уноса и 70 % песка, что повышает прочностные характеристики песка, в частности удельное сцепление [10].

Однако применение золы в качестве самостоятельного основания под фундаменты зданий, особенно взамен слабых глинистых грунтов, изучено недостаточно. Территория Пермского края, как и многие территории РФ, подвержена сезонному промерзанию грунтов [11]. Глинистые грунты при промерзании подвергаются морозному пучению, что приводит к неравномерным деформациям фундаментов зданий и сооружений [12]. Как поведет себя зола уноса в основании фундамента в условиях морозного пучения, также изучено недостаточно.

Для установления возможности применения золы уноса в качестве основания под фундаменты были проведены лабораторные испытания с золой уноса в чистом виде, а также с внедрением базальтовых волокон.

Базальтовое волокно – это современный фрикционный и теплоизолирующий минеральный материал-изолятор, получаемый обработкой базальта на специальных расплавных печах [13].

Значения характеристик золы уноса сравнивались с характеристиками глинистых мягкопластичных грунтов, результаты лабораторных испытаний которых представлены в статьях [12, 14–16].

Испытания на прочностные характеристики проводились на базе Чешского университета на одноплоскостном приборе прямого среза (рис. 2). Физические характеристики золы уноса представлены в табл. 1.

Рис. 2. Одноплоскостной прибор прямого среза
Fig. 2. Single-plane direct-cutting device

Таблица 1

Физические характеристики золы уноса

Table 1

Physical characteristics of fly ash

Характеристики	Обозначения	Значения
Влажность ω	д. ед.	0,22
Плотность ρ	г/см ³	1,52
Плотность скелета ρ_d	г/см ³	1,25

Испытания проводились согласно ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Испытания на срез проводились при непрерывно возрастающей горизонтальной нагрузке с постоянной скоростью деформации образца.

По результатам исследований были рассчитаны удельное сцепление c и угол внутреннего трения ϕ . Значения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Прочностные характеристики неармированной
и армированной золы уноса и мягкопластичной глины

Table 2

Strength characteristics of unreinforced and reinforced fly ash and smooth clay

Характеристики	Зола уноса без армирования	Зола уноса, армированная фиброволокном	Мягкопластичная глина
Удельное сцепление c	11,5	38	11
Угол внутреннего трения ϕ	39	27	10

По данным, приведенным в табл. 2, видно, что у неармированных образцов золы уноса значения удельного сцепления совпадают со значениями глины, а у образцов, армированных базальтовым волокном, возрастают почти в 3,5 раза. Угол внутреннего трения золы выше, чем у глины, также в 3,5 раза, однако при внедрении базальтовых волокон он снижается на 29 %.

Лабораторные испытания золы уноса на деформационные характеристики проводились на базе кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (СПГ ПНИПУ) в компрессионных приборах согласно ГОСТ 12248–2010. Для этого были сформированы образцы в компрессионных кольцах диаметром 71 мм и высотой 20 мм (рис. 3). В ходе испытаний к образцам прикладывалась нагрузка ступенями 12, 25, 50, 100, 200, 300 кПа. Нагружение образцов на каждой ступени продолжали до момента достижения условной стабилизации деформации образца. В качестве критерия условной стабилизации деформации образца принималось ее приращение, не превышающее 0,05 % за 3 ч. После испытаний был рассчитан модуль деформации E , результаты представлены в табл. 3.

По результатам исследований, приведенным в табл. 3, можно сделать вывод, что у образцов золы уноса модуль деформации выше, чем у глинистых грунтов, на 12 %. Внедрение в образцы золы базальтовых волокон снижает модуль деформации на 35 %.

Рис. 3. Образцы золы уноса в компрессионных кольцах
(без армирования и с армированием базальтовым волокном)
Fig. 3. Samples of fly ash in compression rings
(without reinforcement and those reinforced by basalt fiber)

Таблица 3

Модуль деформации армированной и неармированной золы уноса
и мягкопластичной глины

Table 3

Deformation modulus of reinforced and unreinforced fly ash and soft clay

Характеристики	Зола уноса без армирования	Зола уноса, армированная фиброволокном	Мягкопластичная глина
Модуль деформации E_{oed} , МПа	5,14	3,37	4,5

Лабораторные испытания золы уноса на пучинистые свойства проводились также на базе кафедры СПГ ПНИПУ с помощью прибора «УПГ-МГ4 Грунт» (рис. 4) согласно ГОСТ 28622–2012 «Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости». Для этого были сформированы образцы диаметром 100 мм и высотой 150 мм.

Во время испытаний образец золы сначала выдерживался при температуре $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение суток, затем на верхнем торце образца температура опускалась до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Испытание продолжалось до тех пор, пока на нижнем торце образца температура не достигала $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом осуществлялся непрерывный поток воды к образцу с температурой $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. После испытаний замерялась глубина промерзания образца и рассчитывалась относительная деформация пучения [12]. Результаты приведены в табл. 4.

По результатам исследований, приведенным в табл. 4, видно, что образцы мягкопластичной глины являются среднепучинистыми, а образцы золы уноса – непучинистыми. Внедрение в золу базальтовых волокон приводит к увеличению деформаций пучения, хотя и к незначительному.

Рис. 4. Прибор для определения пучинистости
грунтов «УПГ-МГ4 Грунт»

Fig. 4. UPG-MG4 Soil – a device aimed
at determining the degree of soils heaving

Таблица 4

Относительная деформация пучения армированной
и неармированной золы уноса и мягкопластичной глины

Table 4

Relative deformation of heaving of reinforced
and unreinforced fly ash and soft clay

Характеристики	Зола уноса без армирования	Зола уноса, армированная фиброволокном	Мягкопластичная глина
Глубина промерзания образцов, мм	150	150	100
Относительная деформация пучения ϵ_{th}	0	0,0003	0,06

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) удельное сцепление золы уноса не отличается от значений мягкопластичной глины, однако угол внутреннего трения выше в 3,5 раза;
- 2) модуль деформации золы уноса выше, чем у мягкопластичной глины, на 12 %;
- 3) в отличие от мягкопластичной глины, зола уноса является непучинистой;
- 4) внедрение в золу уноса базальтового волокна в качестве армирования увеличивает сцепление золы в 3,5 раза, однако угол внутреннего трения при этом снижается на 29 %, а модуль деформации – на 35 %.

В заключение можно отметить, что внедрение в золу уноса базальтовых волокон может быть актуально при увеличении устойчивости откосов и котлованов. Однако для снижения осадок и увеличения несущей способности оснований армирование золы уноса базальтовым волокном нецелесообразно. Зола уноса является непучинистой, что позволяет ее использовать в качестве противопучинистых мероприятий. Таким образом, есть возможность использования золы уноса в качестве оснований.

Библиографический список

1. Исследование свойств современных строительных материалов на основе промышленных отходов / В.В. Барахтенко, А.Е. Бурдонов, Е.В. Зелинская [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-12. – С. 2599–2603.
2. Nayak G.C., Jain S.C., Omran M.E. Use of fly ash for roller compacted concrete // Proceedings of the National Workshop on Utilization of Fly Ash. – Roorkee, India, 1998. – P. A-111–A-117.
3. Kaniraj S.R., Gayathri V. Geotechnical behavior of fly ash mixed with randomly oriented fiber inclusions // Geotextiles and Geomembranes. – 2003. – Vol. 21, iss. 3. – P. 123–149.
4. Смоленский О.В. Использование зол уноса ТЭЦ в производстве строительных материалов в строительстве автодорог // Технологии бетонов. – 2012. – № 1-2 (66-67). – С. 10–11.
5. Нетеса Н.И., Паланчук Д.В., Нетеса А.Н. Легкие бетоны с золой уноса приднепровской ТЭС // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 5 (47). – С. 137–145.
6. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. – М.: Изд-во СоюздорНИИ, 2003. – 58 с.
7. Бартеньева Е.А., Машкин Н.А., Шоева Т.Е. Использование золы уноса в производстве пенобетона // Естественные и технические науки. – 2015. – № 11. – С. 600–603.
8. Энтин З.Б., Стржалковская Н. Еще раз о золах уноса ТЭС для производства цемента // Цемент и его применение. – 2009. – № 2. – С. 106–111.

9. Chauhan M.S., Mittal S., Mohanty B. Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2008. – № 26. – P. 429–435.
10. Malysev M.A. Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading // *IV International Conference on Permafrost*. – USA, Washington. National Academy Press, 1984. – P. 259–263.
11. Мащенко А.В. Влияние армирования геосинтетическими материалами на пучинистые свойства грунтов // *Вестник гражданских инженеров*. – 2015. – № 6 (53). – С. 100–103.
12. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // *Вестник Белгород. гос. технолог. ун-та им. В.Г. Шухова*. – 2012. – № 4. – С. 58–61.
13. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта [Электронный ресурс] / А.Н. Богомолов, А.Б. Пономарев, А.В. Мащенко, А.С. Кузнецова // *Интернет-вестник Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та*. – 2014. – № 4 (35). – URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4\(35\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4(35).pdf) (дата обращения: 10.04.2017).
14. Гришина А.С., Мащенко А.В., Пономарев А.Б. Результаты исследований прочностных характеристик глинистых грунтов, армированных различными геосинтетическими материалами // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. – 2015. – № 4 (20). – С. 9–21.
15. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Strength evaluation of fiber reinforced sand by triaxial testing // *EuroGeo 5. 5th European Geosynthetics Congress*, 16–19 September 2012. – Valencia, Spain, 2012. – Vol. 4. – P. 353–356.

References

1. Barakhtenko V.V., Burdonov A.E., Zelinskaia E.V. et al. Issledovanie svoystv sovremennykh stroitel'nykh materialov na osnove promyshlennykh othodov [Research of properties of modern construction materials based on industrial waste]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, no. 10-12, pp. 2599-2603.
2. Nayak G.C., Jain S.C., Omran M.E. Use of fly ash for roller compacted concrete. *Proceedings of the National Workshop on Utilization of Fly Ash*, Roorkee, India, 1998, pp. A-111–A-117.
3. Kaniraj S.R., Gayathri V. Geotechnical behavior of fly ash mixed with randomly oriented fiber inclusions. *Geotextiles and Geomembranes*, 2003, vol. 21, iss. 3, pp. 123–149.
4. Smolenskij O.V. Ispol'zovanie zol-unosa TEC v proizvodstve stroitel'nykh materialov v stroitel'stve avtodorog [The use of ash-fly ash TPS in the production of building materials in the construction of roads]. *Tekhnologii betonov*, 2012, no. 1-2 (66-67), pp. 10-11.
5. Netesa N.I., Palanchuk D.V., Netesa A.N. Legkie betony s zoloy unosa pridneprovskoj TES [Lightweight concrete with fly ash Prydniprovskaya TPP]. *Nauka ta progres transportu*, 2013, no. 5(47), pp. 137-145.
6. Putilin E.I., Cvetkov V.S. Primenenie zol unosa i zoloshlakovykh smesey pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog [The use of fly ash and slag mixtures in the construction of highways]. Moscow, Soyuzdornii, 2003, 58 p.
7. Barten'eva E.A., Mashkin N.A., Shoeva T.E. Ispol'zovanie zoly-unosa v proizvodstve penobetona [The use of fly ash in foam concrete production]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 11, pp. 600-603.

8. Ehntin Z.B., Strzhalkovskaya N. Eshche raz o zolah-unosa TES dlya proizvodstva cementa [Once again on the ashes-ablation of thermal power plant for cement production]. *Cement i ego primeneniye*, 2009, no. 2, pp. 106–111.
9. Chauhan M.S., Mittal S., Mohanty B. Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre. *Geotextiles and Geomembranes*, 2008, no. 26, pp. 429–435.
10. Malysev M.A. Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading. *IV International Conference on Permafrost*. USA, Washington, National Academy Press, 1984, pp. 259–263.
11. Mashchenko A.V. Vliyanie armirovaniya geosinteticheskimi materialami na puchinistye svoystva gruntov [The effect of geosynthetics reinforcement in heaving properties of soils]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2015, no. 6 (53), pp. 100–103.
12. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V. Bazal'tovoe volokno kak komponent dlya mikroarmirovaniya cementnykh kompozitov [Basalt fiber as a component for microkeratome cement composites]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*, 2012, no. 4, pp. 58–61.
13. Bogomolov A.N., Ponomarev A.B., Mashchenko A.V., Kuznecova A.S. Analiz vliyaniya razlichnykh tipov armirovaniya na deformatsionnye harakteristiki glinistogo grunta [Analysis of the impact of different types of reinforcement on the deformation characteristics of clay soil]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 4 (35), 11 p., available at: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4\(35\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4(35).pdf) (accessed 10 April 2017).
14. Grishina A.S., Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Rezul'taty issledovaniy prochnostnykh harakteristik glinistyykh gruntov, armirovannykh razlichnymi geosinteticheskimi materialami [Results of strength research of clay soil reinforced by different geosynthetics]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika*, 2015, no. 4 (20), pp. 9–21.
15. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Strength evaluation of fiber reinforced sand by triaxial testing. *EuroGeo 5. 5th European Geosynthetics Congress*, 16–19 September 2012, Valencia, Spain, 2012, vol. 4, pp. 353–356.