

Д. В. ПОПОВ
В. П. ПОПОВ

УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЙ ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ ИЗ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

REINFORCEMENT OF BASES WITH DISPERSED REINFORCEMENT FROM PLASTIC WASTE

В статье приведены результаты лабораторных испытаний штампом песчаных грунтов разной плотности, армированных с разным процентом от общего объема фиброй, изготовленной путём нарезки полосок из пластиковых бутылок. Целью работы является получение величин модуля деформации грунта, армирование которого осуществлено пластиковой фиброй. Произведено сравнение неармированного грунта с армированным. Представленные результаты лабораторных исследований показывают эффективность применения фибры, изготовленной из отходов пластика, что в будущем позволит существенно сэкономить на устройстве искусственных песчаных оснований, а также улучшить экологические показатели окружающей среды.

Ключевые слова: дисперсное армирование, отходы пластика, замена основания, усиление основания, прочность оснований, армирующие элементы, штамповые испытания, антропогенная нагрузка

В начале XX в. со стремительным ростом индустриализации резко выросло потребление бумаги. Бумага начала использоваться не только в отраслях промышленности, но и в других сферах, вплоть до упаковки продуктов питания в магазинах. Несколько десятков лет бумага была необоротным ресурсом, и уже к середине 50-х гг. прошлого века вырубка лесов достигла критического масштаба и планета впервые оказалась на грани экологической катастрофы. Параллельно с ростом потребления бумаги развивалась и химическая отрасль, которая имела к тому времени накопленный опыт в синтезировании полиэтилена. Многочисленные исследования показывали абсолютную безвредность полиэтилена для человека. И, как казалось, тогда был найден относительно дешёвый способ спасти леса от вырубки, а бумагу, которую использовали для упаковки продуктов питания, заменили на полиэтилен. С годами упаковочный материал постоянно модернизировался и полиэтилен был частично заменён схожими по свойствам пластиками. Простота, дешевиз-

The article presents the results of laboratory tests with a stamp of sandy soils of different densities, reinforced with a different percentage of the total volume with fiber made by cutting strips from plastic bottles. The aim of the work is to obtain the values of the modulus of deformation of the soil, the reinforcement of which is carried out with plastic fiber. Also in this article, a comparison was made of non-reinforced soil with reinforced. The presented results of laboratory studies show the effectiveness of the use of fiber made from plastic waste, which in the future will significantly save on the device of artificial sand bases, as well as improve environmental performance.

Keywords: dispersed reinforcement, plastic waste, replacement of the base, reinforcement of the base, strength of the bases, reinforcing elements, stamp tests, anthropogenic load

на и высокие эксплуатационные характеристики сделали пластиковую упаковку продуктов питания самой производимой в мире. По статистике в мире ежеминутно производится один миллион только пластиковых бутылок и уже для упаковки не только продуктов питания, но и для упаковки различных непищевых (технических) жидкостей. На сегодняшний день большинство стран мира оказались не готовыми к переработке или безвредной для экологии утилизации такого объёма пластика, что привело к загрязнению им значительных сухопутных территорий, а также мирового океана. Около пятнадцати миллионов тонн пластика ежегодно засоряют реки, озера, моря и океаны, пагубно влияя на флору и фауну последних. В связи с вышеописанным возникает актуальный вопрос о применимости пластиковых отходов, с минимальной их переработкой, в других производственных отраслях.

В строительстве отходы пластика могут применяться в виде тонких полос для дисперсного армирования искусственных оснований,

которые частично заменяют толщи слабых природных грунтов, обладающих низкими по величине показателями физико-механических характеристик, или при выполнении отсыпок территорий с целью поднятия рельефа до проектных отметок [1, 2]. При этом следует отметить, что армирование искусственных оснований в нашей стране осуществляется уже более тридцати лет, для чего в большинстве случаев используют произведённые специально для этих целей геотекстиль или геосетки, т. е. используются либо рулонные материалы, либо плоские каркасы [3, 4]. Как таковых попыток произвести дисперсное армирование грунтов отмечено не было, соответственно по этому поводу и была проведена серия экспериментов.

Эксперимент проводился в грунтовом лабораторном лотке, имеющем в поперечном сечении форму трубы с величиной внутреннего диаметра 410 мм, к верхнему краю которого прикреплена рычажная система для проведения штамповых испытаний (рис. 1). Грунтом, который подвергался армированию, являлся песок мелкий маловлажный. В качестве армирующих элементов применялись полоски размером 5,0x70,0 мм из полиэтилентерефталата, полученные путем нарезки бутылок из-под пищевых жидкостей. Толщина слоя грунта была принята 300 мм. Всего было проведено

две серии экспериментов. Первая серия экспериментов проводилась на грунте плотностью 1,73 г/см³, во второй плотность грунта была повышена до 1,82 г/см³ [5]. В каждой серии было проведено по четыре эксперимента, в результате которых производились штамповые испытания грунтов. В первых трёх экспериментах был испытан грунт с процентом армирования фиброй 10, 20 и 30 % от первоначального объёма (рис. 2). Четвёртый эксперимент был проведен на слое грунта без армирования.

Давление на экспериментальный грунт передавалось круглым металлическим штампом, имеющим площадь 60 см², ступенями путем укладки грузов весом 3 кг на вертикальную подвеску рычажной системы, создавая давление под штампом, равным по 0,01 МПа [6]. Приложение каждой последующей ступени нагрузки осуществлялось после полного затухания осадок от предыдущей ступени. Увеличение нагрузки продолжалось до тех пор, пока приращение деформаций грунта от вновь приложенной нагрузки, превышало более чем в пять раз величину деформации от предыдущей ступени. Величины деформаций грунта фиксировались с помощью индикатора часового типа (прогибомер) с ценой деления 0,01 мм.

Результаты экспериментов и построенные графики зависимости осадки штампа от нагрузки приведены в табл. 1 – 8 и рис. 3 – 10.



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки штамповых испытаний грунтов



Рис. 2. Процесс смешивания грунта с полосками полиэтилентерефталата

Первая серия экспериментов, плотность грунта – 1,73 г/см³.

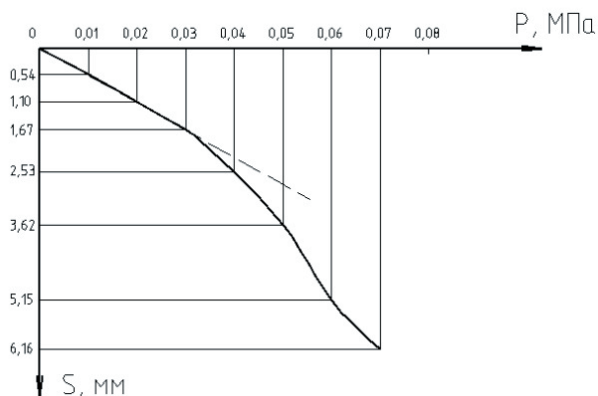


Рис. 3. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта без армирования

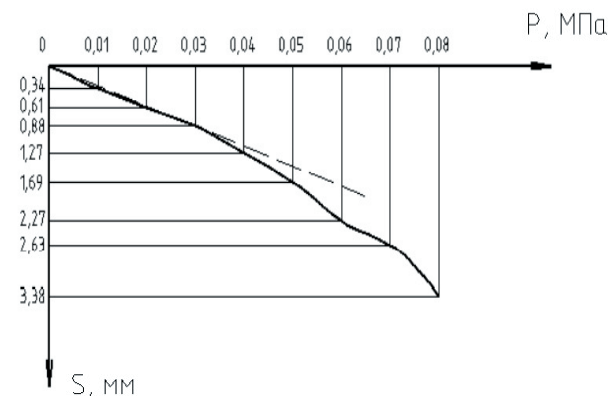


Рис. 4. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта с армированием 10 %

Таблица 1

Штамповые испытания грунта без армирования

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N, кг		Давление от штампа на грунт P, МПа		Отсчёты по индикатору h _г мм	Осадка штампа S, мм	
	ступень N _г кг	суммарная нагрузка ΣN _г кг	ступень P _г МПа	суммарное давление ΣP _г МПа		за ступень S _г мм	суммарная ΣS _г мм
0	N ₁ =6,0	42,0	P ₁ =0,01	0,07	0,54	0,54	6,16
	N ₂ =6,0		P ₂ =0,01		1,10	0,56	
	N ₃ =6,0		P ₃ =0,01		1,67	0,57	
	N ₄ =6,0		P ₄ =0,01		2,53	0,86	
	N ₅ =6,0		P ₅ =0,01		3,62	1,09	
	N ₆ =6,0		P ₆ =0,01		5,15	1,53	
	N ₇ =6,0		P ₇ =0,01		6,16	1,01	

Таблица 2

Штамповые испытания. Процент армирования грунта 10 %

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N, кг		Давление от штампа на грунт P, МПа		Отсчёты по индикатору h _г мм	Осадка штампа S, мм	
	ступень N _г кг	суммарная нагрузка ΣN _г кг	ступень P _г МПа	суммарное давление ΣP _г МПа		за ступень S _г мм	суммарная ΣS _г мм
10	N ₁ =6,0	48,0	P ₁ =0,01	0,08	0,34	0,34	3,38
	N ₂ =6,0		P ₂ =0,01		0,61	0,27	
	N ₃ =6,0		P ₃ =0,01		0,88	0,27	
	N ₄ =6,0		P ₄ =0,01		1,27	0,39	
	N ₅ =6,0		P ₅ =0,01		1,69	0,42	
	N ₆ =6,0		P ₆ =0,01		2,27	0,58	
	N ₇ =6,0		P ₇ =0,01		2,63	0,36	
	N ₈ =6,0		P ₈ =0,01		3,38	0,75	

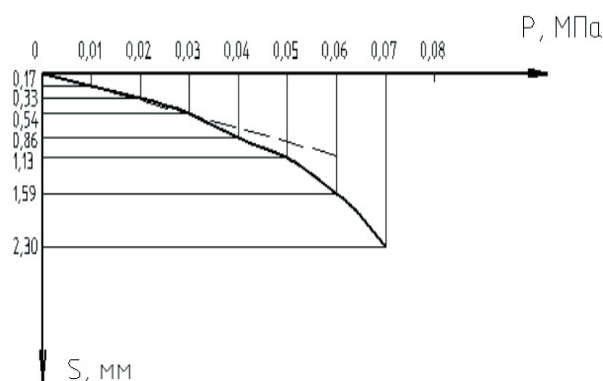


Рис. 5. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта с армированием 20 %

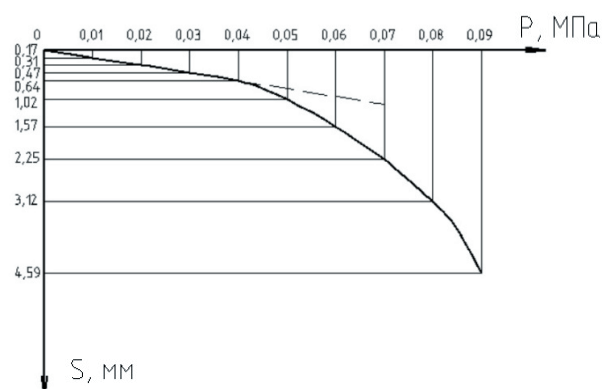


Рис. 6. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта с армированием 30 %

Таблица 3

Штамповые испытания. Процент армирования грунта 20 %

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N, кг		Давление от штампа на грунт, P, МПа		Отсчёты по индикатору h _γ мм	Осадка штампа S, мм	
	ступень N _γ кг	суммарная нагрузка ΣN _γ кг	ступень P _γ МПа	суммарное давление ΣP _γ МПа		за ступень S _γ мм	суммарная ΣS _γ мм
20	N ₁ =6,0	42,0	P ₁ =0,01	0,07	0,17	0,17	2,30
	N ₂ =6,0		P ₂ =0,01		0,33	0,16	
	N ₃ =6,0		P ₃ =0,01		0,54	0,21	
	N ₄ =6,0		P ₄ =0,01		0,86	0,32	
	N ₅ =6,0		P ₅ =0,01		1,13	0,27	
	N ₆ =6,0		P ₆ =0,01		1,59	0,46	
	N ₇ =6,0		P ₇ =0,01		2,30	0,71	

Таблица 4

Штамповые испытания. Процент армирования грунта 30 %

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N, кг		Давление от штампа на грунт, P, МПа		Отсчёты по индикатору h _γ мм	Осадка штампа S, мм	
	ступень N _γ кг	суммарная нагрузка ΣN _γ кг	ступень P _γ МПа	суммарное давление ΣP _γ МПа		за ступень S _γ мм	суммарная ΣS _γ мм
30	N ₁ =6,0	54,0	P ₁ =0,01	0,09	0,17	0,17	4,59
	N ₂ =6,0		P ₂ =0,01		0,31	0,14	
	N ₃ =6,0		P ₃ =0,01		0,47	0,16	
	N ₄ =6,0		P ₄ =0,01		0,64	0,17	
	N ₅ =6,0		P ₅ =0,01		1,02	0,38	
	N ₆ =6,0		P ₆ =0,01		1,57	0,55	
	N ₇ =6,0		P ₇ =0,01		2,25	0,68	
	N ₈ =6,0		P ₈ =0,01		3,14	0,89	
	N ₉ =6,0		P ₉ =0,01		4,59	1,45	

Вторая серия экспериментов, плотность грунта – 1,82 г/см³.

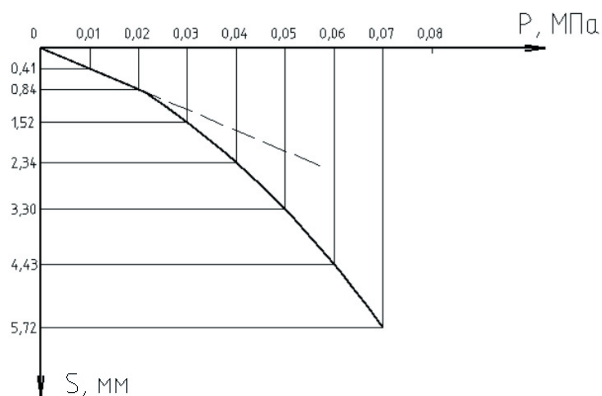


Рис. 7. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта без армирования

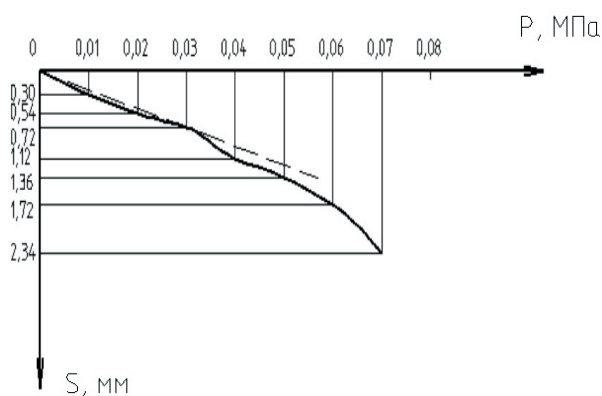


Рис. 8. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта с армированием 10 %

Таблица 5

Штамповые испытания грунта без армирования

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N_i , кг		Давление от штампа на грунт, P_i , МПа		Отсчёты по индикатору h_i , мм	Осадка штампа S_i , мм	
	ступень N_i , кг	суммарная нагрузка $\sum N_i$, кг	ступень P_i , МПа	суммарное давление $\sum P_i$, МПа		за ступень S_i , мм	суммарная $\sum S_i$, мм
0	$N_1=6,0$	42,0	$P_1=0,01$	0,07	0,41	0,41	5,72
	$N_2=6,0$		$P_2=0,01$		0,84	0,43	
	$N_3=6,0$		$P_3=0,01$		1,52	0,68	
	$N_4=6,0$		$P_4=0,01$		2,34	0,82	
	$N_5=6,0$		$P_5=0,01$		3,30	0,96	
	$N_6=6,0$		$P_6=0,01$		4,43	1,13	
	$N_7=6,0$		$P_7=0,01$		5,72	1,29	

Таблица 6

Штамповые испытания. Процент армирования грунта 10 %

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N_i , кг		Давление от штампа на грунт, P_i , МПа		Отсчёты по индикатору h_i , мм	Осадка штампа S_i , мм	
	ступень N_i , кг	суммарная нагрузка $\sum N_i$, кг	ступень P_i , МПа	суммарное давление $\sum P_i$, МПа		за ступень S_i , мм	суммарная $\sum S_i$, мм
10	$N_1=6,0$	42,0	$P_1=0,01$	0,07	0,30	0,30	2,34
	$N_2=6,0$		$P_2=0,01$		0,54	0,24	
	$N_3=6,0$		$P_3=0,01$		0,72	0,18	
	$N_4=6,0$		$P_4=0,01$		1,12	0,40	
	$N_5=6,0$		$P_5=0,01$		1,36	0,24	
	$N_6=6,0$		$P_6=0,01$		1,72	0,36	
	$N_7=6,0$		$P_7=0,01$		2,34	0,62	

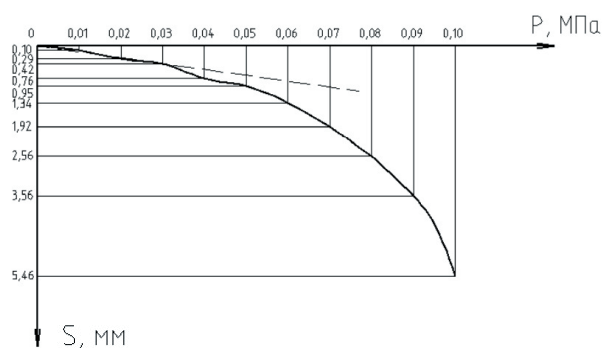


Рис. 9. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта с армированием 20 %

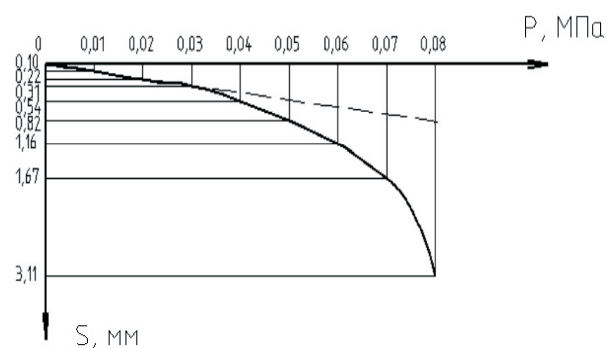


Рис. 10. График зависимости осадки штампа от нагрузки при испытании грунта с армированием 30 %

Таблица 7

Штамповые испытания. Процент армирования грунта 20 %

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N, кг		Давление от штампа на грунт, P, МПа		Отсчёты по индикатору h _г , мм	Осадка штампа S, мм	
	ступень N _г , кг	суммарная нагрузка ΣN _г , кг	ступень P _г , МПа	суммарное давление ΣP _г , МПа		за ступень S _г , мм	суммарная ΣS _г , мм
20	N ₁ =6,0	60,0	P ₁ =0,01	0,10	0,10	0,10	5,46
	N ₂ =6,0		P ₂ =0,01		0,29	0,19	
	N ₃ =6,0		P ₃ =0,01		0,42	0,13	
	N ₄ =6,0		P ₄ =0,01		0,76	0,34	
	N ₅ =6,0		P ₅ =0,01		0,95	0,19	
	N ₆ =6,0		P ₆ =0,01		1,34	0,39	
	N ₇ =6,0		P ₇ =0,01		1,92	0,58	
	N ₈ =6,0		P ₈ =0,01		2,56	0,64	
	N ₉ =6,0		P ₉ =0,01		3,56	1,0	
	N ₁₀ =6,0		P ₁₀ =0,01		5,46	1,90	

Таблица 8

Штамповые испытания. Процент армирования грунта 30 %

Процент армирования грунта, %	Нагрузка на штамп N, кг		Давление от штампа на грунт, P, МПа		Отсчёты по индикатору h _г , мм	Осадка штампа S, мм	
	ступень N _г , кг	суммарная нагрузка ΣN _г , кг	ступень P _г , МПа	суммарное давление ΣP _г , МПа		за ступень S _г , мм	суммарная ΣS _г , мм
30	N ₁ =6,0	48,0	P ₁ =0,01	0,08	0,10	0,10	3,11
	N ₂ =6,0		P ₂ =0,01		0,22	0,12	
	N ₃ =6,0		P ₃ =0,01		0,31	0,09	
	N ₄ =6,0		P ₄ =0,01		0,54	0,23	
	N ₅ =6,0		P ₅ =0,01		0,82	0,28	
	N ₆ =6,0		P ₆ =0,01		1,16	0,34	
	N ₇ =6,0		P ₇ =0,01		1,67	0,51	
	N ₈ =6,0		P ₈ =0,01		3,11	1,44	

По результатам проведённых штамповых испытаний (плотность грунта – 1,73 г/см³) был вычислен модуль деформации для каждого варианта армирования грунта:

$$E_0 = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta s} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{1,67} = 0,111 \text{ МПа.}$$

$$E_{10} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,88} = 0,211 \text{ МПа.}$$

$$E_{20} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,54} = 0,344 \text{ МПа.}$$

$$E_{30} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,64} = 0,386 \text{ МПа.}$$

По результатам проведённых штамповых испытаний (плотность грунта – 1,82 г/см³) был вычислен модуль деформации для каждого варианта армирования грунта:

$$E_0 = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,84} = 0,147 \text{ МПа.}$$

$$E_{10} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,72} = 0,258 \text{ МПа.}$$

$$E_{20} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,42} = 0,441 \text{ МПа.}$$

$$E_{30} = (1 - 0,3^2) \cdot 1 \cdot 0,79 \cdot 8,6 \frac{0,03}{0,31} = 0,598 \text{ МПа.}$$

Результаты выполненных лабораторных исследований показывают, что армирование песчаного грунта фиброй, изготовленной из отходов пластика, значительно повышает такой прочностной показатель, как модуль деформации. Следует отметить, что чем выше процент армирования грунта, тем выше в итоге общий модуль деформации. Так, у грунта с плотностью 1,73 г/см³ при армировании 10, 20 и 30 % модуль деформации становится соответственно в 1,90, 3,10 и 3,47 раза больше. У грунта с плотностью 1,82 г/см³ также при армировании в 10, 20 и 30 % модуль деформации повышается в 1,75, 3,0 и 4,06 раза. Более высокие показатели модуля деформации у грунта плотностью 1,82 г/см³ объясняется еще тем, что у данного грунта объем пор намного меньше, а соответственно, ниже его деформативность. Отходы пищевого пластика не подвержены коррозии, имеют долгий по времени процесс разложения в грунте и стойкость к большинству химических соединений. Использование пластиковых отходов при усилении оснований позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, уменьшить расходы на переработку или утилизацию пищевой упаковки. При этом следует отметить, что нарезка полосок (фибры) из бутылок является не очень дорогой операцией, а это в свою очередь ведет к общему снижению затрат на устройство искусственных оснований. На сегодняшний день можно сделать предварительные выводы о том, что отходы пластика могут быть использованы в качестве армирования искусственных оснований, но необходимо продолжить исследования в этом направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Д.В., Ачаликов И.Ю. Усиление слабых оснований промежуточным грунто-армированным слоем // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2020. С. 341–348.
2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Изд. 2-е, доп. и перераб. / под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2016. 1040 с.
3. Мальцев А.В., Сороколетова Е.В. Исследование влияния параметров системы «основание-фундамент» при разуплотнении грунта в открытых котлованах на расчётную величину осадки // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2020. С. 300–306.
4. ГОСТ 20276.1–2020. Грунты. Метод испытания штампом. М.: Стандартинформ, 2020.
5. Мальцев А.В., Каримов Э.А., Майорова Ю.Н. Моделирование процессов уплотнения песчаного грунта в лабораторных условиях // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2018. С. 279–284.
6. Землянский А.А. Активное армирование слабых грунтов при строительстве крупноразмерных резервуаров // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. С. 15–18.

REFERENCES

1. Popov D.V., Achalikov I.Yu. Strengthening weak bases with an intermediate ground-reinforced layer.

Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: sbornik statej [Traditions and innovations in construction and architecture: a collection of articles]. Samara, SamGTU, 2020, pp. 341–348. (In Russian).

2. П'ичев В.А., Мангусhev Р.А. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. Izd. 2-e, dop. i pererab.* [Geotechnics Handbook. Foundations, foundations and underground structures. Ed. 2nd, add and rework]. Moscow, Publishing House ASV, 2016. 1040 p.

3. Maltsev A.V., Sorokoletova E.V. Study of the influence of the parameters of the base-foundation system during decompression of soil in open pits on the design value of settlement. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture: a collection of articles]. Samara, SamGTU, 2020, pp. 300–306. (In Russian).

4. State Standart 20276.1-2020. Soils. Die test method. Moscow, Standardinform, 2020.

5. Maltsev A.V., Karimov E.A., Mayorova Yu.N. Modeling of compaction processes of sandy soil in laboratory conditions. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture: a collection of articles]. Samara, SamGTU, 2018, pp. 279–284. (In Russian).

6. Zemlyansky A.A. Active reinforcement of weak soils during construction of large-sized tanks. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov* [Foundations, foundations and soil mechanics], 2006, pp. 15–18. (in Russian)

Об авторах:

ПОПОВ Дмитрий Валериевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: popov38@yandex.ru

POPOV Dmitry V.

Phd in Engineering Science, Associate Professor of the Structural Mechanics, Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str, 244 E-mail: popov38@yandex.ru

ПОПОВ Валерий Петрович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства Самарский государственный университет путей сообщения 443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В E-mail: npc-ria@yandex.ru

POPOV Valery P.

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Construction Chair Samara State University of Railway Transport 443066, Russia, Samara, Svobody str, 2В E-mail: npc-ria@yandex.ru

Для цитирования: Попов Д.В., Попов В.П. Усиление оснований дисперсным армированием из пластиковых отходов // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3. С. 70–77. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.10.

For citation: Popov D.V., Popov V.P. Reinforcement of bases with dispersed reinforcement from plastic waste. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 70–77. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.10.