

УРБАНИСТИКА. СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

УДК 624.138.23

А.С. Гришина, Р.С. Смирнов

A.S. Grishina, R.S. Smirnov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОАРМИРОВАННОГО ГРУНТА В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

STUDY OF SOIL FEATURES APPLICATIONS FIBERSAND AS THE BASE NATURAL COATINGS

Статья посвящена вопросу изучения технологии армирования оснований натуральных покрытий фиброволокнами. Рассмотрена актуальность применения фибрового армирования при устройстве газонов спортивных сооружений. Приведены результаты эксперимента по приготовлению фибропесчаной смеси. Предложены рекомендации по смешиванию волокон с грунтом в промышленных масштабах.

Ключевые слова: волокна, фибровое армирование, армирование грунта, спортивное поле, спортивный газон.

The article is devoted to the study of soil reinforcement technology of natural coatings bases using fibers. The actuality of fiber reinforcement is considered when constructing the sports facilities lawns. The results of experimental preparation of fibersand mixture are presented. The authors proposed recommendations for mixing fibers with soil in industrial scales.

Keywords: fibers, fiber reinforcement, soil reinforcement, sports field, sports lawn.

Введение

В последние 20–30 лет в мире наблюдается увеличение темпов строительства стадионов и других зрелищных сооружений. В основе этой тенденции лежит резко возросшее стремление людей к занятиям физической культурой, спортом, ведению здорового образа жизни, потребность в удовлетворении разнообразных культурных интересов [1]. На сегодняшний день актуальность модернизации спортивных сооружений, таких как футбольные стадионы и манежи, в России усиливается в связи с проведением Чемпионата мира по футболу

в 2018 г. Одним из основных элементов таких сооружений, к которому предъявляются высокие технические требования, является покрытие футбольного поля. Другими примерами покрытий, от качества которых зависят условия их эксплуатации, являются покрытия конных манежей, взлетно-посадочных полос, экологических парковок и подъездов для пожарных машин, а также общее озеленение мест отдыха и большого скопления людей [2].

Одной из проблем эксплуатации вышеперечисленных покрытий является эрозия грунта и корневой зоны газона. Особенно остро эта проблема встает, если в качестве покрытия используется натуральный газон. При динамических нагрузках во время эксплуатации покрытий может происходить выкорчевывание травы и образование ям, что может стать причиной травм человека и животных. При нарушении сплошности покрытия также снижается его долговечность, и оно в скором времени будет нуждаться в реконструкции.

В мировой и отечественной практике существует множество способов упрочнения грунтов оснований зданий и сооружений, инженерами разработаны многочисленные рекомендации, накоплен большой практический опыт улучшения свойств грунтов. Однако для усиления покрытий спортивных сооружений большинство из разработанных способов либо малоэффективны, либо имеют ограниченную область применения.

Одним из возможных способов усиления оснований натуральных покрытий является их армирование с применением георешеток и геоматов [3]. Очевидно, что такое решение может быть использовано для усиления откосов, оснований покрытий парковок и подъездов пожарных машин, но оно не приемлемо в качестве усиления оснований газонов спортивных стадионов, конных манежей и подобных сооружений. Рулонные геосинтетические материалы, находясь в основании покрытия, будут препятствовать спортивному процессу, а также могут стать причиной травм людей и животных.

В данной статье предложен новый для российского сегмента способ усиления оснований. Суть способа заключается в применении волокон из полипропилена для армирования песка и использовании его в качестве оснований натуральных покрытий.

1. Примеры применения фиброармированного песка в качестве оснований натуральных покрытий

Помимо применения рулонных геосинтетических материалов для усиления грунтовых оснований, существует технология фибрового армирования грунтов. Фибровое армирование подразумевает под собой внедрение в грунт коротких натуральных или синтетических волокон для придания массиву грунта оптимальных физических и механических характеристик [4]. Фиброволокна успешно нашли свое применение за рубежом в качестве армирова-

ния оснований натуральных покрытий. Английская компания Fibresand International уже более 25 лет с успехом занимается фибровым армированием грунта. В их портфолио входят покрытия для занятий конным спортом, футбольные поля, взлетно-посадочные полосы, экологические парковки и подъезды для пожарных машин, а также натуральные покрытия мест отдыха и большого скопления людей [2]. Их деятельность распространилась и на территории России. Один из последних объектов – футбольное поле на стадионе «Открытие Арена» в г. Москве. Персоналу компании пришлось преодолеть 2400 км, чтобы изготовить 1400 т фиброармированного грунта, используемого в дальнейшем в качестве основания натурального газона футбольного поля [5]. Поэтому актуальным вопросом является возможность приготовления фиброармированного грунта и его применения при строительстве различных объектов на территории Российской Федерации.

Фиброармированный грунт представляет собой композит грунта и волокон, который при правильной дозировке и надлежащей технологии смешивания обладает оптимальным гранулометрическим составом и улучшенными механическими характеристиками [6]. Фиброволокна придают значительную пространственную прочность и устойчивость корневой зоне. Поскольку волокна не поддаются гниению, их можно рассматривать в качестве массы неразрушимых синтетических армирующих корней, которые защищают природные корни дерна. Волокна оказывают серьезное воздействие на уменьшение поверхностной деформации и эффекты уплотнения, обусловленные нагрузкой от пешеходного движения или транспортных средств, а также разрывным действием шипованной спортивной обуви и экипировки спортсменов.

В случае с футбольным полем фиброволокна перемешиваются с грунтом и находятся в корневой зоне газона (рис. 1), что повышает сцепление корней травы с грунтом, препятствуя ее выкорчевыванию и образованию ям.

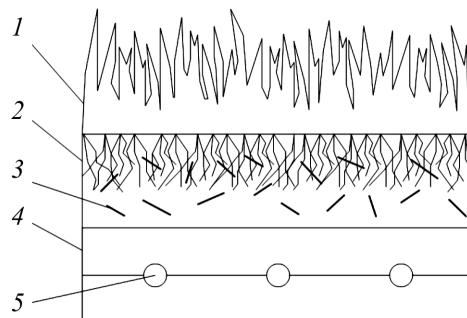


Рис. 1. Структура газона с применением фиброармированного грунта в качестве основания: 1 – газон; 2 – корневая зона; 3 – фиброволокна; 4 – песчаный слой; 5 – трубы системы подогрева

Для успешного применения технологии фибрового армирования большая часть грунта должна состоять из песчаных частиц. Это связано с тем, что песок, обладающий хорошими дренажными свойствами [7], не только обеспечивает доступ кислорода к корневой структуре травы, но и одновременно поглощает избыточную воду, что позволяет использовать такое основание в условиях отрицательных температур. Остальные составляющие грунта – это чернозем, торф, минеральные удобрения и т.п.

Кроме того, благодаря дренажным свойствам песка, основание при недостатке воды на поверхности экспортирует ее из глубины. А вода в совокупности с минеральными удобрениями способствуют здоровому развитию корневой системы газона. Таким образом, сопротивляемость деформациям поверхности газона не теряется как в условиях повышенной влажности, так и при сухом климате. Благодаря этому газон на фиброармированном основании будет сохранять свои эксплуатационные характеристики еще тогда, когда газон на естественном основании придет в негодность.

По сравнению с искусственным аналогом газон на фиброармированном основании имеет ряд очевидных преимуществ:

- низкая вероятность размножения различных вредных микроорганизмов и бактерий, поэтому в случае полученной травмы понижается риск заражения и развития инфекции;
- отсутствие латекса, пластификаторов и прочих компонентов, которые при нагревании способствуют выделению в окружающее пространство вредных и токсичных веществ для человека и окружающей среды;
- отсутствие необходимости в периодической чистке и уборке;
- низкая скорость нагрева поля, в отличие от искусственного газона, который на солнце нагревается до 60°;
- натуральность покрытия и экологичность.

Производство работ по устройству основания из фиброармированного грунта может происходить с помощью стандартной строительной техники. В случае модернизации возведенного ранее футбольного поля достаточно срезать растительный слой старого газона и впоследствии заменить его на фиброармированный (рис. 2, 1). Конструктивная схема при этом не меняется, это можно увидеть на разрезе футбольного поля (см. рис. 2). Организация рельефа футбольного поля выполняется с учетом отвода поверхностных вод. По краям поля должны быть расположены бетонные лотки для сбора воды (рис. 2, 9). Для отвода глубинных вод предназначена система подземного дренажа, состоящая из дренажного слоя щебня (рис. 2, 4) и системы дренажных труб (рис. 2, 7).

В климатических условиях нашего региона необходимо устройство системы подогрева газона (рис. 2, 3). Основная задача систем подогрева – это функционирование футбольного поля на протяжении всего года. Также систе-

ма подогрева является эффективным технологическим решением для обеспечения требуемого микроклимата для роста травы. Стоит отметить, что наличие системы подогрева является обязательным требованием при сертификации стадиона для большинства игр, проводимых под эгидой ФИФА и УЕФА.

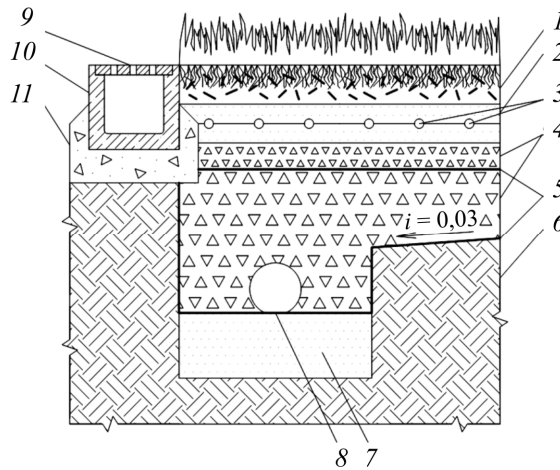


Рис. 2. Разрез футбольного поля: 1 – газон на фиброармированном основании; 2 – песчаный слой; 3 – трубы системы подогрева; 4 – дренажный слой (щебень разных фракций); 5 – геотекстиль; 6 – уплотненный грунт; 7 – песчаный слой; 8 – дренажная труба; 9 – металлическая решетка для стока воды; 10 – бетонный лоток; 11 – бетон В25

Соответствие всего сооружения международным стандартам во многом зависит от качества газона. Поэтому устройство газона на фиброармированном основании является актуальным, современным и эффективным решением.

2. Технология приготовления фиброармированной смеси

2.1. Актуальность исследований

Несмотря на доказанную эффективность фибрового армирования [4, 6–9], применение такого материала, как фиброгрунт, ограничено на территории Российской Федерации. Причиной этому является отсутствие нормативных документов и рекомендаций для осуществления строительства в полевых условиях, а также технологические проблемы, возникающие при неравномерном перемешивании грунта и волокон при подготовке армированного основания. Таким образом, подбор оптимальной технологии смешивания для приготовления фиброгрунта является одной из основных задач по его массовому внедрению в строительство. Поэтому одной из целей авторов данной работы была разработка рекомендаций по производству фиброармированной смеси.

2.2. Определение оптимального времени смешивания и дозировки фиброволокон

Экспериментальное смешивание волокон с грунтом осуществлялось с помощью стандартных строительных машин, устройств и приспособлений. В качестве наполнителя был использован мелкий однородный песок. Плотность песка составила 1500 кг/м^3 , влажность песка $w = 7 \%$. Гранулометрическая кривая приведена на рис. 3. В качестве армирующих элементов использовались полипропиленовые волокна, длина которых составила 12 мм (рис. 4).

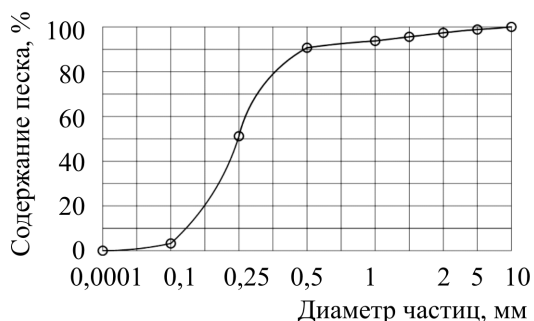


Рис. 3. Гранулометрическая кривая песка



Рис. 4. Песок и волокна полипропилена, примененные в исследовании

В качестве экспериментальной модели смесительной установки для приготовления фиброармированного грунта было принято использовать бетоно-смеситель гравитационного действия марки НСМ-650 (рис. 5). Загрузка песка, фиброволокон, а также их рассеивание осуществлялась вручную.

Первый эксперимент проводился с целью выявления оптимального времени смешивания определенного количества фиброволокон и песка. Для первого эксперимента дозировка фиброволокон и веса песка варьировалась от 0,25 до 0,5 % от массы сухого песка.

Смешивание происходило с паузами периодом 3–4 мин для выявления оптимального времени смешивания и дозировки фиброволокон и песка. Оптимальное время смешивания составило 10 мин для 16 кг песка и 40 г фиброволокон, что соответствует 0,25 % концентрации армирования. Результат смешивания представлен на рис. 6. Как можно увидеть на фотографии, фиброволокна хорошо перемешались с песком, смесь однородна.



Рис. 5. Бетоносмеситель марки НСМ-650, принятый в качестве экспериментальной модели смесительной установки



Рис. 6. Результат эксперимента определения оптимального времени смешивания и дозировки

2.3. Сравнение методов приготовления фиброармированной смеси: последовательный и одновременный метод смешивания

Второй эксперимент заключался в сравнении двух методов смешивания при использовании большего объема материала – последовательного и одновременного.

При последовательном методе смешивание песка и фиброволокон осуществлялось в несколько этапов с поочередным добавлением порций материалов через определенные промежутки времени (таблица). Вес фиброволокон и время смешивания принимались на основании результатов первого эксперимента. В общей сложности к 48 кг песка было добавлено 120 г фиброволокон, что соответствует 0,25 % концентрации.

При одновременном методе загрузка всех материалов осуществлялась за один этап с последующим перемешиванием. Общая масса песка составила 80 кг, волокон – 200 г, что соответствует 0,25 % содержанию фиброволокон. Подробное сравнение методов приведено в таблице.

Сравнение методов приготовления фиброармированных смесей

Этап	Методы смешивания					
	Последовательный метод			Одновременный метод		
	Масса песка, кг	Концентрация фиброволокон, %	Длительность смешивания, мин	Масса песка, кг	Концентрация фиброволокон, %	Длительность смешивания, мин
1	16	0,25	10	80	0,25	20
2	16	0,5	10			
3	32	0,25	10			
4	32	0,375	10			
5	48	0,25	10			

На первом этапе последовательного метода в смесительную установку гравитационного действия были загружены материалы: 16 кг песка и 40 г фиброволокон, что соответствует 0,25 % содержанию волокон. В результате первого этапа, спустя 10 мин смешивания, при последовательном методе фиброармированная смесь получилась однородной (рис. 7).

На втором этапе в готовую смесь было добавлено дополнительно 0,25 % фиброволокон, что соответствовало 0,5 % (80 г волокон на 16 кг песка). В результате повторного 10-минутного смешивания были замечены комки фибры – фиброармированная смесь размешалась хуже (рис. 8).



Рис. 7. Результат первого этапа последовательного метода смешивания (0,25 % концентрация фиброволокон)



Рис. 8. Результат второго этапа последовательного метода смешивания (0,5 % концентрация фиброволокон)

Во время третьего этапа было добавлено 16 кг песка, в итоге концентрация фиброволокон вновь составила 0,25 % (80 г волокон на 32 кг песка). В результате, спустя 10 мин смешивания, фиброволокна равномерно размешались с песком (рис. 9).

На четвертом этапе была добавлена еще одна порция – 40 г фиброволокон, что соответствовало 0,375 % содержанию фибры в песке. В результате этого фиброволокна хорошо перемешались с песком (см. рис. 10).

На заключительном этапе было добавлено 16 кг песка, что, в конечном счете, составляло 0,25 % содержания фиброволокон в смеси. Спустя 10 мин заключительного смешивания смесь получилась однородной (рис. 11).

Наличие локальной концентрации волокон на втором этапе (см. рис. 8) говорит о том, что концентрации армирования 0,5 % и выше препятствует получению однородной смеси. Решением этой проблемы может стать рассеивание фиброволокон в специальной установке. В целом результат эксперимента оценивается как положительный, фибра хорошо перемешалась с песком, была получена однородная смесь.



Рис. 9. Результат третьего этапа последовательного метода смешивания (0,25 % концентрация фиброволокон)



Рис. 10. Результат четвертого этапа последовательного метода смешивания (0,375 % концентрация фиброволокон)

Во время фиксирования результатов этапов эксперимента было замечено, что фиброармированный песок не осыпается с ковша (см. рис. 7–11), в отличие от неармированного. Это обусловливается наличием у фиброармированного песка удельного сцепления [4, 6].

Одновременный метод предполагал загрузку материалов в смесительную установку гравитационного действия в количестве 80 кг песка и 200 г фиброволокон, что соответствовало 0,25 % концентрации. Смесительный процесс продолжался 20 мин.

Спустя 20 мин в фиброармированной смеси присутствовало небольшое количество неразмешанных волокон (рис. 12). Возможно, что предварительное рассеивание позволило бы избежать данную проблему. По итогам этого этапа эксперимента можно сделать вывод, что последовательное увеличение загрузки материалов позволяет получить фибропесчаную смесь лучшего качества по сравнению с одновременной загрузкой большого количества материалов.



Рис. 11. Результат пятого этапа последовательного метода смешивания (0,25 % концентрация фиброволокон)



Рис. 12. Результат одновременного метода смешивания

Подводя итоги, отметим, что к достоинствам одновременного метода смешивания можно отнести более высокую производительность по сравнению с последовательным методом. Но при этом в некоторой степени снижается качество фиброармированной смеси, что выражается в наличии небольшого количества неразмешанных фиброволокон. Проблема может быть решена путем использования специальной установки для предварительного рассеивания фиброволокон, что, кроме всего прочего, повысит производительность приготовления фиброармированной смеси. Таким образом, результаты экспериментов доказывают, что приготовление фиброармированной смеси возможно с помощью стандартного строительного оборудования. Повысить производительность процедуры смешивания также может конвейерное производство.

Для повышения качества фиброармированной смеси и увеличения производительности авторами предложена схема конвейерного производства (рис. 13). В смесительную установку гравитационного действия в вертикальном положении (рис. 13, 2) происходит загрузка песка и фиброволокон через лоток (рис. 13, 3). В лоток для подачи материалов в смесительную установку с помощью конвейеров (рис. 13, 5) подается песок (рис. 13, 6) и фиброволокна

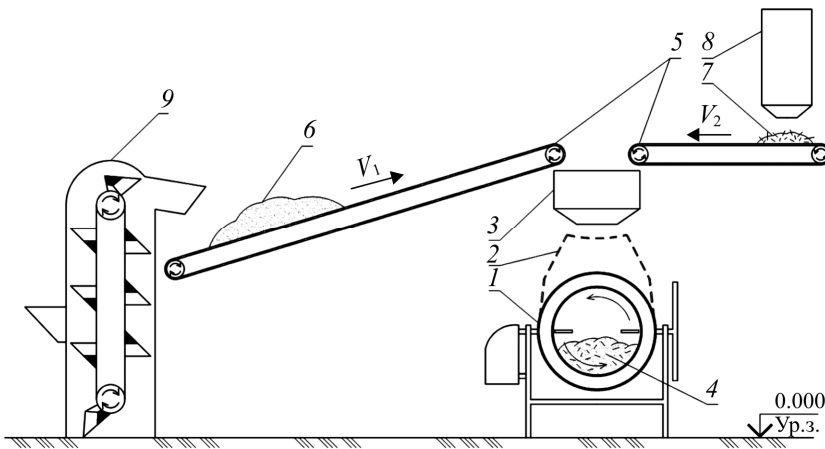


Рис. 13. Схема конвейерного производства фиброармированной смеси:
 1 – смесительная установка в горизонтальном положении; 2 – смесительная установка в вертикальном положении; 3 – лоток для подачи материалов в смесительную установку; 4 – готовящаяся фиброармированная смесь; 5 – условно принятые конвейеры; 6 – песок; 7 – рассеянные фиброволокна; 8 – установка рассеивания и подачи фиброволокон; 9 – вертикальный ковшовый элеватор

(рис. 13, 7). Перед подачей на конвейер фиброволокна проходят этап рассеивания в специальной установке рассеивания и подачи фиброволокон (рис. 13, 8). Подача песка на конвейер осуществляется с помощью вертикального ковшового элеватора (рис. 13, 9). Смесительная установка гравитационного действия возвращается в горизонтальное положение (рис. 13, 1) и происходит смешивание фибропесчаной смеси (рис. 13, 4) до следующей подачи материала. На схеме V_1 – скорость подачи условной единицы объема песка в смесительную установку; V_2 – общая скорость подачи условной единицы объема фиброволокон, в которую входят этапы рассеивания фиброволокон в специальной установке, транспортировка фиброволокон на конвейер и в лоток для подачи материалов в смесительную установку.

Выводы

По результатам проведенного анализа литературы и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Устройство фиброармированного газона – перспективное решение для современных стадионов, ипподромов и прочих спортивных сооружений и площадок, предполагающих натуральное покрытие.

2. Актуальной задачей является разработка рекомендаций по приготовлению и применению фиброармированной смеси в строительстве на территории Российской Федерации.

3. Приготовление фиброармированной смеси технически реализуемо и возможно с применением стандартного строительного оборудования, в частности с помощью бетонных смесителей гравитационного действия.

4. Увеличение производительности производства фиброгрунта может быть достигнуто путем внедрения конвейерного производства, а также разработки специальных установок, включающих в себя устройства для автоматизированной подачи и рассеивания волокнистых материалов.

Список литературы

1. Куйбышев В.В. Крытые стадионы: назначение, классификация, устройство. – М.: Стройиздат, 1973. – 200 с.

2. Fibresand International // About Fibresand International. – URL: <http://www.fibresand.com/about> (дата обращения: 17.04.2017).

3. Игошева Л.А., Гришина А.С. Обзор основных методов укрепления грунтов основания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 2. – С. 5–21.

4. Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г., Пономарев А.Б. Исследование прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипро-

пилена // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 44–55.

5. Fibresand International // Fibresand International Projects: First Order of the Year for Fibresand. – URL: <http://www.fibresand.com/projects/first-order-of-the-year-for-fibresand> (дата обращения: 17.04.2017).

6. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Лабораторные исследования прочностных характеристик фиброармированного песка различной степени водонасыщения // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 6. – С. 127–132.

7. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. – 2012. – № 30. – С. 101–116.

8. Гришина А.С., Смирнов Р.С., Пономарев А.Б. Оценка эффективности работы подпорной стены с обратной засыпкой из фиброармированного грунта по модельным испытаниям // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 2. – С. 126–132.

9. Гришина А.С., Смирнов Р.С., Пономарев А.Б. Особенности приготовления фиброгрунтовых смесей для армирования грунта // Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений: сб. тр. всерос. науч.-техн. конф. по геотехнике / СПбГАСУ. – СПб., 2017. – С. 286–291.

Получено 16.11.2017

Смирнов Роман Сергеевич – магистрант, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: smirnov_roman@inbox.ru.

Гришина Алла Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Строительное производство и геотехника», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: koallita@yandex.ru.