

Исследования геосинтетических материалов на физических моделях элементов конструкций грунтовых гидротехнических сооружений

Сольский С. В.¹, доктор техн. наук, главный научный сотрудник,
Захарова С. А.², младший научный сотрудник (лаборатория “Фильтрационные исследования” им. акад. Н. Н. Павловского АО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”),
Афонин П. В.³, технический директор,
Наумов В. В.⁴, кандидат техн. наук, зам. технического директора (ООО “ТЕРАТЕКС”)

Настоящая статья посвящена вопросу применения геосинтетических материалов (ГСМ) в гидротехническом и гражданском строительстве. На основании практического опыта описаны особенности проведения специализированных лабораторных испытаний для определения показателей качества ГСМ и осуществления выбора наиболее подходящего материала для решения проектных задач, исходя из эффективности работы ГСМ в составе элемента конструкции грунтового ГТС.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, грунтовые сооружения, лабораторные испытания, геокомпозит, физическое моделирование.

The research of geosynthetic materials on physical models of structural elements of ground hydraulic engineering constructions

Solskiy S. V.¹, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher,
Zakharova S. E.², Junior Researcher (Laboratory “Filtration Studies” named after Professor N. N. Pavlovskiy, JSC “Vedeneev VNIIG”),
Afonin P. V.³, Technical Director,
Naumov V. V.⁴, Deputy of Technical Director (LLC “Teratex”)

This article is dedicated to the issue of using geosynthetic materials in hydraulic engineering and civil engineering. Here are described the features of the conducting of specialized laboratory tests to determine the quality parameters of the geosynthetic materials. The descriptions are based on the practical experience. The results of these tests help to select the most suitable material for solving design tasks based on the efficiency of the geosynthetic materials as part of a structural element of a ground hydraulic engineering constructions.

Keywords: geosynthetic materials, ground constructions, laboratory tests, geocomposite, physical modeling.

Расширение области применения геосинтетических материалов (ГСМ) в сфере гидротехнического строительства сопровождается появлением инновационных рулонных материалов с различными физико-механическими характеристиками.

Геосинтетический материал (ГСМ) — изделие из синтетических или природных полимеров, или неорганических веществ, контактирующее с грунтом и (или) другими материалами; применяемое в строительстве и предназначенное для выполнения различных геотехнических функций, таких как армирование, дренирование, защита, борьба с эрозией поверхности, разделение, фильтрация, гидроизоляция [1].

Геосинтетические материалы включают следующие виды материалов: геоматы, геомембраны, георешётки, геосетки, геотекстили, геосоты, геополосы, глиноматы, геокомпозиты и т.д.

При разработке технических условий (ТУ) для производства конкретного ГСМ учитывается набор конкретных и конечных требований к технологии его укладки и условий работы, которым он должен соответствовать. На практике зачастую возникают случаи, когда обеспечить данные технологии и условия либо невозможно, либо крайне затратно. В таком случае возникают альтернативные предложения по изменению технологий или условий работы, не противоречащие по принципиальным положениям, заданным в ТУ, но не имеющие нормативного или практического подтверждения возможности применения и эффективности работы конкретного ГСМ. По этой причине появляется необходимость экспериментального подтверждения использования ГСМ в заданных проектных условиях.

¹ solsky@yandex.ru

² zakharovasa@vniig.ru

³ apv@teratexgeo.ru

⁴ nvv@teratexgeo.ru



Рис. 1. Эксплуатируемые гидротехнические сооружения с гидроизоляционным ПФЭ, содержащим ГСМ

Геосинтетические материалы в составе конструкций элементов грунтовых сооружений испытывают ряд различных нагрузок и разрушающих факторов как в период строительства, так и в период эксплуатации. К основным нагрузкам на геосинтетические материалы можно отнести нагрузки, приводящие к деформации материала, к которым можно отнести нагрузки от внешнего давления на ГСМ (столба воды, грунта, транспортных средств и др.), сдвиговые нагрузки, а также длительные факторы воздействия (облучение ультрафиолетом, естественное старение, повторяющиеся циклы сезонного замораживания и оттаивания) (рис. 1). Поэтому необходимо учитывать перечисленные выше факторы при выборе геосинтетических материалов для грунтовой строительной конструкции, а, следовательно, и обоснованно задавать исходные данные для проектируемых объектов.

Проверить изменение характеристик материала при проектных нагрузках, действующих на ГСМ, позволяют экспериментальные исследования. Поскольку условия работы ГСМ могут существенно отличаться от типовых, заложенных в технические условия по их производству, то для этих обоснований зачастую недостаточно стандартных, нормированных на сегодняшний день исследований.

Для обеспечения выполнения нестандартных исследований ГСМ необходимы соответствующие как методики и оборудование, так и нормативно-методические документы. Такие специализированные лабораторные исследования геосинтетических материалов предполагают определение не только их исходных/паспортных характеристик, но и проведение физического моделирования на моделях конкретных элементов гидротехнических сооружений с геосинтетиками при закладываемых проектных нагрузках. Методик проведения таких

испытаний для многих видов ГСМ в настоящее время не существует.

Также следует отметить, что при проектировании грунтовых сооружений, включающих ГСМ, необходимо учитывать положения, изложенные в СП 39.13330.2012 и СП 23.13330.2018, которые регламентируют необходимость обоснования таких решений результатами расчётных, лабораторных и полевых исследований.

При этом лабораторные исследования должны проводиться на физических моделях элементов конструкций грунтовых гидротехнических сооружений (ГТС) при моделировании проектных нагрузок, действующих на расположенный между слоями грунтового материала ГСМ, а полевые — на опытных полигонах для испытаний элементов конструкций грунтовых ГТС и технологических операций по укладке ГСМ в конструкцию при нагрузках, максимально приближенных к строительным и эксплуатационным, предусмотренных проектом [1, 2].

Следует отметить, что расчётные характеристики ГСМ для ГТС III, IV классов допускается принимать по объектам-аналогам. А расчёт конструкций с элементами ГСМ должен выполняться с учётом требований, предъявляемых к расчёту соответствующего элемента плотины и раздела 9 СП 39.13330.2012.

На сегодняшний день геосинтетические материалы производят по различным технологиям, при этом они могут состоять как из одного, так и из нескольких слоев в виде композитов. Более того, некоторые геокомпозиты могут состоять из слоев совершенно разных материалов, к примеру, состоять из геомембраны, геотекстиля, георешётки и т.п. (рис. 2). Следовательно, невозможно иметь один универсальный метод для определения физико-механических показателей различных ГСМ — мето-

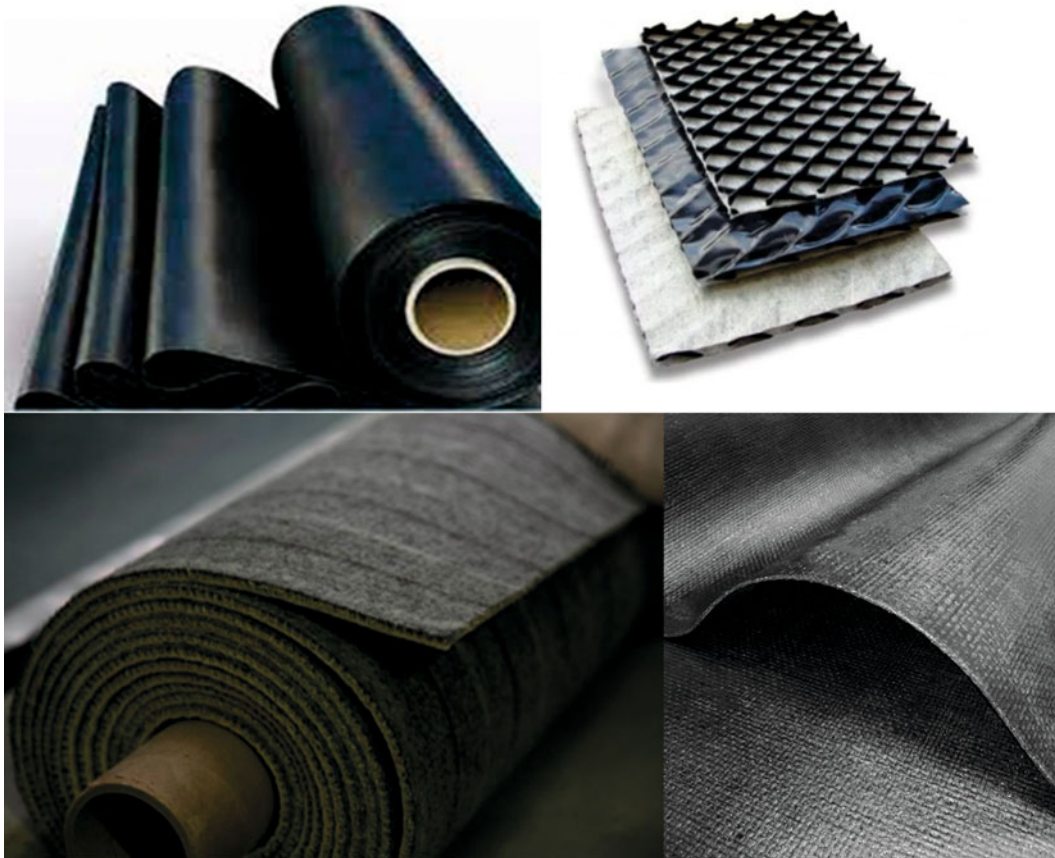


Рис. 2. Варианты ГСМ (бentonитовый мат, геомембрана и геокomпозит) различной структуры, при этом выполняющие в конструкции ГТС единую функцию — гидроизоляции

ды испытаний должны быть адаптированы к виду ГСМ, его структуре и функции в сооружении.

На основании требований п. 4.20 СП 39.13330.2012, необходимо подчеркнуть важность подбора подходящих методик определения свойств ГСМ, а также важность выполнения моделирования работы элемента строительной конструкции, содержащей в своем составе геосинтетик, учитывая его функциональное назначение, нагрузки и воздействия на ГСМ в сооружении.

К примеру, наличие слабых грунтов в зоне укладки ГСМ и воздействие на материал массы грунтов/складируемых материалов высотой в 20 – 30 м (порядка 50 т грунта на 1 м²) и более, способствует возникновению разрывных нагрузок, которые не способны выдержать гидроизолирующие материалы, характеризующиеся прочностью, не превышающей 80 кН/м (8 т на 1 м²). Следовательно, важно обращать внимание на достаточность геологических изысканий (наличие в массиве просадочных грунтов, зон слабых грунтов — сильносжимаемых и насыщенных водой), возможность появления провалов и линз при подготовке основания при необходимости дополнительно применять армирующие ГСМ с соответствующими разрывными характеристиками.

Применение грунтовых конструкций выполненных с использованием комбинации из геосинтетических материалов с различным функциональным назначением способно решить данные проблемы.

При проектном обосновании грунтовой конструкции, содержащей ГСМ, необходимо выбирать оптимальные методики для лабораторных испытаний и с их использованием определять расчётные физико-механические характеристики материалов.

Проиллюстрировать возможность таких лабораторных исследований можно на примере работы, выполненной в лаборатории “Фильтрационные исследования” им. акад. Н. Н. Павловского АО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”, в рамках которой были исследованы различные свойства геокomпозита “Каплам” производства ООО “Тератекс”.

В ходе работы были определены стандартные физико-механические характеристики геокomпозита “Каплам” заявленной толщиной 500 мкм (производства ООО “Тератекс”) по методикам испытаний геомембран, среди которых были: определение прочности на разрыв, водонепроницаемости, сопротивления статическому продавливанию, сопротивления раздиру, определение устойчивости к ультрафиолету. Далее проводилось сравнение характеристик данного материала с нормативными показателями качества гладких полиэтиленовых

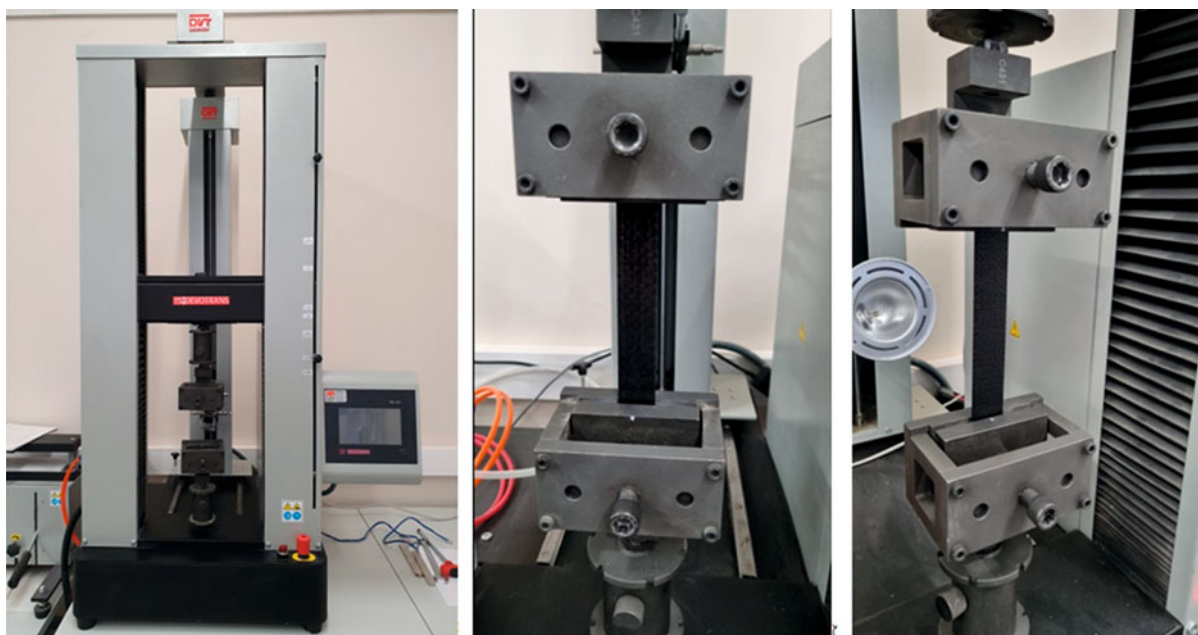


Рис. 3. Образцы материала “Каплам” в процессе испытания при растяжении в испытательной разрывной машине GP 10 DLC

геомембран. По результатам лабораторных работ можно отметить несколько особенностей испытанного геокомпозиата “Каплам 500”.

Испытание по определению прочности на разрыв (испытание при растяжении) выполнено согласно требованиям ГОСТ 11262-2017 “Пластмассы. Метод испытания на растяжение”. Для проведения данного испытания подготовлены образцы ГСМ, вырезанные определенной формы и размера. Образцы могут быть трёх типов согласно ГОСТ 11262 (табл. 2, 3). Если испытанию на растяжение подвергается стандартная геомембрана, то рекомендуется вырезать образцы для испытания типа 1; а если прочность при растяжении определяется для геокомпозиата, то рекомендуется использовать образцы для испытания типа 3 по ГОСТ 11262. Учитывая особенности слоеной (армированной) структуры материала геокомпозиата “Каплам 500”, для

испытания при растяжении были подготовлены образцы типа 3 [3].

При проведении лабораторного испытания образец ГСМ растягивают вдоль его оси с постоянной скоростью, в процессе растяжения измеряют нагрузку и удлинение образца непрерывно или в момент достижения предела текучести, максимальной нагрузки, разрушения образца и определяют заданные показатели (прочность при растяжении; предел текучести; относительное удлинение при разрыве) (рис. 3).

Условия приложения нагрузки при проведении испытаний по определению прочности при растяжении гидроизоляционных геокомпозиатов “Каплам” целесообразно выбирать с учётом скорости прогнозируемых на сооружении деформаций. Испытания выполнены в разрывной машине при 2-х разных скоростях: 1 мм/мин; 50 мм/мин (что соот-

Таблица 1

Некоторые характеристики гидроизоляционного геокомпозиата “Каплам 500” [5], заявленные производителем и определённые во ВНИИГ, а также требования к характеристикам геомембран HDPE по ГОСТ 56586-2015 [4]

Наименование лабораторного испытания	Заявленные характеристики “Каплам 500”	Определённые ВНИИГ характеристики “Каплам 500”	Геомембрана HDPE 0,75 мм ГОСТ 56586	Геомембрана HDPE 1,0 мм ГОСТ 56586
Толщина, мкм, согласно ГОСТ Р 56586	500	420	750	1 000
Прочность при растяжении (вдоль/поперек), при скорости 50 мм/мин, кН/м, согласно ГОСТ 11262	45/40	34/28	20	27
Прочность при растяжении (вдоль/ поперек), при скорости 1 мм/мин, кН/м, согласно ГОСТ 11262	-	23/22	-	-
Относительное удлинение (вдоль/поперек), %, согласно ГОСТ 11262	20	21/19	700	

Этапы проведения физического моделирования воздействия контактных грунтовых слоев на геocomпозит “Каплам 500” при ожидаемых проектных нагрузках в конструкции ПФЭ с оценкой гидроизоляционных свойств материала после моделирования

	
<p>Образцы геocomпозитного материал “Каплам 500”, подготовленные к физическому моделированию</p>	<p>Этап укладки щебня фракции ≤ 30 мм в испытательную камеру</p>
	
<p>Вид образца “Каплам 500” после снятия пригрузочного слоя крупнозернистого песка</p>	<p>Общий вид установки. Образец ГСМ под нагрузкой в прессе ПСУ-50</p>
	
<p>Процесс укладки образца геocomпозитного материала “Каплам 500” в рабочую камеру фильтрационно-компрессионной установки</p>	<p>Фильтрационно-компрессионная установка, соответствующая по своей конструкции схеме п. 3.11 ГОСТ 2678–94, в процессе проведения испытания на водонепроницаемость</p>

ветствует ГОСТ 11262-2017). Полученный результат показывает, что значения показателя прочности при растяжении зависят от скорости раздвижения зажимов разрывной машины в ходе испытаний. Более высокие показатели получены при скорости 50 мм/мин. Данные значения показателя прочности при растяжении и толщины материала “Каплам 500” приведены в табл. 1 в сравнении с аналогичными нормативными характеристиками гладких полиэтиленовых геомембран по ГОСТ 56586-2015 [4].

Анализируя полученные данные табл. 1, можно заключить, что толщина образцов геокомпозита “Каплам 500”, определенная в лаборатории согласно ГОСТ Р 56586, находится в допустимых пределах, установленных производителем.

Установлено, что значения величины прочности при растяжении, полученные для образцов геокомпозита “Каплам 500”, отобранных в продольном и поперечном направлении полотна материала, несколько ниже заявленных производителем (ООО “Тератек”). Возможно, полученные расхождения связаны с различием методик испытаний. В то же время, значения величины прочности при растяжении, полученные для образцов геокомпозита “Каплам 500”, значительно выше, чем их нормативные значения для гладких полиэтиленовых геомембран HDPE аналогичной толщины (таблица 1, ГОСТ 56586-2015). Величина прочности при растяжении геокомпозита “Каплам 500” толщиной около 0,5 мм имеет значение близкое к нормативному показателю прочности при растяжении гладкой полиэтиленовой геомембраны HDPE толщиной 1 – 1,25 мм.

Нормативный показатель относительного удлинения гладкой полиэтиленовой геомембраны HDPE для всех представленных в ГОСТ 56586 толщин одинаковый и составляет 700 %, что на несколько порядков выше значений, полученных для испытанного геокомпозита “Каплам 500”. Значительное отличие полученных величин данного показателя обусловлено тем, что в отличие от геомембран HDPE, геокомпозиты “Каплам 500” имеют армированную плетеную структуру, которая увеличивает прочностные свойства материала, но при этом снижает значение показателя относительного удлинения. Данную особенность материала следует учитывать при проектировании сооружений с элементами строительных конструкций, выполняемыми из геокомпозита “Каплам 500”.

Другой особенностью проведенного исследования характеристик геокомпозита “Каплам 500” является опыт по моделированию работы проектируемого элемента строительной конструкции, содержащей в своём составе геокомпозит “Каплам” и учитывающий его функциональное назначение (гидроизоляционный слой ПФЭ), нагрузки и воздействия на ГСМ в сооружении. Целью являлось

исследование сохранения гидроизоляционных свойств материала “Каплам 500” после физического моделирования воздействия контактных грунтовых слоев при ожидаемых проектных нагрузках.

Физическое моделирование воздействия контактных грунтовых слоев на противофильтрационный элемент конструкции ГТС IV класса ответственности, содержащий в своем составе материал “Каплам 500”, выполняли при ожидаемой проектной нагрузке: максимальное значение высоты сооружения над ПФЭ $h = 9$ м, плотность складированных материалов принята $\rho = 3$ г/см³. Физическое моделирование проведено в 6-кратной повторности на шести образцах ГСМ. Основные этапы физического моделирования приведены в табл. 2.

При выполнении моделирования выполняли послойную укладку материалов, формирующую конструкцию “подстилающий слой из щебня фракции ≤ 30 мм — геокомпозит “Каплам 500” — крупнозернистый песок”. Сверху на слой крупнозернистого песка укладывали прижимной диск для перераспределения нагрузки от домкрата на испытываемую конструкцию. Испытательную камеру с послойно уложенной в неё испытываемой конструкцией устанавливали в пресс ПСУ-50 и пригружали сверху с помощью домкрата ДУ10П150, следя за показаниями динамометра с целью достижения и удерживания заданной нагрузки в 2,7 кг/см² (3,44 кН), соответствующей предельной нагрузке при принятых значениях высоты и плотности складирования.

Моделирование нагрузки в сооружении выполняли в течение 3 сут. После чего образцы извлекали и проводили их внешний осмотр на наличие деформаций. Образцы ГСМ после проведения моделирования были испытаны на водонепроницаемость согласно п. 3.11 ГОСТ 2678–94 в течение установленного времени (24 ч) при заданном давлении (0,3 МПа) [7]. В результате испытания на водонепроницаемость пять из шести испытанных образцов “Каплам 500” выдержали испытания и являлись водонепроницаемыми, один из шести испытанных образцов не выдержал испытания и являлся водопроницаемым (зафиксировано образование капель фильтрата воды на поверхности испытанного образца).

На основании проведенных исследований сделан вывод, что геокомпозит “Каплам 500”, созданный из тканного полиэтиленового полотна различной прочности и слоя полиэтиленовой ламинации, нанесённого с двух сторон, можно отнести к виду “геомембраны” согласно п. 4 ГОСТ 32804-2014 [8], которая может выполнять функции гидроизоляции в конструкциях плотин и дамб из грунтовых материалов в соответствии с Приложением Р СП 39.13330.2012 после соответствующего лаборатор-

ного обоснования устойчивости к проектным нагрузкам (п. 4.20 СП 39.13330.2012).

В результате проведённых лабораторных испытаний были даны следующие рекомендации по применению исследуемого ГСМ.

С учётом указаний раздела 11 СП 81.13330.2017 [9], при размере фракции частиц грунта основания меньше 10 мм материал “Гидроизоляционный геокompозит Karlam (Каплам) 500” можно укладывать непосредственно на подготовленное основание. Если же фракция частиц грунта больше 10 мм, необходимо предусмотреть укладку на грунт основания дополнительной защитной прокладки из геотекстиля средней или высокой плотности, устойчивой к продавливанию.

Производить укладку материала “Гидроизоляционный геокompозит Karlam (Каплам) 500” непосредственно на подготовленное основание, содержащее неокатанные частицы грунта ≥ 10 мм, не допускается.

В обязательном порядке следует предусмотреть укладку защитного слоя из грунта, который следует отсыпать непосредственно за укладкой материала “Гидроизоляционный геокompозит Karlam (Каплам) 500”.

Использование в качестве материала защитного слоя грунтов с крупнозернистыми частицами неокатанной формы не допускается.

Выводы

1. Заявленные производителем технические характеристики ГСМ должны подтверждаться результатами лабораторных испытаний, а расчётные параметры ГСМ должны быть определены на физических моделях элементов конструкций грунтовых гидротехнических сооружений (ГТС) при моделировании проектных нагрузок, действующих на расположенный между слоями грунтового материала ГСМ, а также на опытных полигонах для испытаний элементов конструкций грунтовых ГТС и технологических операций по укладке ГСМ в конструкцию при нагрузках, максимально приближенных к строительным и эксплуатационным, предусмотренных проектом.

2. Большой ассортимент геосинтетических материалов, представленных на рынке и применяемых в различных строительных конструкциях, дик-

тует необходимость разработки концептуального подхода, дающего возможность определять показатели качества ГСМ, осуществлять выбор наиболее подходящего материала для решения задач в гидротехническом и гражданском строительстве, исходя из эффективности их работы в качестве элемента конструкции.

3. В лаборатории “Фильтрационные исследования” имени академика Н. Н. Павловского АО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева” сделаны первые шаги для решения этих задач.

Соблюдение этических норм

Вклад авторов: в данном исследовании разработаны методики испытания геокompозитных геосинтетических материалов в лаборатории “Фильтрационные исследования” им. акад. Н. Н. Павловского, АО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”. Авторы 1 и 2 являются сотрудниками данной лаборатории. Методики были апробированы на материалах геокompозита “Каплам” производства ООО “Тератекс”. Авторы 3 и 4 являются сотрудниками ООО “Тератекс”.

Финансирование: методики испытания геокompозитных геосинтетических материалов апробированы в АО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева” в рамках выполнения работ по договору № 7-ВН-1764 и договору-счёту № 1406Р/7-ВН-1909. Финансирование перечисленных работ получено от ООО “Тератекс”.

Конфликт интересов: авторы не заявляют о каких-либо конкурирующих финансовых или нефинансовых интересах, имеющих отношение к содержанию данной статьи.

Список литературы

1. *СП 39.13330.2012* Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* (с Изменениями № 1, 2, 3).
2. *СП 23.13330.2018* Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85 (с Изменением № 1).
3. *ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012)* Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
4. *ГОСТ Р 56586-2015* Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия (Переиздание).
5. *СТО 24834307.011-2021* Геокompозит гидроизоляционный “Каплам” Технические условия.
6. *СП 58.13330.2019* Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003 (с Изменением № 1).
7. *ГОСТ 2678-94* Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний (с Изменением № 1).
8. *ГОСТ 32491-2013* Материалы геосинтетические. Метод испытания на растяжение с применением широкой ленты.
9. *СП 81.13330.2017* Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 3.07.03 – 85.