



УДК 622.794

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ И ГЕОТЕКСТИЛЕПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Калашников В.А., Горбачев А.В.

АО «СУЭК-Кузбасс»

### Аннотация.

В настоящее время в Кузбассе добывается около 60% всего отечественного угля. Это делает регион достаточно неблагоприятным в плане нагрузки на природные ресурсы и экологию. В настоящее время в Кузбассе функционирует около 100 угольных шахт и разрезов, а также 54 обогатительные фабрики и установки. Объемы шахтного и карьерного водоотлива составляют более 810 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (около 300 км<sup>3</sup>/год).

Помимо растворенных веществ и частиц породы, в сточных шахтных водах и отходах обогатительных фабрик, обезвоживаемых в шламонакопителях, радиальных сгустителях и пресс-фильтрах, содержится значительное количество мелкодисперсных частиц угольного шлама. Большие объемы угольного шлама представляют интерес с экономической точки зрения как источник получения прибыли из потенциального сырья, являющегося, по сути, отходом горного производства. В то же время, параметры данного техногенного сырья (technogenic raw materials) – в частности, высокая влажность, и как следствие, сложность погрузки и транспортировки до конечных потребителей, а также несоответствие его требованиям самих потребителей – не позволяют оперативно и в полной мере его использовать. В данной статье приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований по обезвоживанию угольного шлама с применением низкочастотной технологии. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать предварительный прогноз о возможности использования геотекстилеподобных материалов для обезвоживания угольного шлама с его потенциальным дальнейшим использованием.

### Информация о статье

Принята 24 ноября 2018 г.

**Ключевые слова:** геотекстиль, фильтрация, оболочечная конструкция, обезвоживание шлама, угольный шлам, отходы углеобогащения.

## SOME RESULTS OF PILOT TESTS OF SHELL FILTER CONSTRUCTIONS MADE OF GEOTEXTILE AND GEOTEXTILE-LIKE MATERIALS

Valentin A. Kalashnikov, Anton V. Gorbachev

JSC “SUEK-Kuzbass”

### Article info

Received November 24, 2018

**Keywords:** geotextiles, filtration, shell construction, sludge dewatering, coal slurry, coal preparation waste.

### Abstract.

Currently, about 60% of all domestic coal is mined in Kuzbass. This makes the region quite unfavorable in terms of pressure on natural resources and the environment. Currently, there are about 100 coal mines and cuts in the Kuzbass, as well as 54 beneficiation plants and installations. Volumes of mine and quarry drainage amount to more than 810 thousand m<sup>3</sup> / day (about 300 km<sup>3</sup> / year).

In addition to solutes and rock particles, mine wastewater and waste from concentrating plants dehydrated in sludge collectors, radial thickeners and



press filters contain a significant amount of fine particles of coal slime. Large amounts of coal slurry are of interest from an economic point of view as a source of profit from potential raw materials, which are, in fact, mining waste. At the same time, the parameters of this technogenic raw material – in particular, high humidity, and as a result, the complexity of loading and transportation to the final consumers, as well as non-compliance with the requirements of the consumers themselves - do not allow to use it fully and quickly.

This article presents some results of experimental studies on the dewatering of coal slurry using low-cost technology. The experimental data obtained allow us to make a preliminary forecast of the possibility of using geotextile-like materials for the dewatering of coal slurry with its potential further use.

### Анализ состояния вопроса

Актуальность проблемы использования отходов горных предприятий подчеркивается и экологической составляющей: уменьшение техногенной нагрузки на регион путем комплексного освоения недр с увеличением безотходной составляющей технологических процессов бесспорно улучшит сложную экологическую обстановку в Кузбассе. Это выразится в уменьшении загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферы, почвы, уменьшении землеёмкости предприятий (за счет уменьшения площадей, занимаемых очистными сооружениями). Кроме того, за счет уменьшения экологических платежей уменьшатся и расходы предприятий.

Таким образом, одной из основных целей данного исследования является выбор наиболее оптимального геотекстильного материала (с точки зрения соотношения «цена/качество») и технологической схемы обезвоживания водоугольного шлама (пульпы), образующегося в радиальном сгустителе либо имеющегося в иловых картах шламонакопителя обогатительной фабрики с целью разработки низкозатратной технологии использования шлама.

В целом, технология очистки шахтных вод от взвешенных частиц предусматривает следующие этапы:

- сбор воды в первичном отстойнике;
- отстаивание;
- очистку отстаившейся воды от растворенных веществ и неосаждаемых гравитационным способом взвесей;
- прекращение подачи шахтной воды в первичный отстойник, заполненный осадком;
- перекачку осадка в шламонакопитель.

Последний этап – достаточно трудоемкий и сложный в организационном плане процесс, сопровождаемый прекращением заполнения первичного отстойника, его осушением, последующим размывом обводненного осадка и перекачкой пульпы в шламонакопитель (рис. 1).

При использовании данной схемы в шламонакопителе образуется техногенное месторождение угля, фактически являющегося отходом при подземной угледобыче. Данный парадокс возникает из-за того, что в процессе воздействия рабочего органа добычного оборудования на угольный пласт образуется тонкодисперсная угольная пыль, которая, смешиваясь с поступающей в горные выработки водой, удаляется в процессе водоотлива из шахты, выбывая при этом из процесса добычи угля.

В то же время использование угольной массы, скапливающейся в шламонакопителе, весьма затруднительно. Это связано со значительной влажностью угольного шлама (более 20%) и крайне медленными темпами снижения влажности в шламонакопителе. Подсушенный шлам может разрабатываться в весьма ограниченных объемах по периметру шламонакопителя, поскольку ведение механизированной выемки и погрузки должно осуществляться исключительно в соответствии с федеральным законом от 21.07.1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и в соответствии с требованиями действующего трудового законодательства. Кроме того, разработка подсушенного шлама сопровождается интенсивным пылением и загрязнением почвы.

Поэтому разработка рекомендаций по обезвоживанию угольного шлама обогатительных фабрик является весьма актуальным вопросом, имеющим важное хозяйственное значение.





Рис. 1. Разрыв гидромониторами осадка шахтовой воды в первичном отстойнике для последующей перекачки в иламонакопитель.

### Обзор геосинтетических материалов

Геосинтетические материалы в настоящее время достаточно широко представлены на зарубежном и отечественном рынке. За рубежом это Tensar SS40, Secutex 301 GRK5, Terram W/20-4, Netlon CE131 и т.д. Из отечественных материалов можно отметить Апролат, Геотек, Спанбонд, различные геоткани и пр.

В общем случае геосинтетические материалы подразделяются на следующие основные типы [19, 20]:

- геотекстиль;
- георешетки;
- геосетки;
- геомембраны;
- геоячейки;
- геоматы;
- геокомпозиты.

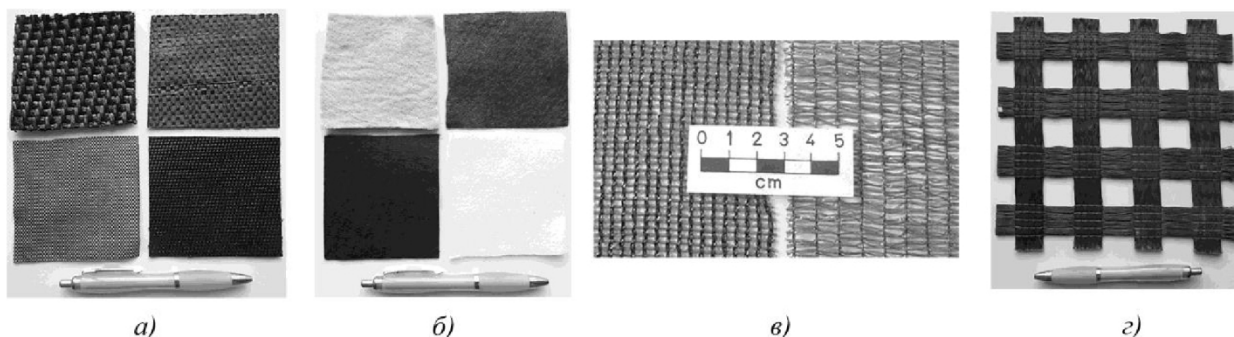


Рис. 2. Виды геотекстиля: а) тканый геотекстиль; б) нетканый геотекстиль; в) вязаный геотекстиль; г) сшитый геотекстиль



**Геотекстиль** – это плоское, проницаемое, полимерное текстильное изделие в форме гибкого листа (рис. 2). Доступные в настоящее время геотекстильные (геотекстилеподобные) материалы подразделяются на следующие категории, классифицированные по применяемому процессу их производства:

**Тканый геотекстиль** – геотекстиль, получаемый путем переплетения, обычно под прямым углом, двух или более комплектов нитей (состоящих, в свою очередь, из одного или нескольких волокон) или других элементов, с использованием обычного ткацкого технологического процесса

(рис. 2, а).

**Нетканый геотекстиль:** геотекстиль, представляющий собой рыхлое полотно из ориентированных или неориентированных волокон путем их скрепления частичным плавлением, пробиванием иглой или химическими связующими веществами (клеем, резиной, латексом, производными целлюлозы и т.д.) (рис. 2, б).

**Вязаный геотекстиль:** геотекстиль, полученный путем сплетения вместе одной или нескольких нитей (или других элементов) вязальной машиной (рис. 2, в).

**Шитый геотекстиль:** геотекстиль, в котором волокна или нити скреплены шитьем или вязкой (рис. 2, г).

**Георешетка:** это плоский полимерный продукт, состоящий из регулярно повторяемой открытой ячеистой конструкции из пересекающихся, устойчивых к растяжению элементов, называемых *ребрами*, соединенных как единое целое на стыках (рис. 3). Ребра могут быть связаны экструзией, склеиванием или переплетением; полученные при этом георешетки называются экструдированными, вязаными и ткаными георешетками, соответственно.

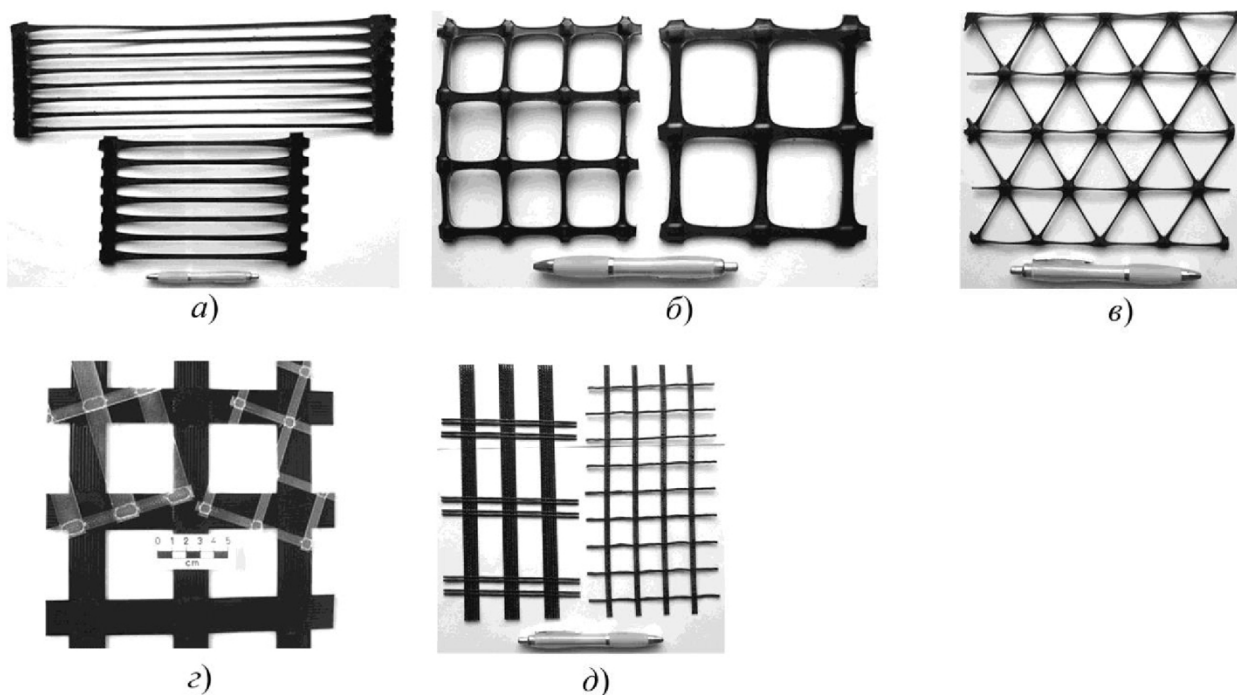


Рис. 3. Георешетки экструдированные: а) одноосные, б) двухосные, в) трехосные; клееные и плетеные: г) вязаные; д) тканые.

**Экструдированные георешетки** подразделяются на следующие три категории, основанные на направлении растяжения исходного материала при их производстве:

- одноосная георешетка: получается продольным растяжением перфорированного полимерного листа и поэтому обладает гораздо более высокой прочностью на растяжение в продольном направлении, чем в поперечном направлении (рис. 3, а);



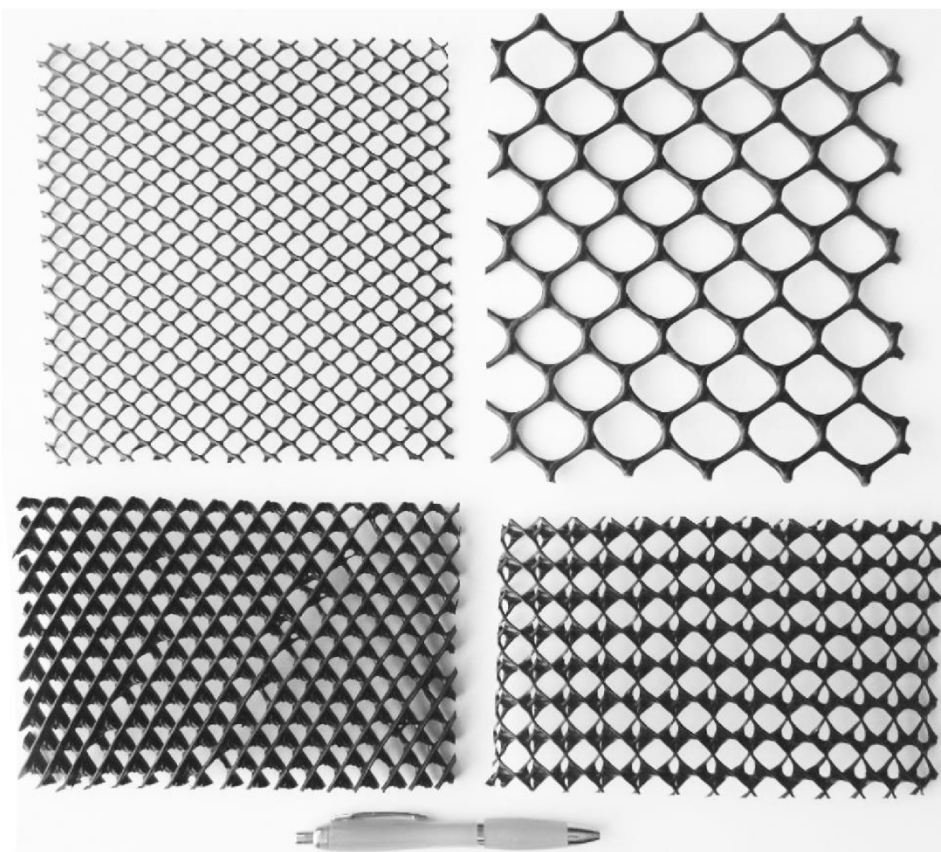


Рис. 4. Некоторые типы геосеток

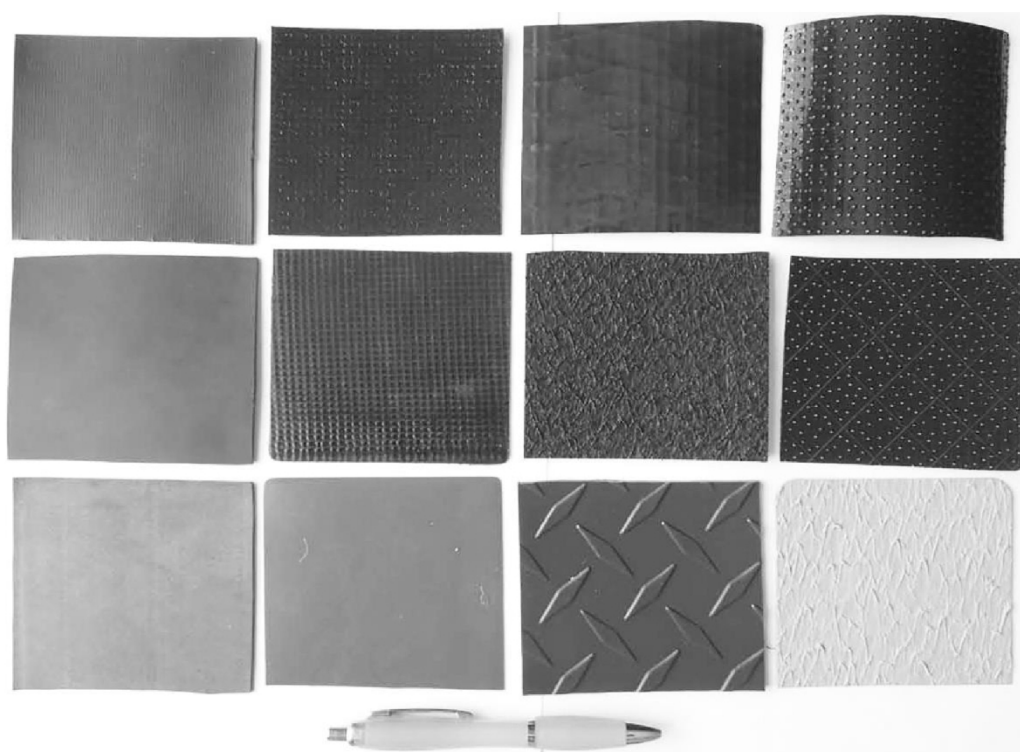


Рис. 5. Геомембраны.



- двухосная георешетка: георешетка, полученная растяжением как в продольном, так и в поперечном направлении перфорированного полимерного листа, и поэтому обладающая равной прочностью на растяжение как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис. 3, б).

- трехосная георешетка: георешетка, изготовленная равным растягиванием перфорированного полимерного листа в разных направлениях и обладающая практически равным сопротивлением к растяжению в любом направлении (рис. 3, в).

**Геосетка** – это плоский полимерный продукт, состоящий из регулярной плотной сети из соединенных между собой под разными углами различных параллельных множеств ребер (рис. 4). На первый взгляд, геосетки кажутся похожими на георешетки, но геосетки отличаются от георешеток, в основном, не материалом или конфигурации ребер, а функционалом: геосетки применяются для осуществления плоского дренажа жидкостей или газов.

**Геомембрана** (рис. 5) – это плоский, относительно непроницаемый лист, изготовленный из синтетического материала с низкой проницаемостью. Материалы геомембран могут быть полимерными, битумными или их комбинацией. Геомембраны используются в качестве барьера для контроля (изоляции или изменения направления) миграции жидкости в грунтах.

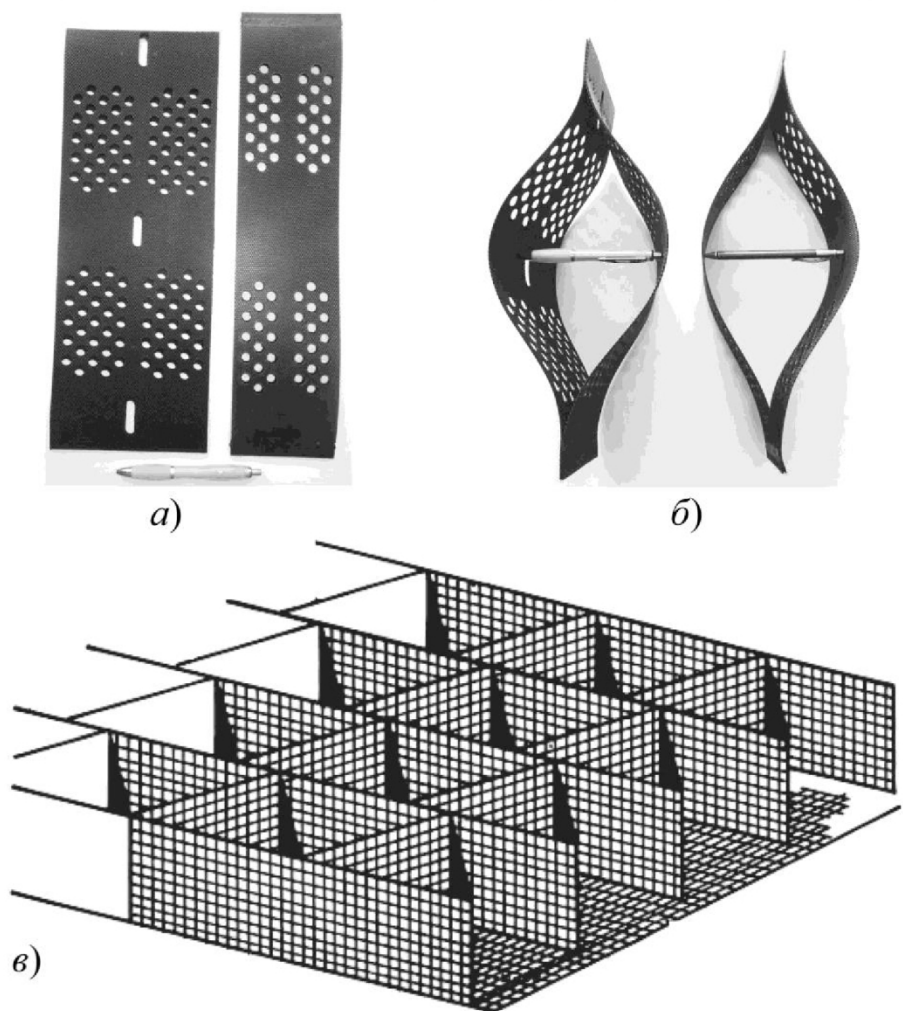


Рис. 6. Геоячейки: а, б – диафрагменные элементы, в сложенном и расправленном состоянии соответственно; в – собранная из георешеток ячеистая конструкция

**Геоячейки** – это трехмерная, проницаемая, полимерная сотовая или ячеистая конструкция, изготовленная на заводе с использованием полосок из иглопробивного полиэстера или твердого





полиэтилена высокой плотности – диафрагм (рис. 6, а, б), или собранная из георешеток и специальных муфт в виде треугольных или квадратных ячеек (рис. 6, в).



Рис. 7. Геопена (геомат)

**Геомат (или геопена)** – это легкий продукт в виде плит или блоков с высоким содержанием пустот, который применяется в основном в качестве легких заполнителей, теплоизоляторов и дренажных каналов. Он изготавливается путем распыления полужидкого полимера в с использованием пенообразователя. Типичные представители – это материалы, похожие на монтажную пену и материал, представленный на рис. 7.

**Геокомпозит:** это термин, применяемый к продукту, который собран или изготовлен в композитной форме из двух или более материалов, по крайней мере один из которых является геосинтетическим (геотекстиль, геосетка, георешетка, геомембрана или любой другой тип). В целом, геокомпозиты могут выполнять определенные функции более эффективно, чем при отдельном использовании материалов, из которых они состоят.

### Основные характеристики геосинтетиков

Геосинтетические материалы универсальны в использовании, могут использоваться в различных полевых условиях и могут сочетаться с разными строительными материалами. Они все чаще используются во многих областях гражданского строительства, в дорожном строительстве, в системах контроля поведения рыхлых грунтов и их эрозии, при ведении горных работ для достижения технических и/или экономических выгод. Быстрый рост использования геосинтетиков в последние несколько десятилетий обусловлен, в основном, следующими положительными характеристиками геосинтетиков:

- не вызывают коррозии;
- высокая устойчивость к биологической и химической деградации;
- длительный срок службы под почвенным покровом (по расчетным данным до 120 лет);
- высокая гибкость в широком температурном диапазоне;
- минимальный объем материала для достижения заданных прочностных характеристик;
- невысокая плотность;
- простота хранения и транспортировки, не требующая специальных условий;
- простота монтажа как готовых, так и сборных конструкций;
- принятие экономичных и экологически чистых инженерных решений.

Для производства геосинтетиков применяют, в основном, следующие материалы:

- полипропилен (PP);
- полиэфир или полиэстер (полиэтилентерефталат) (PET);
- полиэтилен (PE), классифицируемый по плотности: низкой плотности (LDPE); весьма низкой плотности (VLDPE); средней плотности (MDPE); высокой плотности (HDPE); хлорированный (CPE);
- поливинилхлорид (PVC);



- полиамид (РА);
- полистирен (PS).

В табл. 1 приведены характеристики сопротивляемости различных материалов, из которых изготавливаются геосинтетики, к внешнему воздействию.

Таблица 1. Сопротивляемость некоторых полимеров внешним факторам

Влияющие факторы	Полимер			
	PP	PET	PE	PA
Ультрафиолетовый свет	полимер нестабилизированный			
	средняя	высокая	низкая	средняя
Ультрафиолетовый свет	полимер стабилизированный			
	высокая	высокая	высокая	средняя
Щелочи	высокая	низкая	высокая	высокая
Кислоты	высокая	низкая	высокая	низкая
Соли	высокая	высокая	высокая	высокая
Сухой нагрев до 100°C	средняя	высокая	низкая	средняя
Влажный нагрев до 100°C	низкая	низкая	низкая	средняя
Гидролиз	высокая	высокая	высокая	высокая
Микроорганизмы	высокая	высокая	высокая	средняя

Применение материалов, изготовленных из различных геосинтетиков, ограничивается физическими и прочностными свойствами последних [21-23]. В табл. 2 приведены некоторые характеристики сырья для геосинтетических материалов.

Таблица 2. Свойства полимеров, используемых для производства геосинтетиков

Полимер	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °C	Сопротивление на разрыв при 20°C, МПа	Модуль упругости, ×10 <sup>6</sup> МПа	Удлинение при разрыве, %
PP	0,9-0,91	160-165	400-600	1,3-1,8	10-40
PET	1,22-1,38	260	800-1200	12-18	8-15
PE	0,91-0,96	100-135	80-600	0,2-1,4	10-80
PVC	1,38-1,55	160	20-50	2,7-3	50-150
PA	1,05-1,15	220-250	700-900	3-4	15-30

### Фильтрация с использованием геосинтетиков

Геосинтетический материал может функционировать в качестве фильтра, который обеспечивает устойчивый поток жидкости с ограниченной миграцией частиц грунта через его плоскость в течение прогнозируемого срока службы геосинтетика. На рис. 8 показано, что геосинтетик позволяет проходить воде из грунта, предотвращая неконтролируемую миграцию частиц самого грунта.

Когда геосинтетический материал размещается непосредственно рядом с основным (фильтрующим) грунтом, частицы, расположенные ближе всего к геосинтетическому материалу и имеющие диаметры, меньшие, чем размер отверстия фильтра, проходят через геосинтетик под воздействием напорного градиента потока. Для того, чтобы геосинтетик действовал в качестве фильтра, важно, чтобы на границе раздела "грунт-геосинтетик" установилось состояние равновесия, с целью предотвращения постоянного проникновения частиц грунта через геосинтетик.

В состоянии равновесия обычно можно выделить три зоны: ненарушенный грунт, слой «грунтового фильтра», который состоит из частиц, размер которых постепенно уменьшается с увеличением расстояния от геосинтетика, и перекрывающий слой, представляющий собой пористую открытую структуру (рис. 9). Как только процесс такого расслоения завершен, возника-





ет состояние равновесия и устанавливается слой грунта, который участвует в процессе активной фильтрации [24-28].

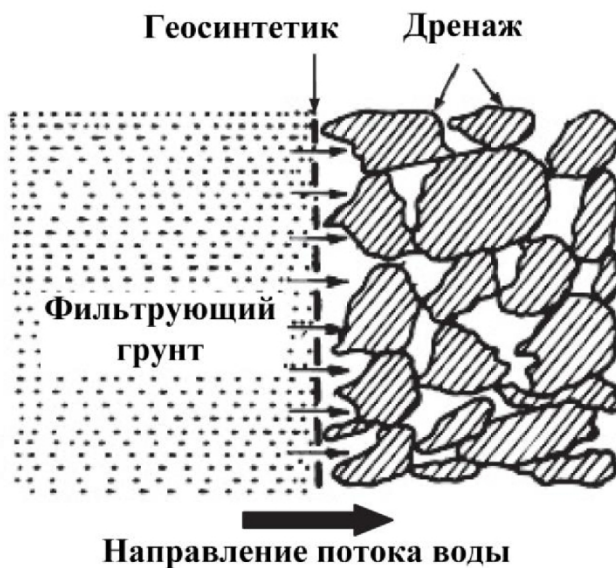


Рис. 8. Схема фильтрования с использованием геосинтетика

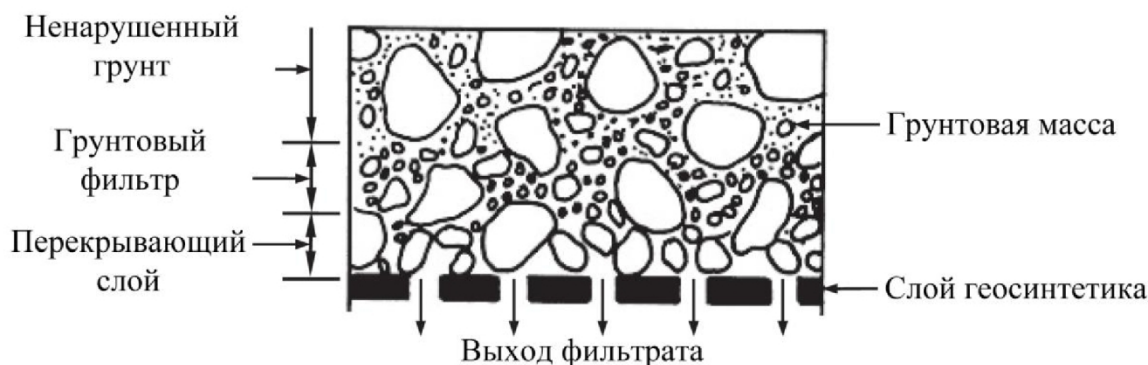


Рис. 9. Схема установившегося равновесия между грунтом, в котором происходит фильтрация, и материалом геосинтетика

#### Опыт применения конструкций из геотекстиля (Geotube® и т.д.) на горных предприятиях

Геотубы® представляют собой полимерные полипропиленовые (PP) или полиэфирные (PET) тканые сшивные геосинтетические замкнутые фильтрующие оболочки технического назначения. Использование контейнеров из геотекстиля является эффективным вариантом обезвоживания на месте, требует ограниченного набора специального оборудования, характеризуется низкими капитальными затратами и эксплуатационными расходами.

В целом, геотекстиль достаточно стоек к воздействию УФ-излучения, что обеспечивается специальными добавками в исходное сырье для его производства. Как правило, PET показывает более высокие показатели резистентности по сравнению с PP [7, 8].

Опыт обезвоживания угольных шламов с использованием мягких оболочечных конструкций (Геотуб®) на горных предприятиях России показал свою эффективность. Прежде всего, это связано с исключением из технологии очистки шламонакопителей.

В общем случае, под термином «геотубы» можно понимать любые проницаемые оболочечные материалы, обладающие определенной фильтрующей способностью и достаточной прочностью. Далее по тексту предлагается использование более общего термина, не затрагива-



ющего права использования зарегистрированных торговых марок – оболочечные фильтровальные конструкции или ОФК. Кроме этого, предлагается использовать термин «геофильтрующий (геофильтровальный) материал» при обозначении материала для изготовления ОФК.

Технология обезвоживания осадков посредством ОФК использует метод фильтрации загрязненной воды через стенки такой конструкции и сводится к следующему. Вода с осадком из первичных отстойников с помощью погружных насосов или земснарядов закачивается в ОФК (рис. 10). Далее вода отходит через фильтрующие стенки геотекстильного контейнера, а шлам удерживается внутри. По мере заполнения контейнера в нем формируется плотное шламовое тело. Выдержка шлама, «упакованного» в геотекстильную оболочку контейнера, обеспечивает сход гравитационной влаги и снижение влагосодержания до 20% и ниже, в зависимости от времени выдержки. Циклы замораживания и оттаивания уменьшают содержание влаги в шламовом теле, находящемся в ОФК [3, 4].

Технологический комплекс обезвоживания водных суспензий в геосинтетических тубах [4] представлен следующим набором технических средств:

- шламовый насос или земснаряд, подающий пульпу с напором от 0,5 атм.;
- станция приготовления и объемного дозирования рабочего раствора флокулянта (при необходимости);
- комплект трубопроводов, включая (либо ограничиваясь) рукавами для подачи пульпы в ОФК;
- комплект ОФК, соразмерный производительности шламового насоса или земснаряда и водоотдающим свойствам дисперсной фазы в составе пульпы;
- дренажная площадка, на которой осуществляется укладка ОФК с обязательным условием отведения выделяющегося фильтрата на доочистку от растворенных загрязняющих веществ (рис. 11).

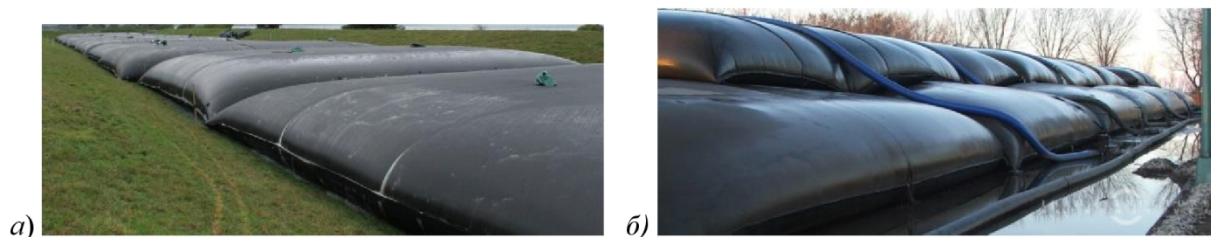


Рис. 10. Складирование контейнеров Геотуб®: а) в один ярус; б) в несколько ярусов.



Рис. 11. Применение Геотуб® на шахтах в Ростове: а) до закачки водоугольной пульпы (видны подводные трубопроводы и соединительные рукава геотуб); б) в процессе закачки и обезвоживания

Данные ситового отсева угольного шлама одного из предприятий АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» приведены на рис. 12.



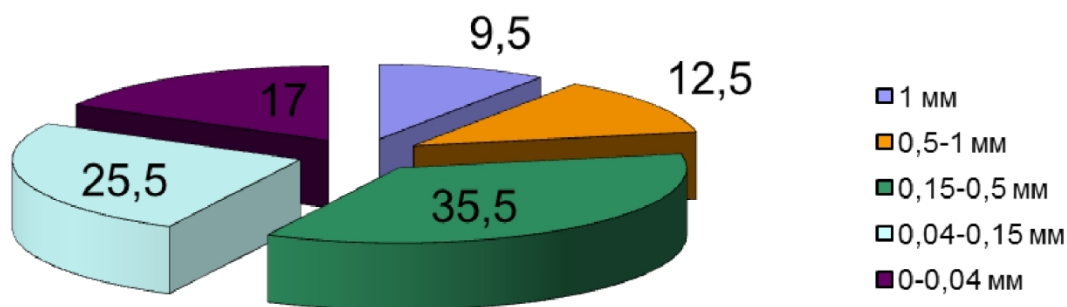


Рис. 12. Результаты ситового отсева угольного шлама (выход классов соответствующей крупности, %).

По данным мокрого отсева №508-1 шламовой воды, выполненного по заказу АО СУЭК-Кузбасс ШУ ш. "Комсомолец", получены следующие результаты (табл. 3):

Таблица 3. Результаты ситового анализа

Класс крупности, мм	Выход классов, % (ГОСТ 2093-82)
1,0	22,5
0,63-1,0	11,4
0,315-0,63	21,2
0,2-0,315	11,1
0,1-0,2	16,3
0,063-0,1	3,2
0-0,063	14,3

Свойства тканого геотекстиля, представленного на рынке, позволяют эффективно фильтровать твердые фракции размером приблизительно от 0,1-0,2 мм ( $O_{90}$  – 135-175 мкм). В начальном этапе использования, поверхность оболочки может пропускать твердые частицы большего размера, но при образовании корки кека на внутренней поверхности оболочки максимальный размер фильтруемых частиц уменьшается, что повышает эффективность очистки воды.

Таким образом, использование оболочечных конструкций с указанными параметрами может быть эффективно для улавливания и обезвоживания угольных шламов (порядка 82,5% фракций на начальном этапе с последующим увеличением данного показателя по мере накопления тонкодисперсных частиц шлама на внутренней поверхности оболочки при фильтровании угольной водошламовой пульпы).

Применение дополнительного слоя нетканых текстильных материалов будет проверено дополнительно, поскольку теоретически размер пор такого материала ( $O_{90}$  = 60-150 мкм) приведет к улавливанию 85,7% фракций на начальном этапе против 82,5% для тканого геотекстиля. Предполагаемое удорожание изготовления ОФК при этом может составить 80-100%, что также будет проверено экспериментально.

По имеющимся данным [3], в Геотубах® вместимостью 1360 м<sup>3</sup> из тканого полипропилена (PP) обезвоживание угольного шлама влажностью  $W$  = 95% до влажности  $W$  = 60% происходит в течение 1 месяца при положительной температуре окружающей среды. Концентрация взвесей в исходящем фильтрате при этом составляет 10-15 г/л.

Данных по скорости обезвоживания в оболочках меньшего размера в настоящий момент не имеется, что является одной из задач исследования.

Оболочечные фильтровальные конструкции могут быть использованы для обезвоживания шлама после радиальных сгустителей и пресс-фильтров в цикле обогащательных фабрик. Обезвоженный до влажности 20% и менее кек, представляющий собой тонкодисперсный угольный порошок, упакованный в оболочки с размерами, удобными для складирования и транспортировки, может быть использован как топливо для ГРЭС (ТЭЦ). Заявленная прочность геотексти-



ля (20–100 Н/м) позволяет производить погрузку заполненных шламом ОФК объемом 1–2 м<sup>3</sup> без их вскрытия в автосамосвалы Volvo при наличии дополнительных элементов (ремней-строп), подводимых под пустую ОФК при их установке, поскольку прочность швов составляет примерно 50% от прочности геотекстиля. Данных по прочности ОФК из геотекстилеподобных материалов (формулировка согласно [14]) в настоящее время нет, что в перспективе может являться одним из направлений в исследовании различных материалов в качестве основы для ОФК.

В то же время, обезвоженный угольный шлам (кек) может быть отгружен из вскрытых ОФК большого объема погрузчиком в автосамосвал непосредственно на площадке обезвоживания.

### Экспериментальные исследования

С целью проведения экспериментальных исследований по использованию технологии ОФК для сбора, обезвоживания и подготовки к транспортировке угольного шлама в условиях обогатительной фабрики ш. "Комсомолец" АО "СУЭК-Кузбасс", а также с целью получения данных, позволяющих оптимизировать процесс получения техногенного сырья, предусматривалось выполнение следующих видов работ:

1. Подготовка стартовых опытных ОФК небольшого размера (30–50 л) из разных фильтрующих геотекстильных материалов.

В рамках проводимого исследования материалы выбираются исходя из срока службы ОФК: длительное их хранение под открытым небом не предусматривается, поэтому такие удорожающие факторы, как повышенная устойчивость к УФ-излучению и внешним механическим нагрузкам, не является необходимым критерием для выбора материала.

В нашем случае определяющими характеристиками материала будут являться его фильтрующая способность по отношению к водоугольному шламу и прочность оболочки.

2. Размещение указанных ОФК на следующих площадках: иловые карты, радиальный стгуститель.

3. Последовательное заполнение с отбором проб как водоугольного шлама, поступающего в ОФК, так и фильтрата, выделяющегося с внешней стороны ОФК. На данном этапе опытных работ, ввиду малой вместимости опытных ОФК, предполагается их заполнение вручную без средств гидромеханизации, в то же время не исключая применение последних.

Помимо отбора проб на данном этапе предполагается осуществление визуального наблюдения за процессом заиливания внутренней поверхности ОФК.

4. После формирования шламового тела внутри ОФК для определения динамики изменения влажности предполагается отбор проб шламового тела по мере обезвоживания и образования корки кека. Отбор проб будет проводиться в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов», т.е. бороздовым методом, с герметичной упаковкой проб для дальнейших лабораторных испытаний.

При этом в бокс с образцом кека вкладывается герметично упакованная этикетка с указанием времени отбора пробы, материалом ОФК, участком расположения ОФК (иловая карта, радиальный стгуститель и т.д.), выполненная по следующей форме:

Таблица 4. Этикетка с описанием пробы кека

Наименование организации	
Участок расположения ОФК	
Материал ОФК	
№ образца	
Должность, ФИО отборщика	
Дата	





Заполняются этикетки простым карандашом, чтобы исключить расплывание или обесцвечивание записей. Заполненные этикетки хранятся вместе с образцами кека до окончания проведения лабораторных анализов.

Далее упакованные образцы транспортируются в лабораторию для исследования влажности. Сроки хранения образцов не должны превышать 1,5 мес. [10, 11].

5. Определение влажности проб осуществляется в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 30416-2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения» и ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».

Влажность грунта  $W$  определяется как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

Для этого пробу кека массой 15-50 г помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный бюкс и плотно закрывают крышкой.

После этого пробу кека взвешивают на электронных весах и высушивают в сушильном шкафу в течение 3-5 часов при температуре  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ . После этого бюкс охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до комнатной температуры и взвешивают. Циклы высушивания и охлаждения проводятся до разности масс кека при последовательных взвешиваниях не более 0,02 г [9].

Расчет влажности образцов кека производят по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $W$  – влажность образца, %;

$m$  – масса бюкса с крышкой, г;

$m_1$  – масса бюкса с крышкой и влажным грунтом, г;

$m_0$  – масса бюкса с крышкой и сухим грунтом, г.

Обработка данных проводится в соответствии с ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний».

В случае отсутствия необходимых условий для проведения полевых экспериментов (плохие погодные условия, отсутствие возможности отвода и сбора фильтрата, отсутствие возможности проведения наблюдений и пр.) возможен вариант исследования различных геотекстильных (геотекстилеподобных) материалов в лабораторных условиях.

Для этого на участках проведения работ (иловые карты, радиальный сгуститель) производится отбор образцов водоугольной пульпы в герметичные емкости согласно [16] и их транспортировка до лаборатории.

Далее пульпа загружается в лабораторную установку с закрепленным образцом геотекстиля. Пример конструкции установки приведен на рис. 13.

#### 6. Приобретение (изготовление) опытных ОФК

Анализ рынка геотекстиля позволил составить список предприятий, имеющих возможность поставлять ОФК размерами 1,5 м в диаметре и 5 м длиной. Данные размеры были выбраны ориентировочно с целью получения сопоставимых данных от разных изготовителей.

В качестве опытных образцов были выбраны размеры ОФК (Длина  $\times$  Диаметр) 1 $\times$ 1,5-2,0 м. Данные размеры опытных образцов ОФК обеспечат их размещение на стандартных поддонах, используемых для транспортировки флокулянтов, применяемых на обогатительной фабрике, что облегчит процесс их погрузки в автосамосвалы после обезвоживания.

7. Подготовка площадки для размещения ОФК с учетом их размеров, удобства монтажа рукавов для закачки водошламовой пульпы и отвода фильтрата

Площадку для размещения ОФК предлагается расположить на краю технологической дороги между угольным складом и иловыми картами шламонакопителя (рис. 14). Сток фильтрата обеспечивается в ту же карту, из которой производится отбор пульпы. Размещение площадки между иловыми картами неприемлемо по условиям безопасного ведения работ (стесненные условия, оплывины).



Площадка должна быть выровнена с достаточным для стока уклоном в соответствующую иловую карту. При применении поддонов для размещения ОФК отсыпка дренирующим слоем необязательна, в противном случае необходима отсыпка площадки дренирующим слоем мощностью 0,15-0,2 м.

При отсутствии возможности монтажа и заполнения ОФК на площадке рядом с иловыми картами предлагается размещение ОФК в непосредственной близости от радиального сгустителя. Закачивание пульпы при этом возможно непосредственно с выхода радиального сгустителя посредством рукавов.



Рис. 13. Установка для исследования фильтрующих свойств геотекстиля

#### 8. Доставка и укладка ОФК на подготовленную площадку

Под пустые ОФК на поддоны предполагается укладка гидроизоляции (полиэтиленовой пленки) для защиты поддонов и удобства отбора проб фильтрата.

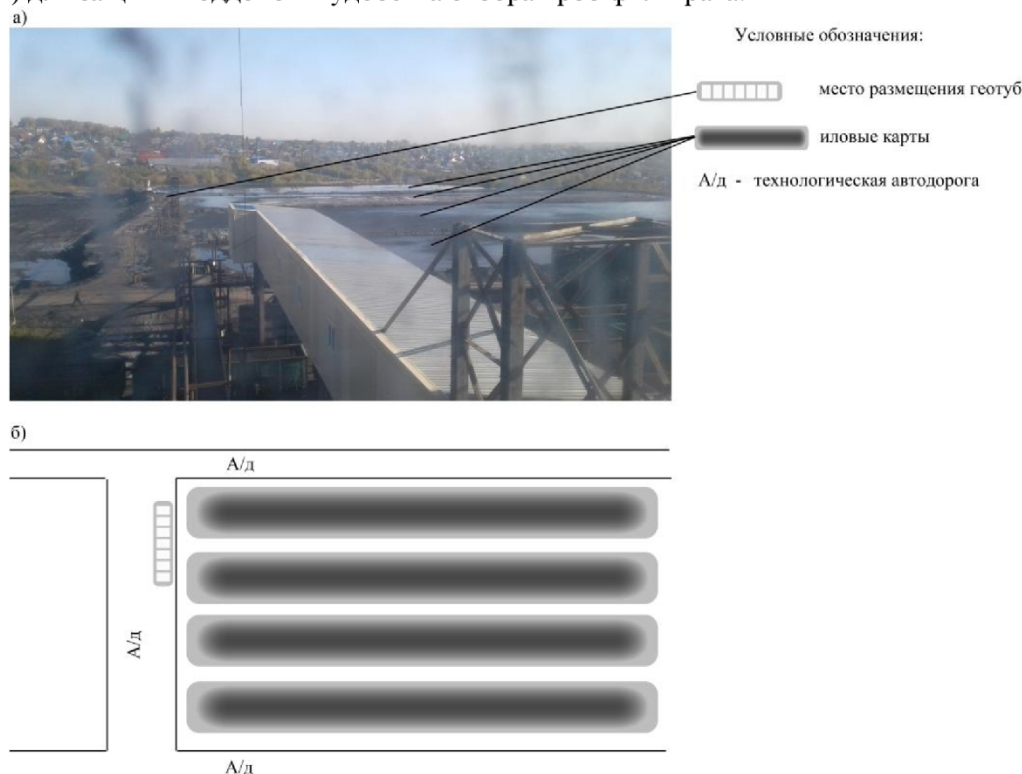


Рис. 14. Размещение площадки для установки ОФК: а) фотография участка;





## б) соответствующая схема размещения объектов участка

## 9. Монтаж закачных трубопроводов с присоединением их к ОФК и шламовому насосу

Для закачки водоугольного шлама предлагается использование шламового насоса К100 и пожарных рукавов Ø 50 с соединительными головками рукавными Богданова ГР-50. Основные параметры насоса (расход  $Q = 60-100 \text{ м}^3/\text{час}$ , напор  $H = 67-80 \text{ м}$ , приведены в табл. 5) и рукавов (максимальное давление 1 МПа, Ø 50) обеспечат простоту, удобство и безопасность монтажа и эксплуатации присоединительной гидравлической сети и качественное наполнение опытных геотуб.

Таблица 5. Технические характеристики насосов К100

Насос	$Q$ ( $\text{м}^3/\text{час}$ )	$H(\text{м})$	$Q, \text{ min}$	$Q, \text{ max}$	Кав запас ( $\text{м}$ )	$n$ (об/мин)	$N$ (кВт)	$D_y \text{ вс.}$ (мм)	$D_y \text{ нагн.}$ (мм)
К100-65-250	99.9	80.0	70	130	4,5	3000	45.0	100	65
К100-65-250	99.9	80.0	70	130	4,5	3000	55.0	100	65
К100-65-250a	90.0	67.0	60	120	4,5	3000	37.0	100	65

Примечание:

$Q$  – производительность,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$H$  – напор, м;

$N$  – мощность двигателя, кВт;

$n$  – частота вращения рабочего колеса,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$D_y \text{ нагн.}$  – диаметр нагнетательного патрубка, мм

$D_y \text{ вс.}$  – диаметр всасывающего патрубка, мм

## 10. Проведение заполнения ОФК

Выполнение заполнения ОФК осуществляется в циклическом режиме:

- закачка водошламовой пульпы до максимального заполнения ею полезного объема ОФК;
- выдержка во времени до стока основного объема фильтрата из ОФК;
- повторение цикла до полного заполнения ОФК шламом.

Число циклов "заполнение – выдержка" и время выдержки для стока фильтрата будут установлены экспериментально в ходе выполнения работ, поскольку данные параметры предположительно зависят от размеров оставшейся полезной емкости ОФК и фильтрационных свойств их оболочки, температуры окружающего воздуха и пульпы, атмосферных осадков, а также гранулометрического состава пульпы и ее влажности.

Отбор проб фильтрата предполагается производить после каждого цикла заполнения ОФК и отключения шламового насоса, поскольку в данном случае обеспечивается максимальный объем стока фильтрата из ОФК.

## 11. Обезвоживание шламового тела

Обезвоживание шламового тела происходит самопроизвольно с течением времени. Сход гравитационной воды обеспечивается пористостью оболочки ОФК, при этом капиллярная влага в шламовом теле обеспечивает его остаточную влажность. Для контроля влажности кека ОФК частично вскрываются путем надрезания оболочки в боковой части (для уменьшения вероятности попадания атмосферных осадков); проверка влажности в полевых условиях может производиться с применением гигрометра.

Анализ рынка гигрометров показал, что применение данных аппаратов со стоимостью до 30 тыс. руб. возможно только для материалов с низкой электропроводностью (воздух, древесина, строительные материалы).

Для сред с высокой электропроводностью возможно применение специальных гигрометров, например, типа FIZEPR-SW100.30.



Влажность кека может быть определена в лабораторных условиях, что несколько увеличивает время проведения исследования, но снижает его стоимость. Для этого отобранные образцы кека помещают во влагонепроницаемые контейнеры и доставляют в лабораторию. В лабораторных условиях путем взвешивания определяют массу образцов до высушивания и после высушивания до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$  [9]. Расчет влажности образцов кека производится по формуле:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $W$  – влажность образца, %;

$m, m_0$  – масса образца до высушивания и после высушивания до постоянной массы, соответственно, кг.

При достижении необходимого значения влажности возможно выполнение п. 12.

В то же время необходимо подчеркнуть, что увеличение времени обезвоживания, в т.ч. подвергание заполненных ОФК циклам замораживания-оттаивания, способствует уменьшению влажности кека [3, 4].

12. Погрузка ОФК, заполненных обезвоженным до необходимой влажности шламом (кеком), и их транспортировка до конечного потребителя

Размещение и заполнение шламом опытных ОФК на стандартных деревянных поддонах обеспечит удобство погрузки первых автокраном в автосамосвалы Volvo (внутренние размеры кузова (Д×Ш×В)  $4 \times 2 \times 1,5$  м. Внешние размеры автосамосвала приведены на рис. 15.

После погрузки ОФК с кеком в автосамосвал производится удаление автокраном поддонов из кузова и транспортировка ОФК с кеком до конечного потребителя.

С целью недопущения развеивания кека, транспортировку предлагается осуществлять в не вскрытых ОФК. Вскрытие ОФК необходимо производить непосредственно перед разгрузкой, с закреплением ткани оболочки ОФК в кузове, что при разгрузке обеспечит задержку оболочки в кузове автосамосвала.

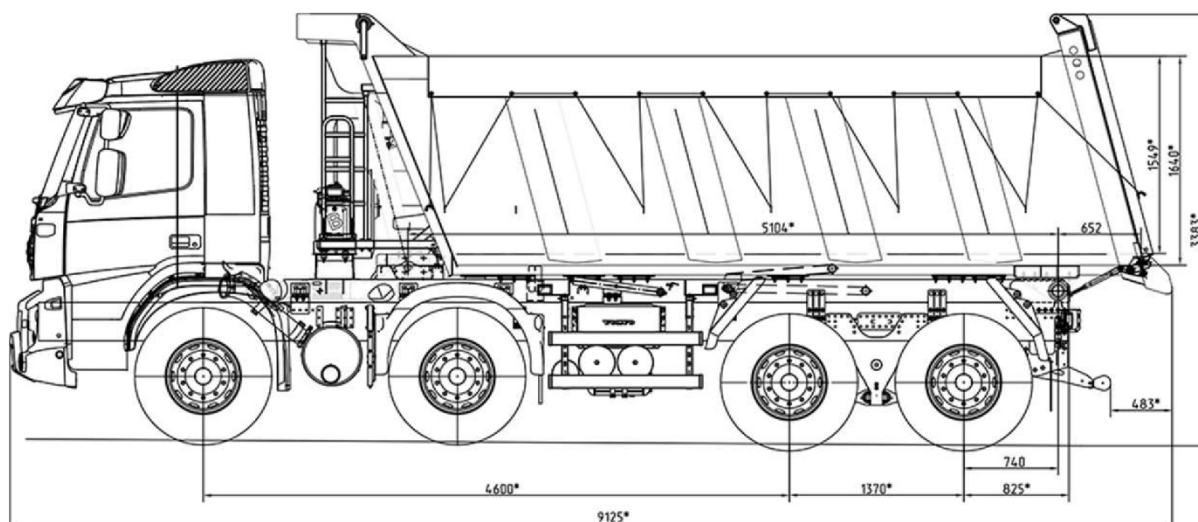


Рис. 15. Внешние размеры автосамосвала Volvo

В настоящее время отгрузка шлама обогатительной фабрикой ш. "Комсомолец" производится конечному потребителю – Беловской ГРЭС. Высокая влажность шлама ( $W \geq 25\%$ ) ограничивает использование шлама как топлива. В то же время, обезвоженный до влажности  $W \leq 20\%$  кек будет представлять для энергетиков гораздо больший интерес.

### 13. Утилизация оболочек ОФК

Использованный пластиковый (полипропиленовый или полиэфирный) текстиль как отходы 5 класса опасности (практически неопасные) может быть использован повторно, либо отправлен на утилизацию с помощью имеющихся на рынке компаний по переработке отходов





пластика (EcoplastNeo, ООО «Экологический потенциал Сибири», ООО «Вторполимер» и других).

ОФК из натурального волокна (упаковочные грубые ткани из джута, льна; брезент и т.п.) могут быть либо утилизированы на ТЭЦ вместе с кеком, либо использованы повторно с минимальной обработкой, заключающейся в мойке и сушке.

### Промежуточные результаты

1. Для проведения опытных работ в качестве стартовых опытных образцов были изготовлены ОФК вместимостью до 50 л из геотекстилеподобных и геотекстильных [14] материалов:

- 1) полипропиленовая мешковина (стоимость от 10 руб./м<sup>2</sup>; плотность  $\rho = 83$  г/м<sup>2</sup>);
- 2) брезент (мешковина) (стоимость 169 руб./м<sup>2</sup>; плотность  $\rho = 367$  г/м<sup>2</sup>);
- 3) нетканое полотно (стоимость 33,3 руб./м<sup>2</sup>; плотность  $\rho = 149$  г/м<sup>2</sup>);
- 4) нетканое полотно "Мегаспан Агро 42" (стоимость 12,6 руб./м<sup>2</sup>; плотность  $\rho = 35$  г/м<sup>2</sup>);
- 5) нетканый геотекстиль "Геотек 250" (стоимость 48 руб./м<sup>2</sup>; плотность  $\rho = 230$  г/м<sup>2</sup>);
- 6) нетканый геотекстиль "Геотек 350" (стоимость 67 руб./м<sup>2</sup>; плотность  $\rho = 300$  г/м<sup>2</sup>).

Также была изготовлена цилиндрическая ОФК размерами 0,5 × 2,5 м (в сложенном состоянии) из двойной полипропиленовой ткани с рукавом из брезента.

Критерием выбора данных материалов послужили:

- водо- и воздухопроницаемость;
- размер пор, сопоставимый с размерами флюкул водоугольной пульпы из радиального сгустителя;
- доступность для приобретения на рынке небольших партий с целью изготовления ограниченного количества образцов.

В качестве армирующих (удерживающих) конструкций для стартовых опытных ОФК из нетканого геотекстиля использованы сетчатые полипропиленовые мешки ввиду незначительных динамических нагрузок при заполнении ОФК водоугольной пульпой и незначительных статических нагрузках при обезвоживании кека.

2. Размещение указанных ОФК осуществлялось 11.10.2018 г. в соответствии с требованиями безопасности [17] на предложенных выше площадках: иловые карты и радиальный сгуститель (рис. 16). Цилиндрическая ОФК размерами 0,5 × 2,5 м также была размещена у сгустителя (рис. 17 а, б).

3. Заполнение пробных ОФК как под радиальным сгустителем, так и возле иловых карт, осуществлялось вручную. В каждую емкость было помещено приблизительно 25-30 л водоугольной пульпы влажностью  $W = 131,25\%$ . Ввиду малых объемов фильтрата, выделяющегося с внешней стороны ОФК, отбор его проб после заполнения ОФК не производился. В цилиндрическую ОФК было закачено приблизительно 0,4 м<sup>3</sup> водоугольной пульпы.

4. После формирования шламового тела внутри стартовых ОФК небольшого объема (рис. 16, а) и его частичного обезвоживания с образованием корки кека 01.11.2018 г. (т.е. через 20 дней после заполнения ОФК пульпой) и 20.11.2018 г. (т.е. через 40 дней после заполнения ОФК пульпой) был произведен отбор проб кека из стартовых опытных ОФК, расположенных под радиальным сгустителем. Визуально было отмечено, что внешняя часть шламового тела, непосредственно прилегающая к поверхности ОФК, имеет более низкую влажность по сравнению с центральной частью.

Отбор проб производился в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов», т.е. бороздовым методом, с герметичной упаковкой проб для дальнейших лабораторных испытаний. Срок хранения образцов – не более суток, образцы не охлаждались.

Расчет влажности образцов кека производился по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100, \%,$$

где  $W$  – влажность образца, %;

$m$  – масса бьюкса с крышкой, г;

$m_1$  – масса бьюкса с крышкой и влажным грунтом, г;



$m_0$  – масса бьюкса с крышкой и сухим грунтом, г.

а)



б)



Рис. 16. ОФК, размещенные на деревянных поддонах (паллетах) рядом с выпуском из радиального сгустителя: а) стартовые опытные ОФК из 6 указанных геотекстильных и геотекстилеподобных материалов, частично заполненные водоугольной пульпой; б) ОФК из двойной полипропиленовой ткани до начала процесса заполнения





*a)*



*б)*



*Рис. 17: а) цилиндрическая ОФК после заполнения; б) капли фильтрата на поверхности данной ОФК.*



Результаты исследования влажности кека через 20 дней выдержки в различных ОФК приведены в табл. 6.

Таблица 6. Влажность кека через 20 дней обезвоживания

№ п.п	Образец ткани ОФК	№ пробы	№ бюкса	масса бюкса с крышкой $m$ , г	масса бюкса с крышкой и влажным грунтом $m_1$ , г	масса бюкса с крышкой и сухим грунтом $m_0$	Влажность $W$ , %
1	полипропиленовая ткань	1.1	141	14,40	29,48	23,34	68,68
2	брезент (мешковина)	2.1	216	15,16	43,75	35,58	40,01
3	нетканое полотно	3.1	143	14,42	36,83	28,70	56,93
4	Мегаспан Агро 42	4.1	150	14,55	35,39	27,19	64,87
5	Геотек 250	5.1	212	15,37	27,75	24,12	41,49
6	Геотек 350	6.1	236	15,20	34,26	29,02	37,92

Результаты исследования влажности кека через 40 дней выдержки в различных ОФК приведены в табл. 7.

Таблица 7

Влажность кека через 40 дней обезвоживания

№ п.п	Образец ткани ОФК	№ пробы	№ бюкса	масса бюкса с крышкой $m$ , г	масса бюкса с крышкой и влажным грунтом $m_1$ , г	масса бюкса с крышкой и сухим грунтом $m_0$	Влажность $W$ , %
1	полипропиленовая ткань	15,795	33,855	28,22	15,795	33,855	45,15
2	брезент (мешковина)	15,25	31,45	27,045	15,25	31,45	37,37
3	нетканое полотно	14,62	32,635	26,78	14,62	32,635	48,19
4	Мегаспан Агро 42	14,295	30,23	26,6	14,295	30,23	29,58
5	Геотек 250	15,3	37,325	33,885	15,3	37,325	18,26
6	Геотек 350	15,29	41,745	35,075	15,29	41,745	33,55

В результате проводимых экспериментов выявлено, что степень обезвоживания водоугольной пульпы для разных материалов различна; влажность образцов кека представлена на рис. 18 в виде матрицы.

Очевидно, что длина вертикальных прямоугольников, заключающих в себе красные и синие маркеры, представляет собой скорость обезвоживания водоугольного шлама для разных геосинтетиков при прочих равных условиях (влажности загруженной водоугольной пульпы, температуры, давления и влажности атмосферного воздуха), представляющую собой изменение количества влаги с течением времени.

Предварительный анализ матрицы показал, что наиболее качественными с точки зрения скорости обезвоживания (обезвоживание в течение 20 дней до влажности  $W < 50\%$ ) из всей линейки материалов являются материалы, попавшие в III и IV квадранты матрицы – №2 (бре-





зент), №5 (Геотек250) и №6 №5 (Геотек350). В то же время, наиболее дешевыми (попавшие в I и III квадранты матрицы) в порядке возрастания стоимости являются материалы №№ 1, 4, 3, 5, 6 (соответственно, полипропиленовая ткань, нетканое полотно, Мегаспан Агро 40, Геотек250, Геотек350).

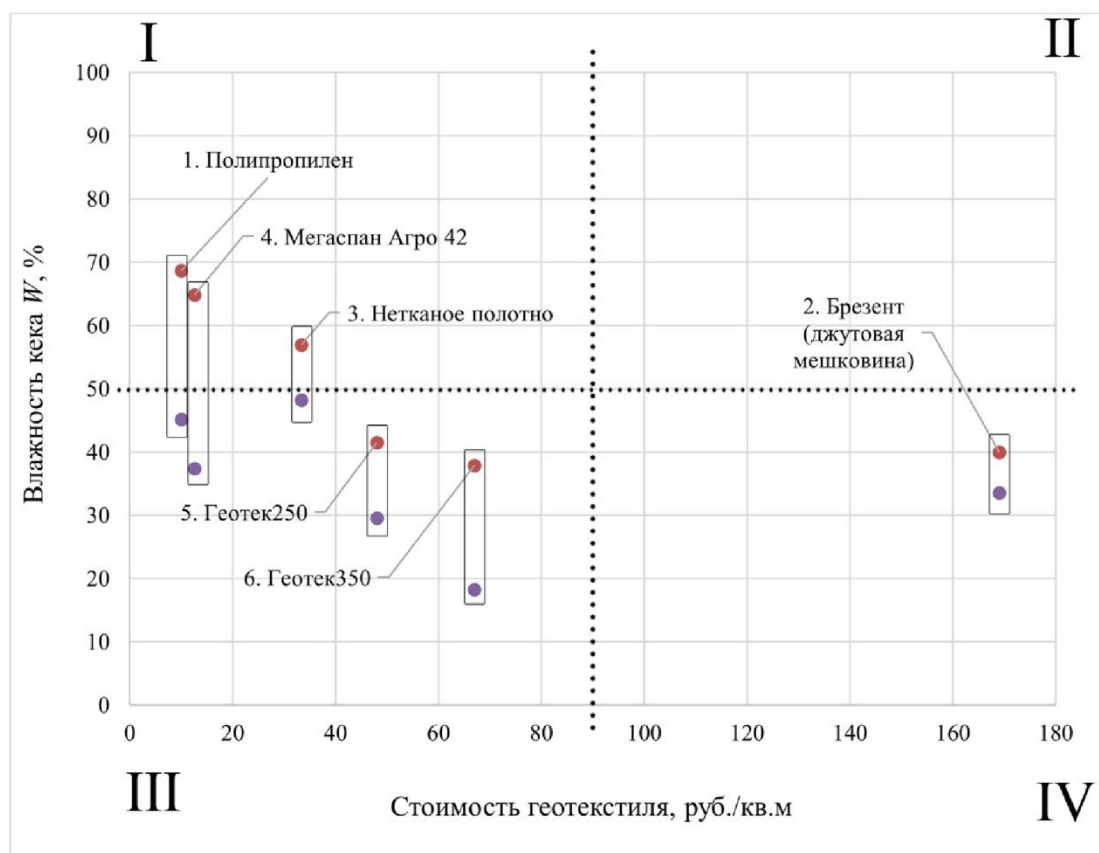


Рис. 18. Матрица "влажность обезвоженного кека – стоимость геосинтетика" для разных вариантов геотекстиля: I – дешевые материалы с низкой скоростью обезвоживания кека; II – дорогие материалы с низкой скоростью обезвоживания; III – дешевые материалы с высокой скоростью обезвоживания; IV – дорогие материалы с высокой скоростью обезвоживания; красные маркеры – влажность кека после 20 суток обезвоживания; синие маркеры – влажность кека после 40 суток обезвоживания

Вскрытие цилиндрической ОФК не производилось, поскольку после частичного обезвоживания предполагается повторение нескольких циклов ее повторного заполнения водоугольной пульпой и обезвоживания до полного заполнения ОФК шламовым телом. Из-за двойной оболочки обезвоживание данной ОФК происходит менее активно, что предполагает увеличение времени на обезвоживание по сравнению с остальными ОФК, имеющими однослойное исполнение.

Статистический анализ времени обезвоживания показал, что скорость обезвоживания для разных материалов меняется следующим образом (табл. 8):

Таблица 8. Скорость обезвоживания пульпы для разных геоматериалов



		Влажность, %							Статистические данные	
		экспериментальные данные			прогнозные данные					
Число дней от момента загрузки ОФК, x		0	20	40	50	60	70	80		
Материал ОФК	1 полипропиленовая ткань	131,30	68,68	45,15	32,77	25,01	19,09	14,58	$W' = 126,39e^{-0,027x}$	$R^2=0,985$
	2 брезент (мешковина)	131,30	40,01	37,37	23,12	16,96	12,44	9,12	$W' = 108,94e^{-0,031x}$	$R^2=0,791$
	3 нетканое полотно	131,30	56,93	48,19	33,65	26,21	20,41	15,90	$W' = 117,45e^{-0,025x}$	$R^2=0,871$
	4 Мегаспан Агро 42	131,30	64,87	29,57	20,92	14,45	9,98	6,90	$W' = 133,07e^{-0,037x}$	$R^2=0,999$
	5 Геотек 250	131,30	41,49	18,26	10,72	6,57	4,02	2,47	$W' = 124,24e^{-0,049x}$	$R^2=0,991$
	6 Геотек 350	131,30	37,92	33,55	19,90	14,17	10,08	7,18	$W' = 108,95e^{-0,034x}$	$R^2=0,817$

### Выводы

Таким образом, сбор и обезвоживание угольного шлама как сырья для дальнейшего использования с помощью ОФК экономически целесообразны по следующим причинам:

- унификация технологической цепочки «сбор-обезвоживание» угольного шлама обогатительных фабрик или сточных шахтных вод;
- необязательность применения флокулянтов;
- высокая скорость обезвоживания угольного шлама по сравнению с процессом отстаивания в шламохранилище;
- обезвоживание шлама до влажности  $W = 20\%$  и менее по сравнению с пресс-фильтрами, дающими более высокие показатели влажности;
- относительно небольшие затраты на сам технологический процесс – электроснабжение насоса на подачу пульпы и оператор, следящий за наполнением ОФК и стоком фильтрата;
- относительно небольшие площади для размещения ОФК и отсутствие особых условий их размещения (требуется только наличие возможности стока фильтрата и погрузки осушенного шлама средствами механизации в автосамосвалы);
- возможность безопасной и быстрой утилизации либо повторного использования ОФК.

Результаты опытных работ будут являться основой для:

- статистического анализа работы ОФК из различных материалов в условиях подготовки водоугольной пульпы в радиальном сгустителе;
- разработки рекомендаций по оптимизации технологии обезвоживания угольного шлама в условиях ОФ ш. "Комсомолец" АО "СУЭК-Кузбасс".

### Список источников

1. Дубинин С.В. Применение мягких оболочечных конструкций для очистки сточных вод с точки зрения геоэкологической безопасности / С.В. Дубинин, Т.В. Михайлова // Вестник КузГТУ. - 2017. - №6. - С. 149-153.
2. СНиП 12-03-2001 "Безопасность труда в строительстве".
3. Ермолаев С.В. Расчистка шламонакопителей ТЭЦ с применением средств гидромеханизации и последующим обезвоживанием шлама по технологии Геотуб® / С.В. Ермолаев, В.А. Казаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015. - №S11. - С. 42-50.
4. Леонов В.В. Возможности использования объемных обезвоживающих (фильтрующих) конструкций на основе геотуб / В.В. Леонов, Д.М. Антоновский // Сантехника. - 2017. - Том 5. - №5. - С. 38-43.
5. Расклад на двадцать лет вперед: <http://www.uk42.ru/index.php?id=2667> Режим доступа – свободный. Загл. с экрана.
6. Ефимов В.И. Ресурсы подземных вод Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2006. - №7. - С. 173-177.
7. P.C. Lodi, B.S. Bueno, O.M. Vilar, N.S. Correia / Weathering degradation of polyester and polypropylene geotextiles // Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, June 17-20, 2008. - PP. 35-39.
8. Suits L.D., Hsuan Y.G. Assessing the photodegradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer / Geotextiles and Geomembranes, 21, 2003. - PP. 111-122.
9. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
10. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород: Руководство к лабораторным занятиям по инженерной геологии / Ломтадзе В.Д. // Л.: Недра, 1972.





11. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Том I. /Под ред. Е.М. Сергеева, С.Н. Максимова, Г.М. Березкиной. М.: Изд-во Московского университета, 1968.
12. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
13. ГОСТ 30416-2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
14. ГОСТ Р 53238-2008 Материалы геотекстильные. Метод определения характеристики пор
15. ПНД Ф 14.1.2:4.254-09 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом (Издание 2017 года) / Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. – М., 2017.
16. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб.
17. Приказ федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при обогащении и брикетировании углей" от 20.11.2017 №487.
18. Giroud, J.P. and Carroll, R.G. (1983). Geotextile products. Geotechnical Fabrics Report, pp. 12–15.
19. Ingold, T.S. (1994). The Geotextiles and Geomembranes Manual. Elsevier Advanced Technology, UK.
20. John, N.W.M. (1987). Geotextiles. Blackie, London.
21. Thomas, R.W. and Verschoor, K.L. (1988). Thermal analysis of geosynthetics. Geotechnical Fabrics Report, 6, 3, pp. 24–30.
22. Halse, Y.H., Wiertz, J. and Rigo, J.M. (1991). Chemical identification methods used to characterize polymeric geomembranes. Chapter 15, Geomembranes Identification and Performance Testing, Chapman & Hall, London, pp. 316 – 336.
23. Landreth, R.E. (1990). Chemical resistance evaluation of geosynthetics used in the waste management applications. Geosynthetics Testing for Waste Containment Applications, Special Technical Publication STP 1081, ASTM, Philadelphia, pp. 3–11.
24. Rankilior, P.R. (1981). Membranes in Ground Engineering. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1981.
25. Bouazza, A. and Heerten, G. (2012). Geosynthetic applications – sustainability aspects. Chapter 18, Handbook of Geosynthetic Engineering, Shukla, S.K., Editor, ICE Publishing, London, pp. 387–396.
26. Espinoza, R.D. (1994). Soil-geotextile interaction: evaluation of membrane support. Geotextiles and Geomembranes, 13, 5, pp. 281–293.
27. Fluet, J.E. (1988). Geosynthetics for soil improvement: a general report and keynote address. Proceedings of the Symposium on Geosynthetics for Soil Improvement, Tennessee, USA, pp. 1–21.
28. Giroud, J.P. (1992). Geosynthetics in dams: Two decades of experience. Geotechnical Fabrics Report, 10, 5, pp. 6–9.

## References

1. Dubinin S.V. Primenenie myagkikh obolocheknykh konstruksiy dlya ochistki stochnykh vod s tochki zreniya geoeologicheskoy bezopasnosti / S.V. Dubinin, T.V. Mikhaylova // Vestnik KuzGTU. - 2017. - №6. - С. 149-153.
2. SNiP 12-03-2001 "Bezopasnost' truda v stroitel'stve".
3. Ermolaev S.V. Raschistka shlamonakopiteley TETs s primeneniem sredstv gidromekhanizatsii i posleduyushchim obezvozhivaniem shlama po tekhnologii Geotub® / S.V. Ermolaev, V.A. Kazakov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). – 2015. – №S11. – С. 42-50.
4. Leonov V.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya ob'emnykh obezvozhivayushchikh (fil'truyushchikh) konstruksiy na osnove geotub / V.V. Leonov, D.M. Antonovskiy // Santechnika. – 2017. – Tom 5. – №5. – С. 38-43.
5. Rasklad na dvadtsat' let vpered: <http://www.uk42.ru/index.php?id=2667> Rezhim dostupa – svobodnyy. Zagl. s ekrana.
6. Efimov V.I. Resursy podzemnykh vod Kuzbassa // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). – 2006. – №7. – С. 173-177.
7. P.C. Lodi, B.S. Bueno, O.M. Vilar, N.S. Correia / Weathering degradation of polyester and polypropylene geotextiles // Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, June 17-20, 2008. – PP. 35-39.
8. Suits L.D., Hsuan Y.G. Assessing the photodegradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer / Geotextiles and Geomembranes, 21, 2003. – PP. 111-122.
9. GOST 5180-84 Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik.
10. Metody laboratornykh issledovaniy fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornykh porod: Rukovodstvo k laboratornym zanyatiyam po inzhenernoy geologii / Lomtadze V.D. // L.: Nedra, 1972.



11. Metodicheskoe posobie po inzhenerno-geologicheskomu izucheniyu gornykh porod. Tom I. /Pod red. E.M. Sergeeva, S.N. Maksimova, G.M. Berezkinoy. M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1968.
12. GOST 12071-2014 Grunty. Otbory, upakovka, transportirovaniye i khraneniye obraztsov.
13. GOST 30416-2012 Grunty. Laboratornyye ispytaniya. Obshchie polozeniya.
14. GOST R 53238-2008 Materialy geotekstil'nye. Metod opredeleniya kharakteristiki por
15. PND F 14.1:2.4.254-09 Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovykh kontsentratsiy vzveshennykh i prokalennykh vzveshennykh veshchestv v probakh pit'evykh, prirodnykh i stoknykh vod gravimetricheskim metodom (Izdanie 2017 goda) / Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya. – M., 2017.
16. GOST 31861-2012 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob.
17. Prikaz federal'noy sluzhby po ekologicheskemu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru "Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri obogashchenii i briketirovaniy ugley" ot 20.11.2017 №487.
18. Giroud, J.P. and Carroll, R.G. (1983). Geotextile products. Geotechnical Fabrics Report, pp. 12–15.
19. Ingold, T.S. (1994). The Geotextiles and Geomembranes Manual. Elsevier Advanced Technology, UK.
20. John, N.W.M. (1987). Geotextiles. Blackie, London.
21. Thomas, R.W. and Verschoor, K.L. (1988). Thermal analysis of geosynthetics. Geotechnical Fabrics Report, 6, 3, pp. 24–30.
22. Halse, Y.H., Wiertz, J. and Rigo, J.M. (1991). Chemical identification methods used to characterize polymeric geomembranes. Chapter 15, Geomembranes Identification and Performance Testing, Chapman & Hall, London, pp. 316 – 336.
23. Landreth, R.E. (1990). Chemical resistance evaluation of geosynthetics used in the waste management applications. Geosynthetics Testing for Waste Containment Applications, Special Technical Publication STP 1081, ASTM, Philadelphia, pp. 3–11.
24. Rankilior, P.R. (1981). Membranes in Ground Engineering. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1981.
25. Bouazza, A. and Heerten, G. (2012). Geosynthetic applications – sustainability aspects. Chapter 18, Handbook of Geosynthetic Engineering, Shukla, S.K., Editor, ICE Publishing, London, pp. 387–396.
26. Espinoza, R.D. (1994). Soil-geotextile interaction: evaluation of membrane support. Geotextiles and Geomembranes, 13, 5, pp. 281–293.
27. Fluet, J.E. (1988). Geosynthetics for soil improvement: a general report and keynote address. Proceedings of the Symposium on Geosynthetics for Soil Improvement, Tennessee, USA, pp. 1–21.
28. Giroud, J.P. (1992). Geosynthetics in dams: Two decades of experience. Geotechnical Fabrics Report, 10, 5, pp. 6–9.

#### Авторы

**Калашников Валентин Анатольевич,**  
директор ПЕ ОФ АО «СУЭК-Кузбасс»,  
г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1  
e-mail: kalashnikovva@suek.ru

**Горбачев Антон Васильевич,**  
главный инженер ПЕ ОФ АО «СУЭК-Кузбасс»,  
г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1  
e-mail: gorbachevav@suek.ru

#### Authors

**Valentin A. Kalashnikov,**  
Director of PF CP JSC “SUEK-Kuzbass”  
Leninsk-Kuznetsky, 1 Vasil'eva st.  
e-mail: kalashnikovva@suek.ru

**Anton V. Gorbachev,**  
Chief Engineer of PF CP JSC “SUEK-Kuzbass”  
Leninsk-Kuznetsky, 1 Vasil'eva st.  
e-mail: gorbachevav@suek.ru

#### Библиографическое описание статьи

Калашников В.А., Горбачев А.В. Некоторые результаты опытно-промышленных испытаний оболочечных фильтровальных конструкций из геотекстильных и геотекстилеподобных материалов // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 3 (3). – С. 56-79.

#### Cite this article

Kalashnikov V.A., Gorbachev A.V. (2018) Some results of pilot tests of shell filter constructions made of geotextile and geotextile-like materials, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 3(3):56.