



УДК 622.794

## РАЗРАБОТКА НИЗКОЗАТРАТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГОЛЬНОГО ШЛАМА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Калашников В.А., Горбачев А.В.

АО «СУЭК-Кузбасс»

### Аннотация.

В процессе обогащения угля на обогатительных фабриках образуется значительное количество угольного шлама, представляющего собой, в зависимости от содержания твердой фазы, жидкую или полужидкую массу. С одной стороны, это отходы угольного производства, подлежащие утилизации. Но безвозвратная утилизация шлама требует значительных земельных ресурсов для его размещения. С другой стороны, шлам углеобогатительных фабрик является сырьем для последующей переработки и возможного получения прибыли вследствие содержания в нем угля до 40% и более.

Такое положение дел неизбежно ставит задачу разработки низкочастотной технологии обезвоживания угольного шлама для последующего его использования (low-cost recycling technology).

С учетом того, что в Кузбассе в настоящее время действует уже более 50 обогатительных фабрик и установок, объемы потенциального сырья для переработки значительны.

В предыдущей статье авторов были представлены некоторые результаты экспериментов по обезвоживанию угольного шлама путем фильтрования через оболочечные фильтровальные конструкции (ОФК), изготовленные из различных геотекстильных и геотекстилеподобных материалов. Эти результаты позволяют предположить целесообразность дальнейшей научной проработки данного вопроса. В настоящей статье представлен первый вариант разработанной низкочастотной технологии с подробным ее описанием для условий обогатительной фабрики шахты «Комсомолец» АО «СУЭК-Кузбасс». Также представлен план экспериментов с детальным указанием места выполнения всех работ. Рассмотрены одно- и многоярусные варианты размещения ОФК как на заранее подготовленных площадках, так и с применением паллет. Представлены фактические и прогнозные значения влажности угольного шлама при фильтровании через ОФК, выполненные из различных материалов.

### Информация о статье

Принята 14 сентября 2019 г.

### Ключевые слова:

угольный шлам, обогатительная фабрика, оболочечная фильтровальная конструкция, низкочастотная технология обезвоживания, геотекстиль, геосинтетик

## DEVELOPMENT OF A LOW-COST TECHNOLOGY FOR COAL SLURRY DEWATERING FROM CONCENTRATION PLANTS WITH THE USE OF SHELL FILTER CONSTRUCTIONS

Valentin A. Kalashnikov, Anton V. Gorbachev

JSC «SUEK-Kuzbass»

### Article info

Received September 14, 2019

### Abstract.

The coal preparation process produces a significant amount of coal slime at the concentrators, which is, depending on the solids content, a liquid or semi-liquid mass. On the one hand, these are waste coal production wastes



**Keywords:**

coal slurry, concentrating plant, shell filtering construction, low-cost technology of dewatering, geotextile, geosynthetics

to be disposed of. However, non-refundable sludge disposal requires significant land resources for its disposal. On the other hand, sludge from coal preparation plants is a raw material for further processing and possible profit due to the content of coal up to 40% and more.

Such a state of affairs inevitably poses the task of developing a low-cost technology for dewatering coal sludge for its subsequent use (low-cost recycling technology).

Taking into account the fact that Kuzbass already has more than 50 coal concentrating plants and plants-in-operation, the volume of potential raw materials for processing is significant.

In the previous article of the authors, some results of experiments on coal slurry dewatering by means of filtration through shell filtering constructions (SFC) made of different geotextile and geotextile-like materials were presented. These results allow to assume expediency of the further scientific study of this question. In the present article, the first variant of the developed low-cost technology with its detailed description for the conditions of the concentrating plant of Komsomolets mine of JSC SUEK-Kuzbass is presented. In addition, the plan of experiments with detailed indication of a place of performance of all works is presented. Single- and multilevel variants of placement of SFC both on the prepared sites and with the use of pallets are considered. Actual and predicted values of moisture content of coal slurry during filtration through the SFC, made of different materials, are presented.

**Введение**

Проведенные эксперименты, описанные в [1], показали, что степень обезвоживания угольной пульпы для разных геотекстильных материалов различна. На основе полученных результатов была построена матричная модель с представлением влажности различных образцов кека (рис. 1).

Как было установлено в [1], 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 – №5 (Геотек350), №2 (Геотек250) и №6 (брезент). В то же время, наиболее дешевыми (попавшие в I и III квадранты матрицы) в порядке возрастания стоимости являются материалы №№ 1, 3, 4, 5, 6 (полипропиленовая ткань, Мегаспан Агро 40, нетканое полотно, Геотек 250, Геотек 350).

Следовательно, таким образом были установлены типы геотекстиля, пригодного для дальнейших исследований.

**Экспериментальная часть.**

Прогнозные значения по установлению влажности в зависимости от времени обезвоживания по каждому материалу представлены в виде графиков (рис. 2-7). На графиках сплошной линией показаны прогнозные значения изменения влажности, точечной – результаты, полученные путем отбора образцов и их лабораторных исследований. Коэффициент корреляции  $R^2$  изменялся во всех случаях от 0,79 до 0,99, что указывает на высокую точность прогноза.

Время активной фильтрации жидкой фазы через дно ОФК с использованием лабораторной установки [1] составило 3-5 минут после заполнения ОФК пульпой при напоре  $\Delta H = 0-0,5$  м, равном предполагаемому расстоянию от оболочки ОФК до её центра в наполненном состоянии. После фазы активного высачивания фильтрата произошло заиливание пор оболочки частицами или флокулами пульпы, на материале геотекстиля образовался практически непроницаемый слой кека, и фильтрация остановилась (при  $\Delta H = 0,5$  м в течение суток высачивание фильтрата не происходило).

Длина пути фильтрации  $l$  в процессе проведения экспериментов представляет собой переменную величину, поскольку накопление кека в процессе фильтрования происходит постоянно. Таким образом, измерение коэффициента фильтрации для динамической системы «ОФК + слой кека» не представляется возможным.

Таким образом можно сделать вывод о том, что основная фильтрация жидкой фазы пульпы происходит, в основном, через боковые и верхние стенки ОФК по мере оседания флоккул на дно. Также, обезвоживанию образующейся корки кека способствует испарение жидкости и ее капиллярное поднятие из внутренних слоев основного шламового тела к оболочке ОФК.

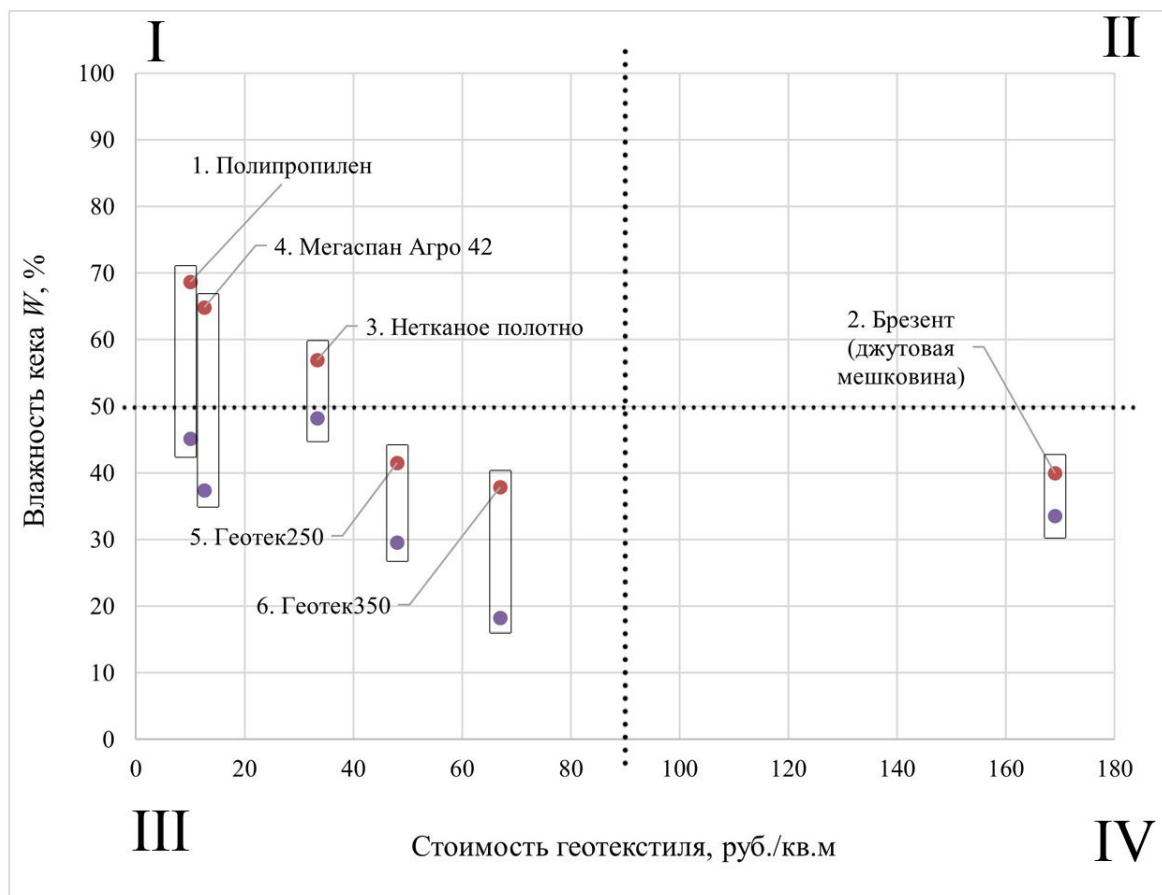


Рис. 1. Матрица «влажность обезвоженного кека – стоимость геосинтетика» для разных вариантов геотекстиля: I – дешевые материалы с низкой скоростью обезвоживания; II – дорогие материалы с низкой скоростью обезвоживания; III – дешевые материалы с высокой скоростью обезвоживания; IV – дорогие материалы с высокой скоростью обезвоживания; влажность кека отмечена маркерами: красные маркеры – после 20 суток обезвоживания; синие маркеры – после 40 суток обезвоживания.

### Технология обезвоживания шлама

Для обезвоживания водоугольной пульпы до приемлемых значений влажности (влажность обезвоженного кека не должна была превышать 20%) предлагается несколько способов. При этом следует учитывать, что рекомендуется обезвоживать водоугольную пульпу, отбираемую с выхода радиального сгустителя. Это обуславливается тем, что:

- 1) объем водоугольной пульпы из радиального сгустителя гораздо меньше, чем объем сточных вод, поступающих в радиальный сгуститель, поэтому для обезвоживания потребуется в десятки раз меньшие объемы объемных фильтрующих конструкций;
- 2) пульпа из радиального сгустителя содержит флокулянты, что повышает качество дренирования жидкости внутри самой ОФК и уменьшает время обезвоживания;
- 3) ввиду меньших объемов перекачиваемой водоугольной пульпы минимизируются размеры и облегчается монтаж закачных трубопроводов;
- 4) наличие фильтр-пресса в технологическом процессе обеспечивает «страхование» от переполнения ОФК и иных нестандартных ситуаций.

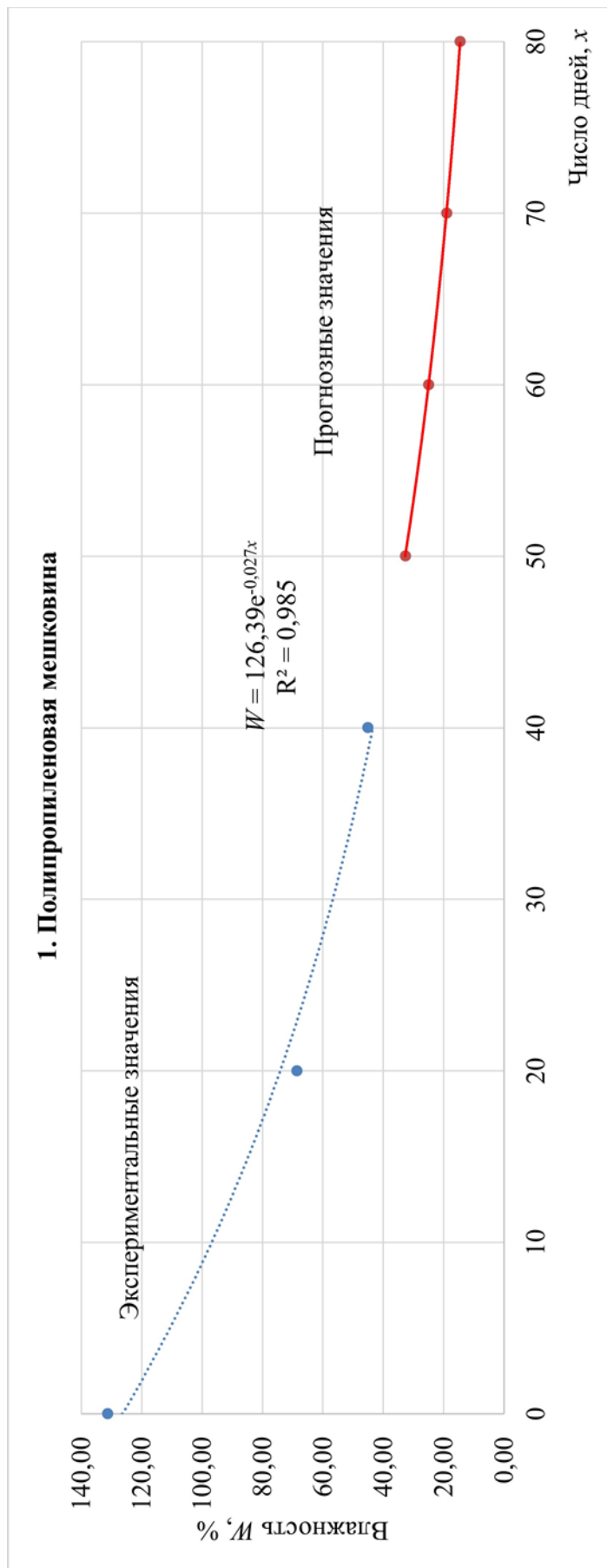


Рис. 2. Динамика изменения влажности  $W$ , % с течением времени  $x$ , сут. для однослойной полипропиленовой мешковины

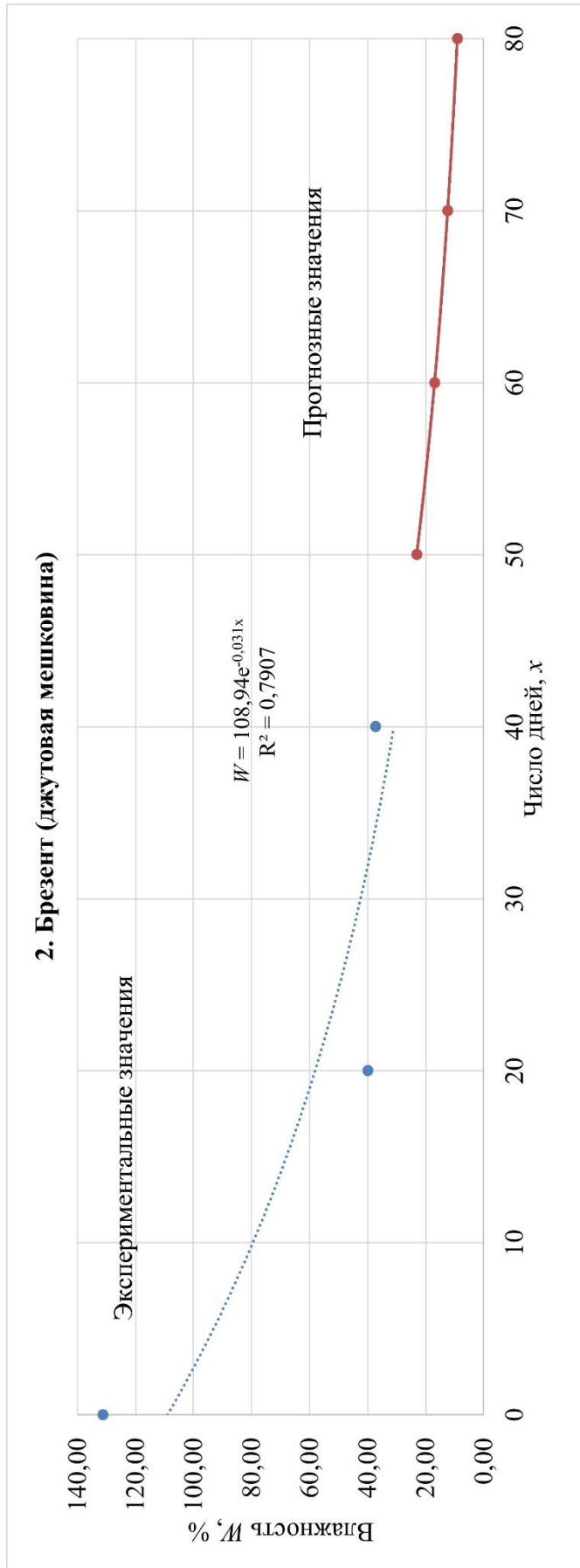


Рис. 3. Динамика изменения влажности  $W, \%$  с течением времени  $x, \text{сут.}$  для брезента (джутовой мешковины)

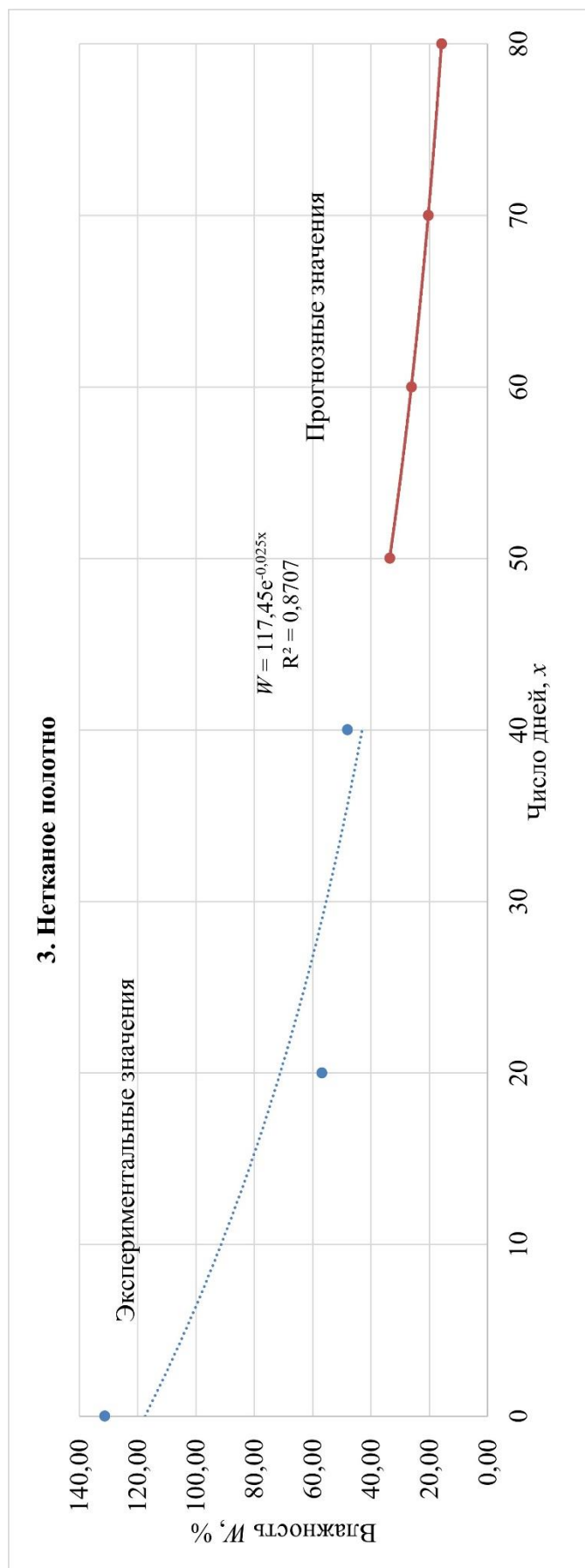


Рис. 4. Динамика изменения влажности  $W$ , % с течением времени  $x$ , сут. для нетканого полотна

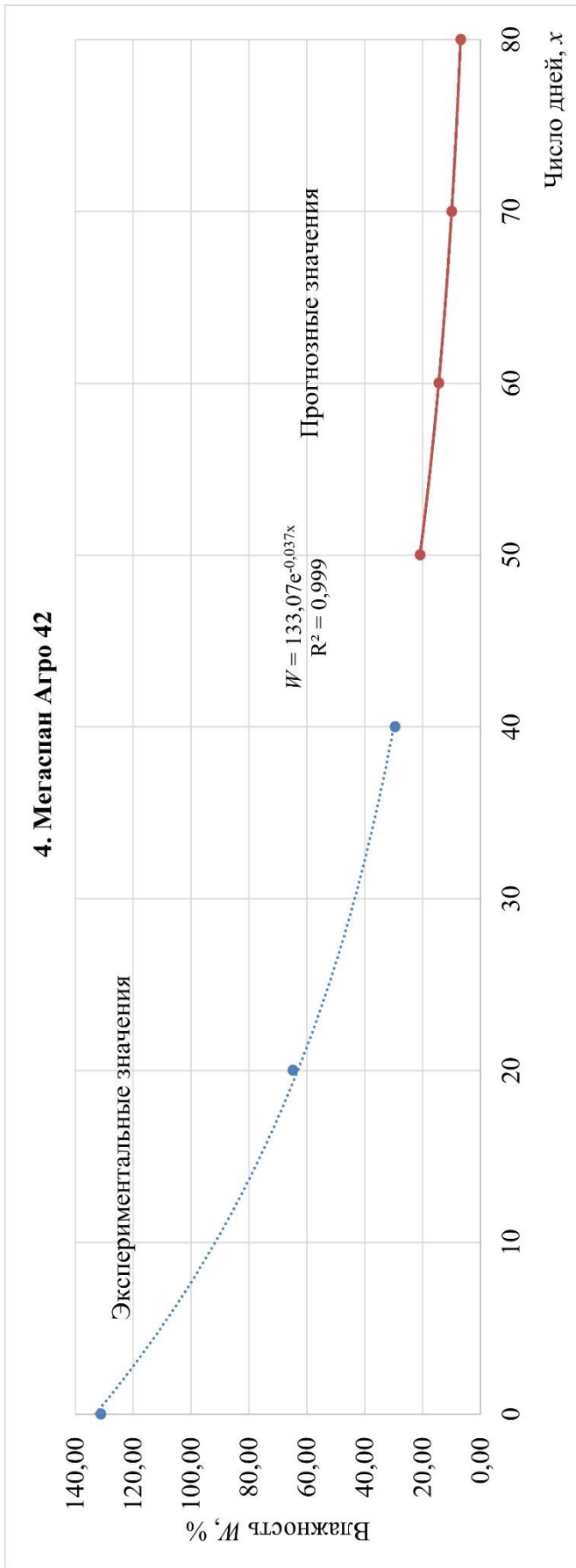


Рис. 5. Динамика изменения влажности W, % с течением времени x, сут. для укрывного материала «Мегаспан Агро 42»

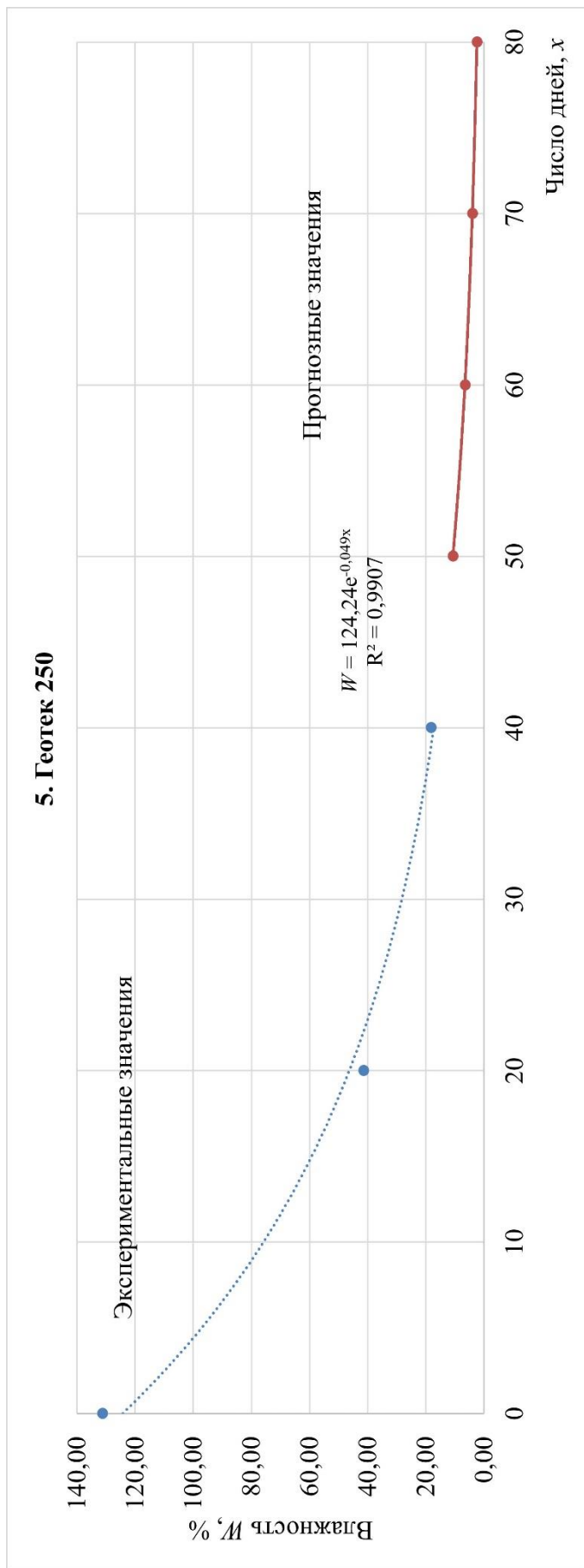


Рис. 6. Динамика изменения влажности  $W$ , % с течением времени  $x$ , сут. для геосинтетика «Геотек 250»



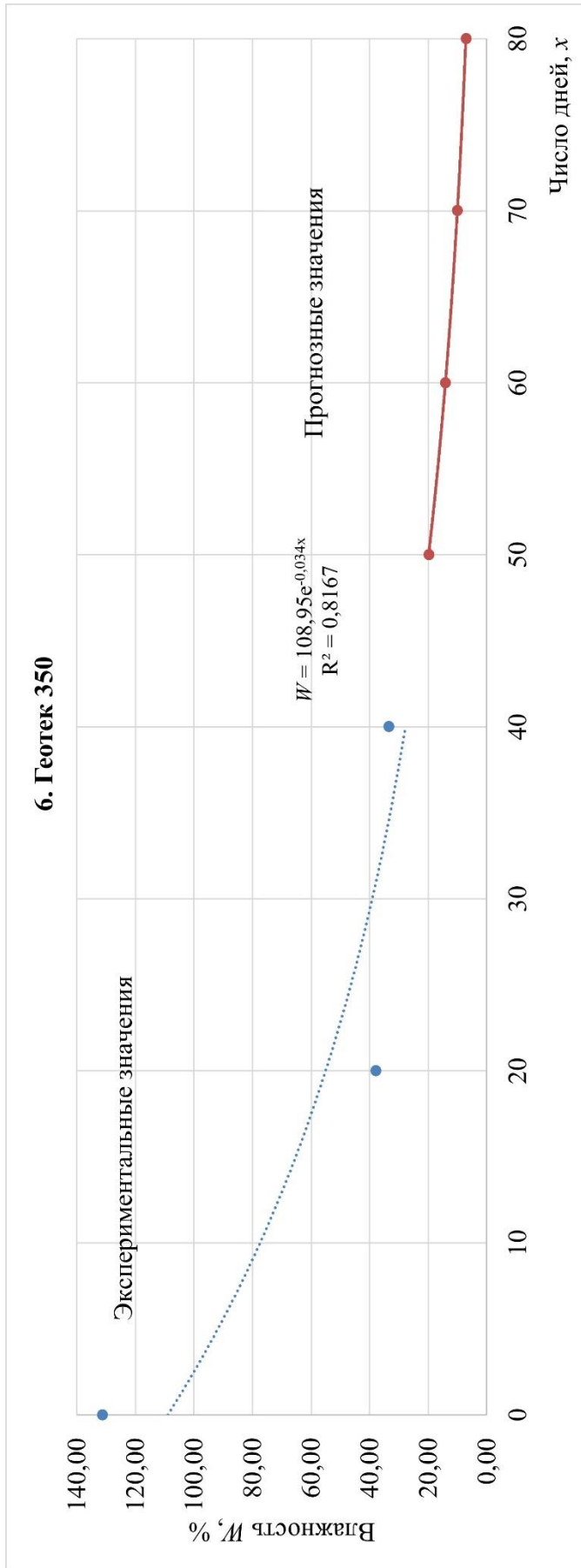


Рис. 7. Динамика изменения влажности  $W$ , % с течением времени  $x$ , сут. для геосинтетика «Геотек 350»



Отбор кека после фильтр-пресса для его дальнейшего обезвоживания в рамках данного исследования не рассматривается, поскольку его загрузка в ОФК не представляется возможной.

Закачивание сгущенной водоугольной пульпы из радиального сгустителя рекомендуется производить по напорным закачным трубопроводам с использованием шламового насоса К100.

Закачивание производится в несколько этапов. Это связано с тем, что обезвоживание кека – это протяженный во времени процесс и сразу заполнить кеком весь объем ОФК невозможно. Поэтому заполнение ОФК производится поэтапно (рис. 8).

Согласно СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [18], гидравлический расчет напорных трубопроводов следует производить с учетом режима движения, особенностей состава и физических свойств транспортируемой пульпы. Влажность водоугольной пульпы, полученная в результате лабораторного анализа, составила около 130%. При такой влажности осадок подчиняется законам движения сточной жидкости.

Гидравлический уклон  $i$  при расчете напорных пульпопроводов диаметром 150-400 мм определяется по формуле:

$$i = \frac{0,136 \cdot (100 - W_0)^2}{D_{см}^{2,25}} + \frac{\lambda \cdot V^2}{2gD}, \quad (1)$$

где  $W_0$  – влажность водоугольной пульпы, %;

$V$  – скорость движения пульпы в трубопроводе, м/с;

$D$  – диаметр трубопровода, м;

$D_{см}$  – диаметр трубопровода, см;

$\lambda$  – коэффициент сопротивления трению по длине, определяемый по формуле:

$$\lambda = 0,00214 \cdot W_0 - 0,191. \quad (2)$$

Для трубопроводов диаметром 150 мм значение  $\lambda$  следует увеличить на 0,01.

При влажности пульпы (на выходе из радиального сгустителя) 130% коэффициент сопротивления по длине  $\lambda$  составит 0,0872, а гидравлический уклон  $i$  примет значение 34,014 при скорости движения пульпы 10 м/с, что меньше создаваемого насосом К-100 напора (80 м).

Таким образом, целесообразно применение магистрального трубопровода диаметром не менее 150 мм для подачи пульпы на площадку складирования ОФК.

Для присоединения ОФК к магистральному трубопроводу достаточно использования гибких пожарных рукавов (закачных пульпопроводов), присоединенных посредством фланцев с отводами или через пожарные присоединительные головки Богданова.

Для размещения ОФК предлагается несколько вариантов исполнения площадки. В целом, варианты компоновки площадки для складирования ОФК можно представить в виде следующей диаграммы (рис. 9):

Варианты компоновки могут быть самыми различными. Элементы вертикальной компоновки площадки складирования ОФК в максимально возможном исполнении представлены на рис. 10.

Применение **кровли** площадки с размещенными ОФК рекомендовано для предотвращения повторного намокания кека за счет атмосферных осадков. В случае применения кровли и **кран-балки**, минимальная высота до самой нижней точки кран-балки должна выбираться исходя из максимальной высоты порожнего автосамосвала, подаваемого под погрузку. Для предлагаемого автосамосвала Volvo высота до дна поднятой на максимальную высоту паллеты с загруженной ОФК должна быть не менее 3,5 м.

От размещения кровли и кран-балки можно отказаться, причем это повлияет на удобство погрузки обезвоженных ОФК в автосамосвалы.

Также, опциональным является применение **влагонепроницаемого укрывного материала** над ОФК. Его применение целесообразно при отсутствии кровли и при значительном количестве атмосферных осадков (в весенний и осенний периоды). Наличие укрывного материала уменьшит

время обезвоживания кека в ОФК, предотвратит повторное водонасыщение кека за счет атмосферных осадков и частично снизит разрушающее действие ультрафиолетового излучения на материал оболочек (особенно актуально при использовании УФ-нестабилизированных и высокопористых материалов для изготовления ОФК – джута, бытового полипропилена и т.п.).

**Площадка** для размещения ОФК должна быть выровнена с формированием уклона для стока фильтрата.

Значения минимальных уклонов площадки под складирование ОФК для обеспечения стока фильтрата в соответствии с [18] приведены в таблице 5.1.

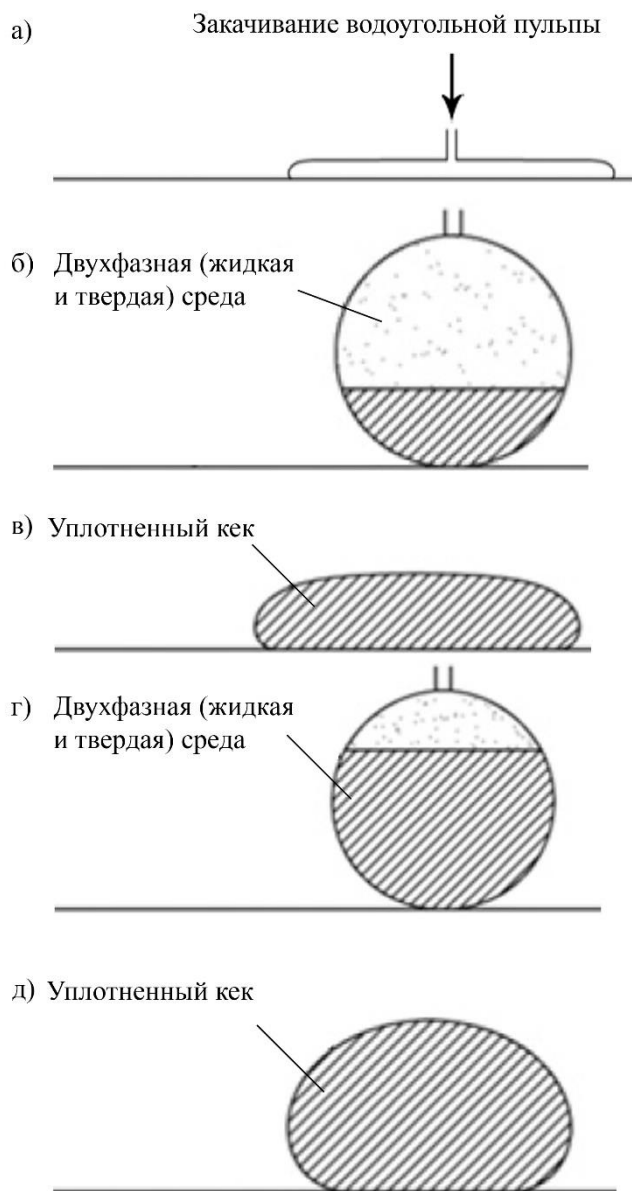


Рис. 8. Этапы заполнения ОФК: а) первоначальное положение пустой ОФК; б) состояние ОФК после первой закачки водоугольной пульпы (относительно большое количество жидкой фазы и относительно малое количество твердой фазы внутри ОФК); в) состояние ОФК после стока фильтрата из первоначально закачанного объема пульпы и уплотнения шламового тела; г) состояние ОФК после второй и последующих закачек пульпы; д) окончательное состояние ОФК с уплотненным обезвоженным шламовым телом (кеком).

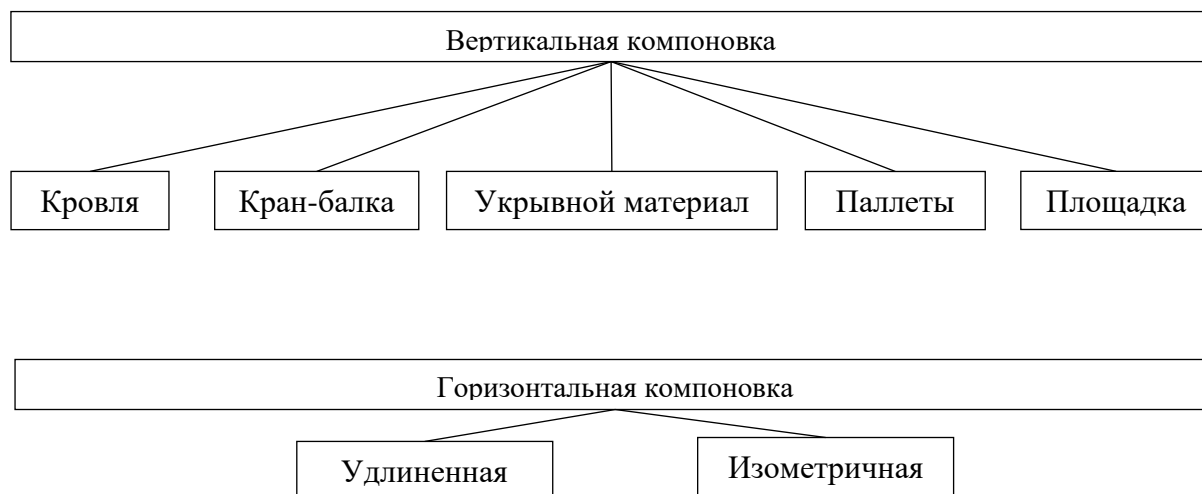


Рис. 9. Варианты компоновки площадки складирования ОФК

Таблица 1. Значения минимальных уклонов для различных видов покрытий

Покрытие площадки	Минимальный уклон $i$ , ‰
асфальтобетон	3
щебеночное покрытие, брусчатка	4
булыжное покрытие	5
полимерное, полимербетонное, стеклокомпозитное	1-5

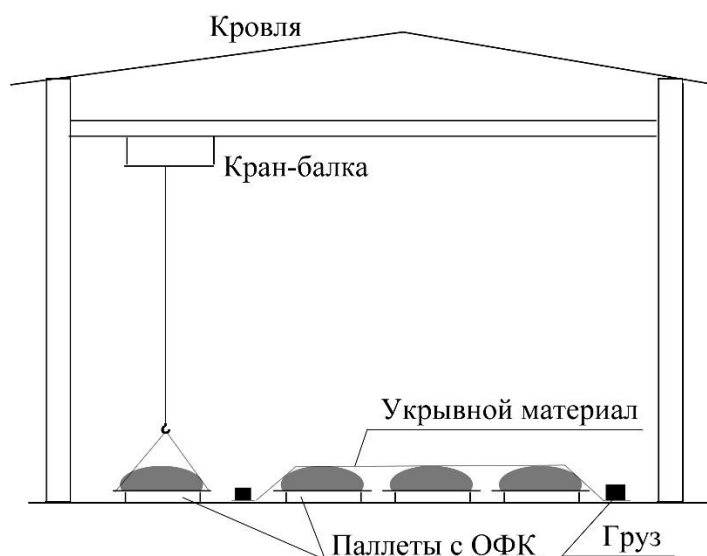


Рис. 10. Элементы вертикальной компоновки площадки складирования ОФК.

Уклон может быть сформирован в одну сторону площадки, в разные стороны от центра площадки и от периферии к центру площадки (рис. 11). В каждом случае необходимо наличие приемной емкости для отвода и сбора фильтрата (канавы и водосборник).

Ввиду высокого содержания влаги в закачиваемой пульпе и, вследствие этого, практически нулевому сопротивлению сдвигу водонасыщенного материала, превышение указанных уклонов площадки складирования может привести к сползанию ОФК с места их первоначального размещения.

ОФК могут быть размещены как на **паллетах (поддонах)**, так и непосредственно на площадке.

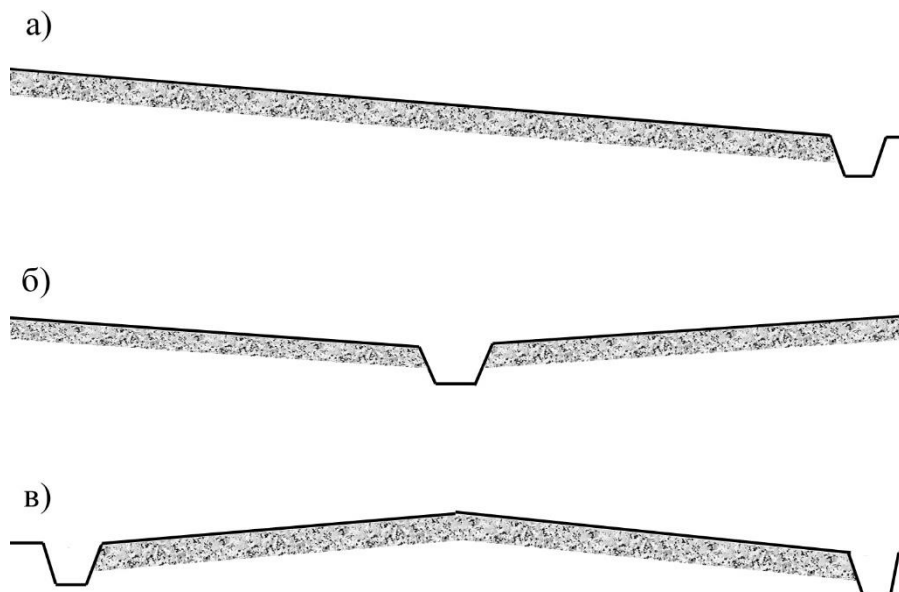


Рис. 5.4. Вертикальная планировка площадки размещения ОФК. Направление уклона: а) односторонний; б) двусторонний к центру; в) двусторонний от центра.

В первом случае высота поддонов должна обеспечивать возможность подведения под них строп для погрузки ОФК в автосамосвал с помощью крана. В этом случае грузоподъемность крана должна быть больше массы заполненной обезвоженным кеком ОФК, а линейные размеры одной ОФК не должны превосходить внутренние размеры кузова автосамосвала (приблизительно  $5 \times 1,5 \times 2$  м). После погрузки паллеты с ОФК в кузов автосамосвала паллета из кузова удаляется с помощью крана (рис. 12).

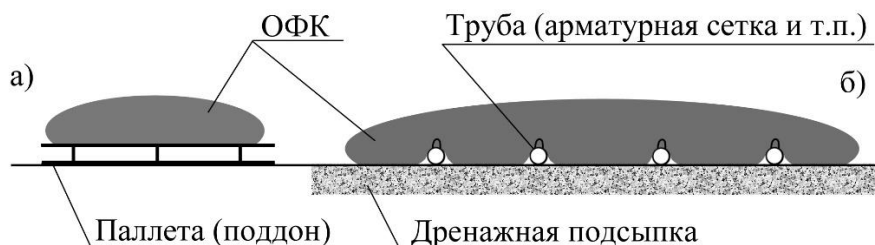


Рис. 12. Варианты размещения ОФК на площадке: а) на поддонах (паллетах); б) на дренирующем слое.

При таком варианте размещения ОФК отсыпка дренирующего слоя необязательна; достаточно обеспечения необходимого уклона для стока фильтрата.

При непосредственном размещении ОФК на площадке складирования необходимо наличие дренирующего слоя толщиной 15-20 см из крупного щебня либо обеспечение уклона 1-5 ‰ в соответствии с [18].

В данном случае возможны три варианта:

1) размещение ОФК большого объема (десятки м<sup>3</sup>) непосредственно на дренирующем слое. При этом погрузка обезвоженного кека будет производиться погрузчиком после вскрытия оболочки ОФК;

2) размещение ОФК небольшого объема (несколько м<sup>3</sup>) непосредственно на дренирующем слое. При этом погрузка обезвоженного кека может производиться как погрузчиком после вскрытия оболочки ОФК, так и без вскрытия оболочки с помощью грузозахватных приспособлений (грузовых захватов);



3) предварительное размещение под ОФК приспособлений для строповки двумя четырехветвевыми стропами или траверсами с целью погрузки ОФК без вскрытия непосредственно в автосамосвал. В качестве данных приспособлений могут выступать стальные трубы с приваренными на торцах проушинами, арматурная сетка, ленточные или круглопрядные текстильные стропы и подобные такелажные элементы, размещаемые на площадке складирования заранее, до размещения ОФК и их заполнения пульпой.

**Горизонтальная планировка** площадки предполагает либо компактное размещение небольших по объему ОФК (ориентация относительно продольной оси площадки в этом случае не имеет значения), либо, при их протяженных размерах, размещение вдоль или поперек продольной оси площадки.

В качестве места обезвоживания ОФК в непосредственной близости от радиального сгустителя предлагается две площадки, имеющие естественный уклон:

- северо-западнее радиального сгустителя ориентировочной площадью 300 м<sup>2</sup>;
- юго-западнее радиального сгустителя ориентировочной площадью 800 м<sup>2</sup> (рис. 13).

Обе площадки требуют расчистки от складированного оборудования и мусора. Также, площадки должны быть выровнены и спланированы с заданным в соответствии с [18] уклоном.

Северо-западная площадка по ряду причин менее пригодна для проведения работ, а именно:

- гораздо меньшая площадь по сравнению с юго-западной площадкой;
- неправильная некомпактная форма;
- наличие вокруг нее автодорог, над которыми так или иначе придется прокладывать магистральный пульпопровод на значительной высоте, что затруднит его монтаж, обслуживание и подключение к нему закачных пульпопроводов.

Площадка юго-западнее здания радиального сгустителя (приблизительно 35 × 23 м) лишена этих недостатков, за исключением того, что на ней размещены стройматериалы.

На данной площадке возможно несколько вариантов размещения ОФК:

**Вариант 1.** Размещение поперек площадки рядами по 4 ОФК в ряд, приблизительно 20-23 ряда шириной по 1,5 м каждый, с размещением ОФК на поддонах (паллетах) или на иных конструкциях, позволяющих произвести их погрузку в автосамосвал без вскрытия оболочки ОФК (рис. 14).

Данная компоновка размещения ОФК обладает следующими особенностями:

- после монтажа первых рядов можно сразу начать заполнение ОФК, параллельно монтируя следующие ряды;
- при окончании обезвоживания и отгрузке первых рядов на их месте можно сразу начать располагать новые ОФК и возобновлять закачку, не создавая помех для отгрузки последующих рядов. Данный порядок позволит обеспечить цикличность технологической цепи «монтаж ОФК – их заполнение – обезвоживание кека – отгрузка потребителю» без значительных временных затрат и простоев.

Вертикальная планировка площадки в данном случае может быть выбрана любая (с односторонним уклоном, с двусторонним уклоном от центра или с двусторонним уклоном к центру), поскольку большое число ОФК и их относительно небольшие размеры позволят фильтрату свободно стекать в любом направлении, что также является преимуществом данного варианта.

Заполнение ОФК может осуществляться от магистрального трубопровода гибкими пожарными рукавами. Поскольку диаметр магистрального трубопровода предполагается 150 мм (0,0176 м<sup>2</sup>), то для обеспечения наполнения ОФК предлагается выбрать такое же по площади поперечного сечения количество закачных гибких трубопроводов, в качестве которых предлагается использовать стандартные пожарные рукава типа «Сибтекс» внутренним диаметром 50+2 мм длиной 20±1 м. Для данного типоразмера рукавов потребуется не более 9.



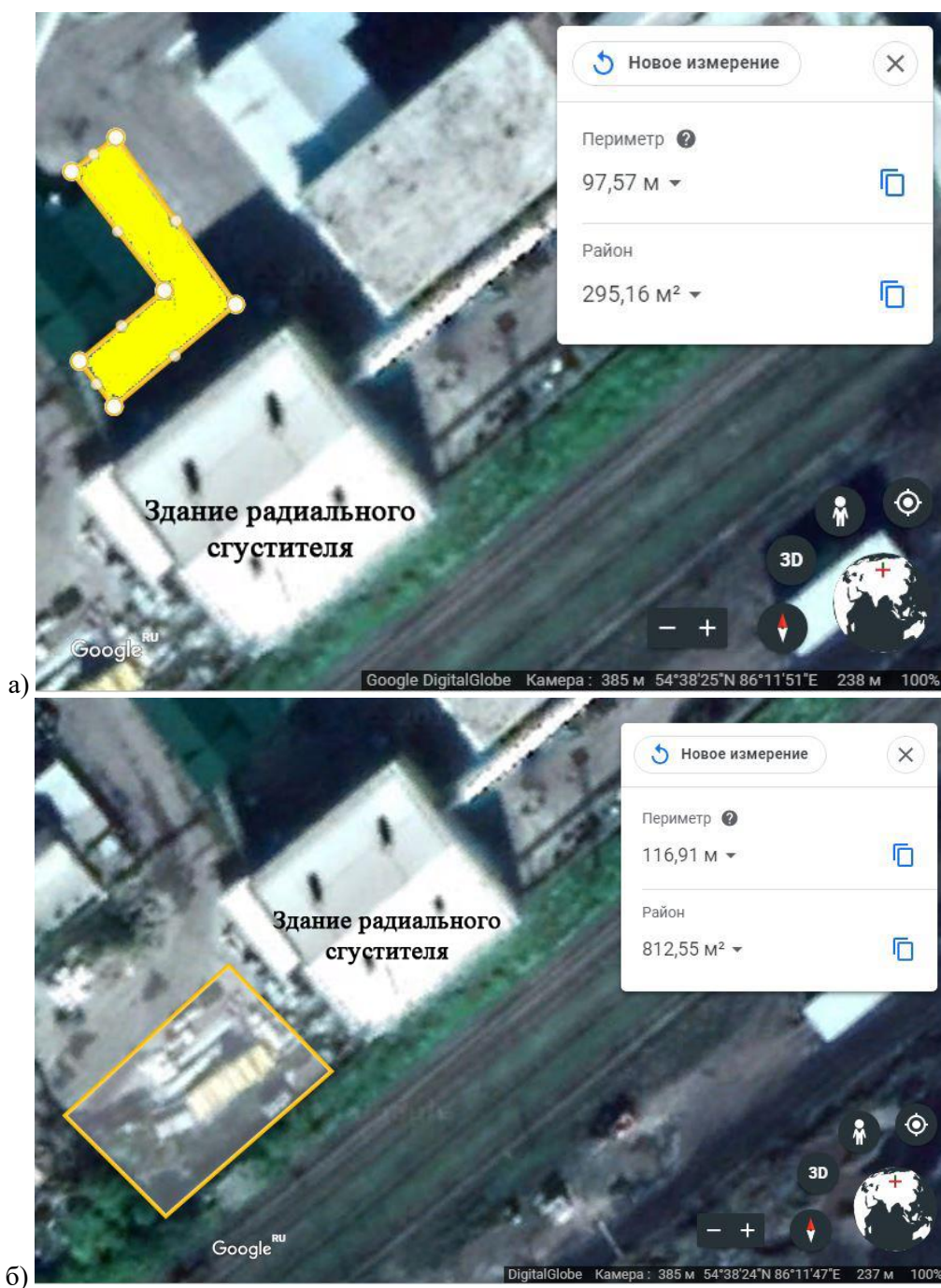


Рис. 13. Предполагаемые площадки для размещения и обезвоживания ОФК, расположенные относительно здания радиального сгустителя: а) северо-западнее; б) юго-западнее, ориентировочные размеры  $35 \times 23$  м.

Для следующего стандартного диаметра  $65 \pm 2$  мм рукавов потребуется не более 5, что более предпочтительно, т.к. в данном случае потери напора в рукавах будут меньше, а наполнение ОФК будет происходить более интенсивно, сокращая время на наполнение. Одним рукавом одновременно возможно наполнение сразу четырех ОФК (один ряд). Стандартной длины этого рукава (20 м) достаточно, чтобы его посредством можно было наполнить 4-6 параллельных рядов ОФК (рис. 15).



Рис. 14. Первый вариант размещения ОФК (синим цветом указано расположение магистрального пульпопровода; серые прямоугольники – ОФК).

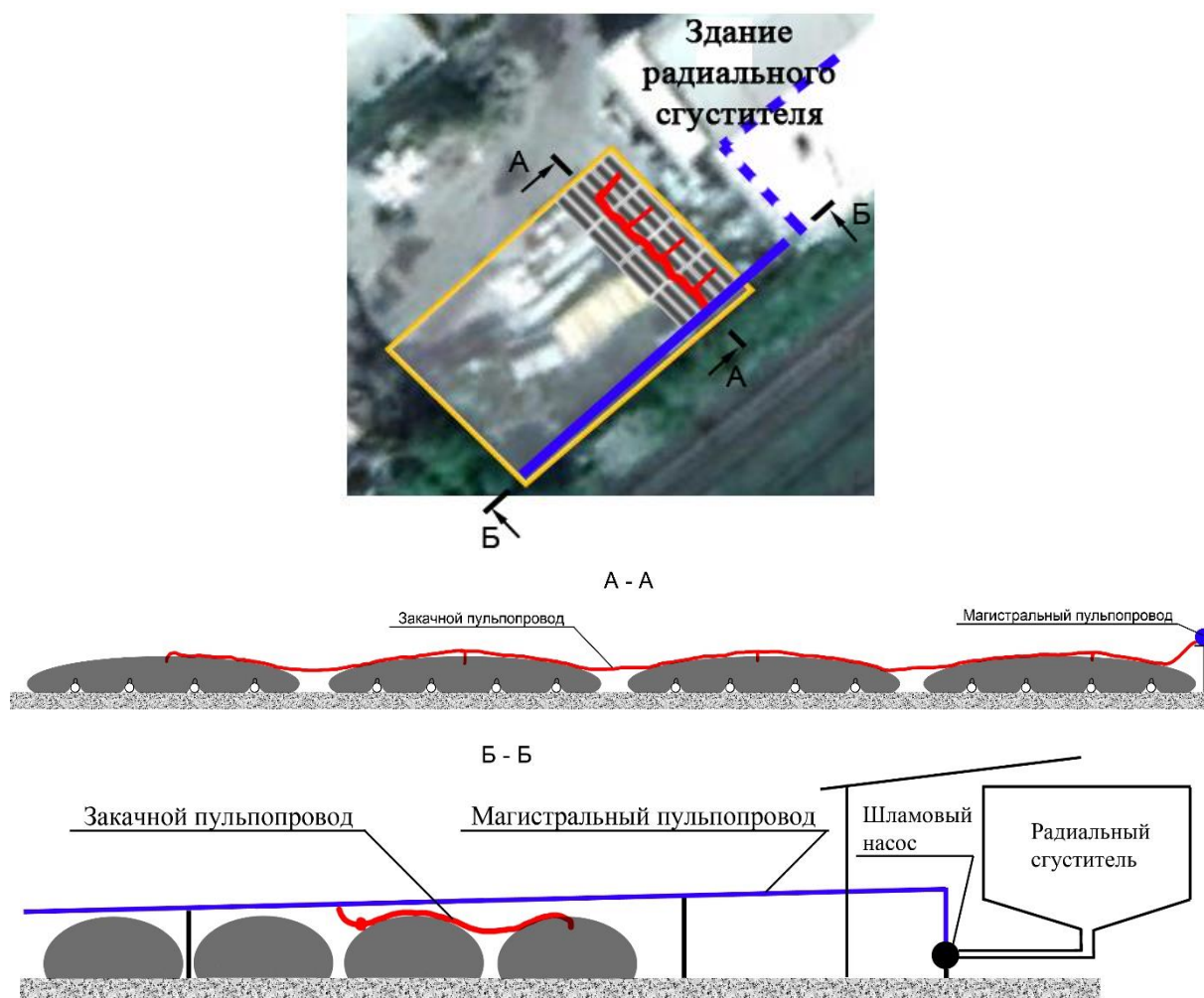


Рис. 15. Схема размещения магистрального (отмечен синим цветом) и одного из закачных пульпопроводов (отмечен красным цветом) относительно здания радиального сгустителя.



**Вариант 2.** Размещение ОФК большого объема, не предусматривающих погрузку в автосамосвал целиком, в один слой (рис. 16). Расположение магистрального и закачных трубопроводов предполагается аналогично первому варианту: стационарный магистральный пульпопровод, выходя из здания радиального сгустителя, направлен вдоль железной дороги, не мешая работе автотранспортного и погрузочного оборудования; переносные закачные пульпопроводы – поперек площадки перпендикулярно магистральному, позволяя подключить ОФК в любой точке площадки.

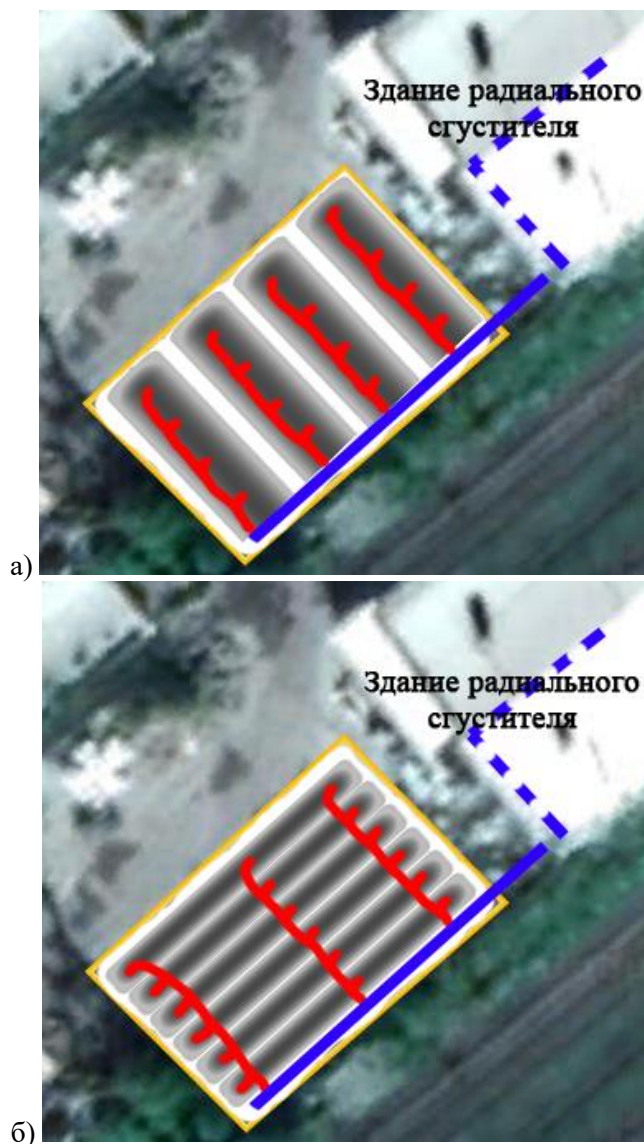


Рис. 16. Второй вариант размещения ОФК в один ярус: а) с поперечным односторонним или двусторонним уклоном площадки; б) с продольным односторонним или двусторонним уклоном площадки.

На рис. 16 представлены варианты одноярусного размещения ОФК большого объема на предлагаемой площадке. Ориентация ОФК в данном случае определяет направление уклона и вертикальную планировку участка: поперечное размещение протяженных ОФК диктует поперечное же направление уклона; продольное размещение протяженных ОФК предполагает продольное направление уклона. Это связано с обеспечением качественного стока фильтрата без образования застойных зон (луж).

Преимуществами данного варианта являются:



- небольшое количество ОФК при большом объеме одной ОФК;
- меньшее число переключений закачных трубопроводов во время закачки (вплоть до полного отсутствия таковых);
- большее время закачки ОФК без остановки, что, в свою очередь может уменьшить нагрузку на фильтр-прессы и провести более длительное их обслуживание;
- открытость поверхности ОФК атмосфере, что улучшит испарение капиллярно-вытягиваемой из шламowego тела влаги при консолидации кека.

Большая площадь открытой поверхности ОФК является недостатком при чрезмерном количестве атмосферных осадков; данный недостаток устраняется применением влагонепроницаемого укрывного материала.

### Вариант 3. Штабелирование ОФК

Данный вариант также предусматривает применение ОФК большого объема (десятки м<sup>3</sup>), складываемых в несколько ярусов (рис. 17). Заполнение начинается с ОФК нижнего яруса; после их наполнения до предельного объема закачные трубопроводы нижнего яруса блокируются (либо переключаются), и производится заполнение ОФК верхнего яруса:

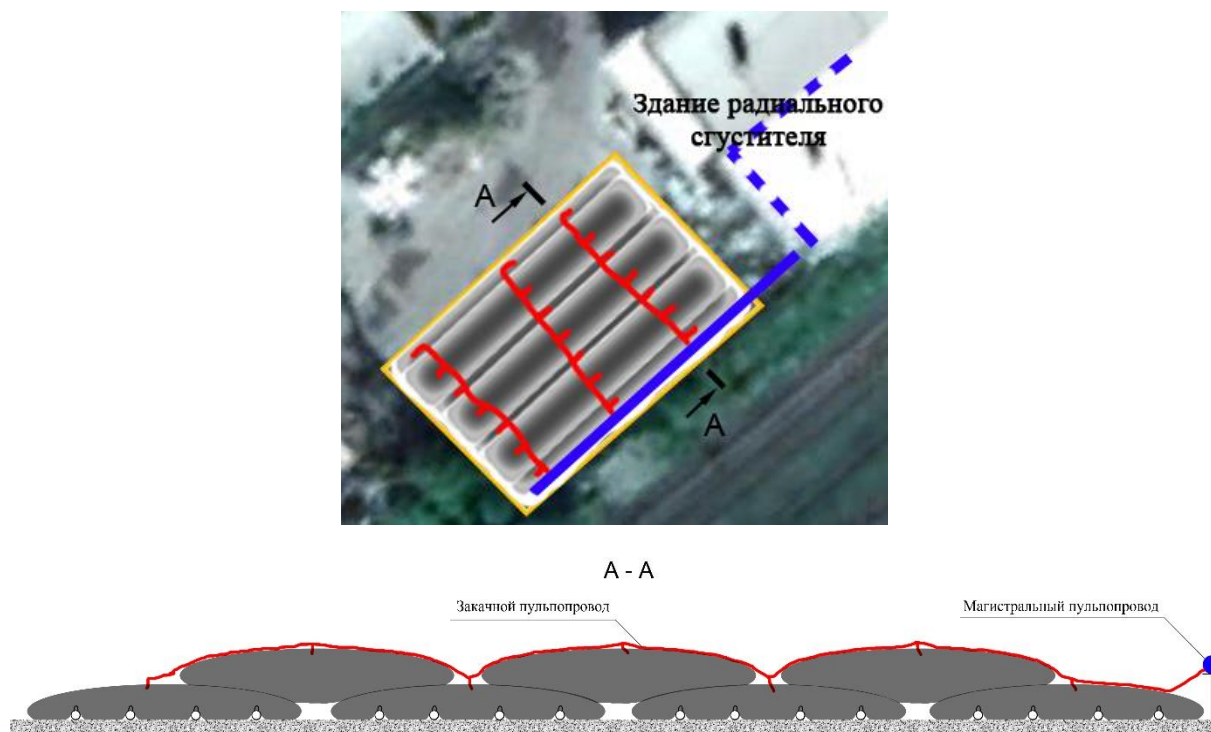


Рис. 17. Схема размещения ОФК в два яруса

Закачивание пульпы по предложенной многоярусной схеме расположения ОФК является приемлемым с точки зрения оптимизации использования площадки, однако необходимо учитывать следующие моменты:

- после первого этапа консолидации кека при повторной закачке нижних ярусов ОФК давление пульпы в магистральном и закачных трубопроводах должно быть выше, для того чтобы преодолеть вес оболочек верхнего яруса, частично заполненных кеком;
- повышенное давление закачиваемой пульпы в трубопроводах и вес заполненных ОФК верхних ярусов влекут за собой требование повышенной прочности оболочек нижних ярусов ОФК с целью недопущения прорыва закачиваемой пульпы и создания аварийной ситуации с затоплением площадки складирования;
- в качестве такелажных приспособлений, позволяющих производить погрузку ОФК без вскрытия оболочки в автосамосвал, для второго и последующих ярусов возможно применение только мягких конструкций (ленточных и круглотканых строп), заранее укладываемых под ОФК



второго и последующих ярусов. Это связано с тем, что при закачке и первоначально неравномерном распределении пульпы в оболочках, жесткими конструкциями (арматурной решеткой, трубами) могут быть повреждены ОФК нижнего и верхнего ярусов;

- многоярусное расположение ОФК небольших размеров, отгружаемых без вскрытия оболочек в автосамосвал, неприемлемо в холодное время года с отрицательными среднесуточными температурами, поскольку будет наблюдаться смерзание ОФК, расположенных в смежных ярусах.

Дополнительное давление для преодоления веса заполненной ОФК вышележащего яруса может быть рассчитано как:

$$P_{\text{доп}} = \rho_{\text{к}} \cdot g \cdot h \cdot N, \quad (3)$$

где  $P_{\text{доп}}$  – давление, создаваемое заполненной кеком ОФК, Па;

$\rho_{\text{к}}$  – плотность консолидированного кека, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – высота заполненной кеком ОФК, м;

$N$  – число вышележащих ОФК, которые перекрывают нижележащую.

Плотность кека  $\rho_{\text{к}}$  не является величиной постоянной, т.к. зависит от петрографического состава поступающей в радиальный сгуститель шламовой воды и времени обезвоживания, прошедшего от окончания закачивания пульпы.

Если для предварительного расчета принять  $\rho_{\text{к}} = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, горизонтальные размеры ОФК верхнего и нижнего ярусов, уложенных вдоль площадки складирования 5×32 м (Ш×Д), высоту на две трети заполненной ОФК  $h = 0,7$  м и число нижележащих ОФК  $N = 1$ , то дополнительное давление в закачном трубопроводе нижних ОФК, находящихся в середине будет равно:

$$P_{\text{доп}} = \rho_{\text{к}} \cdot g \cdot h \cdot N = 1500 \cdot 9,81 \cdot 0,7 \cdot 1 = 10,3 \text{ кПа}, \quad (4)$$

а ОФК, находящихся по краям:

$$P_{\text{доп}} = \rho_{\text{к}} \cdot g \cdot h \cdot N = 1500 \cdot 9,81 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 5,15 \text{ кПа}. \quad (5)$$

Мы видим, что хотя дополнительное давление для крайних ОФК, перекрытых верхним ярусом лишь наполовину, в два раза меньше, т.е. порядка 5 кПа, но учитывать при выборе насоса, трубопроводов и материала для оболочки ОФК следует максимально возможное дополнительное давление (в нашем случае, 10,3 кПа).

Расчет корректируется для иных значений плотности кека, которые могут быть получены при проведении работ по предложенной технологии.

Следует отметить, что большие объемы кека в крупных ОФК будут обезвоживаться дольше, т.к. на сток фильтрата и доведения влажности кека до кондиционных значений будет уходить больше времени. С другой стороны, удельная стоимость ОФК (в пересчете на 1 м<sup>3</sup> обезвоженного кека) для крупных ОФК значительно меньше, чем для небольших, что может повлиять на определение оптимального размера ОФК с целью обезвоживания водоугольного шлама с последующей реализацией угольного кека потребителям.

Поскольку комплексная оценка соотношений «время обезвоживания до кондиционных значений влажности – стоимость ОФК – вместимость ОФК – экономический эффект технологии» в настоящее время отсутствует, полученные в результате опытно-конструкторских работ данные представляют большой практический интерес как с эколого-экономической точки зрения (минимизация экологической нагрузки с получением прибыли), так и с научной (обоснование комплексных методов использования отходов горно-обогатительного производства).



## Планирование экспериментальных работ

С целью проведения полномасштабных исследований практического применения предложенной технологии обезвоживания угольного шлама и путей ее оптимизации предлагается выполнить следующие мероприятия:

1. **Выбрать и подготовить площадку для размещения ОФК.** Необходимо выбрать предложенную площадку, освободить ее от оборудования и мусора и подготовить для проведения работ, т.е. выполнить планировку с соблюдением уклонов и приемников для сбора фильтрата; нанести дренарующий слой и разместить (при необходимости) приспособления для перемещения складированных ОФК в кузов автосамосвала.

2. **Выполнить монтаж магистрального и закачных трубопроводов.** Монтаж магистрального трубопровода необходимо выполнить с подключением его через запорную арматуру и шламовый насос к выходу из радиального сгустителя. Закачные трубопроводы, присоединенные к магистральному трубопроводу, должны иметь достаточную длину для наполнения ОФК, наиболее удаленной от магистрального трубопровода. Помимо этого, они должны быть оборудованы фланцами или соединительными головками Богданова соответствующего размера. Последнее применяется, если в качестве закачных трубопроводов будут использованы пожарные рукава, что более предпочтительно с точки зрения скорости монтажа и переключений закачных трубопроводов между отдельными ОФК.

3. **Выполнить изготовление и монтаж ОФК.** Рекомендуется для проведения первоначальных закачек изготовить несколько ОФК различных конструкций, например, 4-8 штук под погрузку в автосамосвал без вскрытия оболочки и четыре-шесть ОФК большого объема (10-15 и 30-40 м<sup>3</sup>) из разных материалов, предполагающих после окончательного заполнения и обезвоживания вскрытие оболочки и отгрузку кека погрузчиком. Это позволит уже на начальном этапе проведения экспериментальных работ получить данные для анализа факторов, влияющих на экономическую целесообразность выбора ОФК соответствующего объема и их площадных геометрических параметров (изометричная или удлиненная форма оболочки). При этом под ОФК большого объема обязательно наличие дренающего слоя для обеспечения качественного стока фильтрата.

4. **Закачивание водоугольной пульпы в ОФК.** После присоединения насоса к выходу из радиального сгустителя, магистрального трубопровода к насосу и закачных трубопроводов к магистральному, необходимо выполнить заполнение ОФК водоугольной пульпой. Закачивание производится циклично, с контролем и замером следующих параметров на каждом этапе закачивания:

- заполнения ОФК до максимально возможного объема;
- времени закачивания до полного заполнения на каждом этапе;
- времени обезвоживания – определяется как падение скорости консолидации кека, т.е. изменения высоты ОФК не более чем 10% в сутки;
- влажности  $W_{0,п}$  и плотности  $\rho_{0,п}$  пульпы. Отбор проб и измерения производить в соответствии с [15, 16] либо, при невозможности определения данных параметров данными методами, в соответствии с [12, 13], подразумевая при этом, что пульпа является грунтом с влажностью более влажности на границе текучести  $W_L$  в соответствии с ГОСТ 25100-2011;
- числа циклов «закачивание – сток фильтрата» до максимального заполнения ОФК кеком;
- интенсивности водоотдачи ОФК на каждом этапе закачки, м<sup>3</sup>/ч (замер возможен только при размещении ОФК на поддонах, укрытых водонепроницаемым материалом, позволяющим осуществить сбор фильтрата). Замер производится путем определения количества фильтрата, стекающего из ОФК за определенный промежуток времени;
- гранулометрического состава шлама в закачиваемой пульпе методом мокрого отсева.

5. **Обезвоживание кека до кондиционных значений влажности.**

Данный этап подразумевает контроль влажности  $W_k$  и плотности  $\rho_k$  кека с течением времени после последней закачки и консолидации путем отбора проб через локальные вырезы в оболочке ОФК. Отбор проб и измерения соответствующих параметров производить в соответствии с [12, 13].





**6. Погрузка, транспортировка кека.** При достижении кондиционных значений влажности (определяются Заказчиком или конечными потребителями) погрузка кека в автосамосвал осуществляется либо без вскрытия ОФК автокраном (при наличии специальных приспособлений, позволяющих осуществить погрузку), либо со вскрытием оболочки и отгрузки кека погрузчиком в автосамосвал.

**7. Сбор и утилизация ОФК.** После транспортировки невскрытых ОФК с кеком они либо оставляются у конечного потребителя (данный вопрос предварительно согласовывается с потребителем), либо утилизируются через организацию, осуществляющую сбор и утилизацию пластиковых отходов. Вскрытые ОФК, из которых кек отгружается в автосамосвал погрузчиком, утилизируются.

**8. Обработка полученных данных.** Осуществляется с применением методов математической статистики. В частности, для получения факторной модели работы различных ОФК планируется:

- установить взаимосвязь физических параметров (текущей влажности  $W$ , влажности на границах текучести  $W_L$  и раскатывания  $W_P$ , плотности  $\rho$ , коэффициента водонасыщения  $S_r$ ) и механических параметров (прочности на сдвиг  $\tau$ , сцепления  $C$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ ) пульпы и кека с временем закачки, параметрами материала, из которого изготовлены ОФК ( $O_{90}$ , толщина волокон и прядей, плотность материала), геометрическими параметрами ОФК, гранулометрическим и петрографическим составом кека;

- установить значимые факторы, влияющие на скорость обезвоживания кека (т.е. получение функции вида  $W_k = f(p_1, p_2, \dots, p_n)$ , где  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – факторы, влияющие на влажность кека и скорость ее изменения в процессе обезвоживания);

- выработать рекомендации по оптимизации процессов подготовки пульпы, изготовления и закачивания ОФК, обезвоживания; погрузки и транспортировки с учетом полученных результатов.

## Выводы

1. Изучение состояния вопроса по обезвоживанию угольных шламов показало, что в настоящее время отсутствует единая (унифицированная) технология обезвоживания с применением геотекстильных материалов (Геотуб®, Миатуб и др.). При общей схожести существующих технологий не выявлено единых требований к подготовке исходного сырья, площадке для проведения работ, типу, свойствам и параметрам используемого геотекстиля и т.д., что затрудняет применение той или иной технологии в промышленных условиях и крупномасштабном объеме угольных шламов.

2. Исследование и анализ исходного сырья ОФ «Комсомолец» показали, что его состав по крупности распределен относительно равномерно, а собственно размер угольных частиц позволяет вести обезвоживание с использованием оболочечных фильтровальных конструкций (ОФК), материал которых позволяет эффективно фильтровать твердые фракции размером приблизительно от 0,1-0,2 мм ( $O_{90} - 135-175$  мкм), что может быть эффективно для улавливания и обезвоживания угольных шламов (примерно 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).

3. Предложено к внедрению три варианта технологии обезвоживания угольного шлама с применением ОФК, имеющие следующие различия:

– размещение ОФК большого объема (десятки и сотни м<sup>3</sup>) непосредственно на дренирующем слое, при этом погрузка обезвоженного кека будет производиться погрузчиком после вскрытия оболочки ОФК;

– размещение ОФК небольшого объема (несколько м<sup>3</sup>) непосредственно на дренирующем слое, при этом погрузка обезвоженного кека может производиться как погрузчиком после вскрытия оболочки ОФК, так и без вскрытия оболочки с помощью грузозахватных приспособлений (грузовых захватов);

– предварительное размещение под ОФК приспособлений для строповки двумя четырехветвевыми стропами или траверсами с целью погрузки ОФК без вскрытия непосредственно в автосамосвал. В качестве данных приспособлений могут выступать стальные трубы с приваренными



на торцах проушинами, арматурная сетка, ленточные или круглопрядные текстильные стропы и подобные такелажные элементы.

Третий вариант является наиболее технологичным по следующим причинам:

а) возможность неоднократного использования подготовленной площадки для размещения на ней ОФК;

б) удобство перемещения и погрузки заполненных ОФК;

в) обеспечение стока отфильтрованной воды с площадки самотёком.

4. Экспериментальные исследования процесса обезвоживания угольных шламов доказали возможность выделения четырех типов геотекстильного материала для обезвоживания, ранжируемых по соотношению «влажность обезвоженного кека – стоимость геосинтетика». Результаты представлены в виде матрицы (рис. 1). Установлено, 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 – №5 (Геотек350), №2 (Геотек250) и №6 (брезент). В то же время, наиболее дешевыми (попавшие в I и III квадранты матрицы) в порядке возрастания стоимости являются материалы №№ 1, 3, 4, 5, 6 (полипропиленовая ткань, Мегаспан Агро 40, нетканое полотно, Геотек 250, Геотек 350).

5. Рекомендации по обезвоживанию угольного шлама сводятся к следующему:

а) изготовление ОФК требуемого размера из выбранного материала;

б) подготовка площадки установленных размеров;

в) монтаж арматурной (трубной) сетки требуемого размера для размещения на ней ОФК с возможностью последующей погрузки в транспортные средства;

г) монтаж трубопроводной сети (насос, магистральный и закачные трубопроводы) для наполнения ОФК;

д) наполнение ОФК угольным шламом с постоянным контролем бесперебойной и безаварийной работы насоса и трубопроводов;

е) контроль процесса обезвоживания для установления кондиционной (требуемой) влажности кека;

ж) утилизация кека и ОФК.

Результаты выполненных работ могут являться основой для:

- научного обоснования параметров технологии обезвоживания угольного шлама фильтрованием в оболочках из геотекстильных материалов;

- разработки «Методических рекомендаций по обезвоживанию угольного шлама с использованием ОФК».

### Список источников

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

2. СНиП 12-03-2001 "Безопасность труда в строительстве".

3. Ермолаев С.В. Расчистка шламакопителей 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. Итоги работы угольщиков: сколько в Кузбассе шахт и разрезов <http://novokuzneck.bezformata.com/listnews/skolko-v-kuzbasse-shaht-i-razrezov/72957750/> Режим доступа – свободный. Загл. с экрана.

6. Людвиг, В.М. Ресурсы и использование минеральных и питьевых подземных вод Кузбасса / В. М. Людвиг, А. А. Кураев // Горный журнал. – 2006. – № 11. – С. 43-47.

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 характеристик 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. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. Дата введения 2013–01–01.

## References

1. Kalashnikov, V.A. Nekotorye rezultaty opytno-promyshlennykh ispytaniy obolocheynykh fil'trovannykh konstruksiy iz geotekstil'nykh i geotekstilepodobnykh materialov / V.A. Kalashnikov, A.V. Gorbachev // *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. – 2018. – №3 (3). – S. 56-79.
2. SNiP 12-03-2001 "Bezopasnost' truda v stroitel'stve".
3. Ermolaev S.V. Raschistka shdamonakopitedey 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. – S. 42-50.
4. Leonov V.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya ob'emnykh obezvozhivayushchikh (fil'truyushchikh) konstruksiy na osnove geotub / V.V. Leonov, D.M. Antonovskiy // *Santekhnika*. – 2017. – Tom 5. – №5. – S. 38-43.
5. Itogi raboty ugol'shchikov: skol'ko v Kuzbasse shakht i razrezov <http://novokuzneck.bezformata.com/list-news/skolko-v-kuzbasse-shaht-i-razrezov/72957750/> Rezhim dostupa – svobodnyy. Zagl. s ekrana.
6. Lyudvig, V.M. Resursy i ispol'zovanie mineral'nykh i pit'evykh podzemnykh vod Kuzbassa / V. M. Lyudvig, A. A. Kuraev // *Gornyy zhurnal*. – 2006. – № 11. – S. 43-47.
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 / Lomtaдзе V.D. – Л.: Nedra, 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. GOST 12071-2014 Grunty. Otkor, upakovka, transportirovanie i khranenie obraztsov.
13. GOST 30416-2012 Grunty. Laboratornye ispytaniya. Obshchie polozheniya.
14. GOST R 53238-2008 Materialy geotekstil'nye. Metod opredeleniya kharakteristik por.
15. ПНД 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 stochnykh vod gravimetricheskim metodom (Izdanie 2017 goda) / Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya. – М., 2017.
16. GOST 31861-2012 Voda. Obshchie trebovaniya k otkoru prob.
17. Prikaz federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru "Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri obogashchenii i briketirovanii ugley" ot 20.11.2017 №487.
18. SP 32.13330.2012 Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.04.03-85. Data vvedeniya 2013–01–01.



**Авторы**

**Калашников Валентин Анатольевич,**  
директор ПЕ ОФ АО «СУЭК-Кузбасс»,  
e-mail: kalashnikovva@suek.ru

**Горбачев Антон Васильевич,**  
главный инженер ПЕ ОФ АО «СУЭК-Кузбасс»,  
e-mail: gorbachevav@suek.ru

АО «СУЭК-Кузбасс»  
Российская Федерация, Кемеровская область,  
652507, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1

**Библиографическое описание статьи**

Калашников В.А., Горбачев А.В. Разработка низкочрезвычайно затратной технологии обезвоживания угольного шлама обогатительных фабрик с применением оболочечных фильтровальных конструкций // Техника и технология горного дела. – 2019. – № 3 (6). – С. 36-59.

**Authors**

**Valentin A. Kalashnikov,**  
Director of PF CP JSC “SUEK-Kuzbass”  
e-mail: kalashnikovva@suek.ru

**Anton V. Gorbachev,**  
Chief Engineer of PF CP JSC “SUEK-Kuzbass”  
e-mail: gorbachevav@suek.ru

JSC “SUEK-Kuzbass”  
Russian Federation, Kemerovo region,  
Leninsk-Kuznetsky, 1 Vasil’eva st., 652507

**Cite this article**

Kalashnikov V.A., Gorbachev A.V. Development of a low-cost technology for coal slurry dewatering from concentration plants with the use of shell filter constructions, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 3(6):36.