

УДК 626.86:628.16

## **УСЛОВИЯ РАБОТЫ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛЕГЧЕННЫХ КОЛОДЦАХ-ПОГЛОТИТЕЛЯХ**

**А.П. Лихацевич**, доктор технических наук  
**В.М. Макоед**, старший научный сотрудник  
**Г.В. Хмелевская**, кандидат технических наук  
РУП «Институт мелиорации»

**Ключевые слова:** *облегченные колодцы-поглотители, фильтрующая муфта-гаситель, фильтр*

### **Введение**

Одной из сложных технических проблем, от решения которой зависит эффективность использования мелиорированных земель в Белорусском Поозерье, является создание благоприятного водного режима почвы в замкнутых (бессточных) понижениях с помощью колодцев- и колонок-поглотителей. Испытания в производственных условиях разработанных в РУП «Институт мелиорации» усовершенствованных конструкций колодцев-поглотителей показали, что для своевременного отвода избыточных вод из таких понижений необходимо максимально уменьшить заиливание водоотводящего закрытого коллектора частицами почвы, поступающими в колодец-поглотитель с поверхностным стоком.

### **Объекты исследования**

Фильтрующие элементы в облегченных колодцах-поглотителях типа КПП, защищающие дренажный коллектор от заиливания, условия формирования и характеристики поверхностного стока (жидкая и твердая фаза) на мелиоративных объектах.

### **Основные результаты исследований и их обсуждение**

В облегченных колодцах-поглотителях типа КПП фильтрующими элементами, защищающими дренажный коллектор от заиливания, являются съемная муфта-гаситель на перфорированной трубе в отстойнике колодца и фильтр колонки-поглотителя на водоприемной перфорированной трубе колодца-поглотителя [1]. Причем, муфта-гаситель сконструирована как фильтрующий порог водослива колодца-поглотителя, для чего она устанавливается на перфорированной трубе в отстойнике выше поверхности земли. Основными функциями муфты-гасителя являются гашение скоростей подхода воды к колодцу-поглотителю и защита от попадания в его водоприемную перфорированную трубу находящихся в воде частиц почвы, которые могут привести к заиливанию водоотводящего коллектора.

Фильтр колонки-поглотителя, выполненный из полиэтилена, расположен на водоприемной трубе колодца ниже поверхности земли. Он должен обеспечить требуемую

водопроницаемость и условие непросыпаемости кольматирующих фракций песчано-гравийной смеси (ПГС) в поры полиэтиленового фильтра при пропуске мелких суффозионных частиц, которые могут быть вымыты потоком из толщи ПГС через фильтр в водоотводящий коллектор. Длительные наблюдения за работой экспериментальных конструкций колодцев-поглотителей с муфтами-гасителями из различных волокнистопористых материалов показали, что муфта-гаситель из стеклохолста в первый же год эксплуатации закольматировалась, вследствие чего для отвода воды из отстойника потребовалась дополнительная декада, а во второй год муфта из стеклохолста под действием атмосферных воздействий разрушилась [2]. Вследствие этого в дальнейшем рассматривались варианты только полиэтиленовых муфт, полученных методом пневмоэкструзии.

Данные о размерах частиц, опасных с точки зрения заиления дренажных систем, весьма противоречивы. Для предотвращения заиления водоотводящих коллекторов дренажных систем в справочной литературе рекомендуется исключить попадание в коллектор частиц размером более 0,05 мм [3]. Но, по данным Е.С. Семеринова, опасность для дрен представляют лишь частицы крупностью более 0,1 мм. Исследования, проведенные в Литве, в свою очередь показали, что угрозу заиления создают частицы крупнее 0,25 мм, при этом максимально допустимая концентрация взвесей не должна превышать 0,5 г/л [4].

Наблюдениями установлено, что формирование поверхностного стока в период весеннего таяния снега и летне-осенних ливней происходит по-разному. Весной в начальный период снеготаяния наибольшие расходы талых вод проходят по еще не оттаявшей поверхности почвы и не представляют опасности с точки зрения размыва и транспортировки мусора и наносов в колодец-поглотитель.

Основную опасность представляет период, когда поверхность почвы оттаивает и начинается поверхностная эрозия – интенсивный смыв почвенных частиц и агрегатов грунта и вынос их в отстойник колодца-поглотителя.

В летне-осенний период основной смыв происходит в начале формирования склонового потока. К размыву стекающими струями воды добавляется выбивание частиц грунта падающими каплями воды. По мере подъема воды в понижении, скорости склонового потока снижаются и становятся по величине меньше значений размывающих скоростей. Сначала из потока на дно отстойника оседают наиболее крупные частицы (влекомые и полувзвешенные), а по мере снижения скоростей воды, оседают и более мелкие.

Мирцхулава Ц.Е. [5] проводил исследования на водотоках глубиной 0,5-5,0 м в связных и несвязных грунтах, не закрепленных и свободных от растительности. На мелиоративных объектах при размыве поверхности почвы наиболее интенсивно увеличение значений неразмывающих скоростей происходит при глубинах потоков от 0 до 0,5 м. В этом диапазоне на каждые 10 см глубины скорость увеличивается примерно на 8-10 см/с.

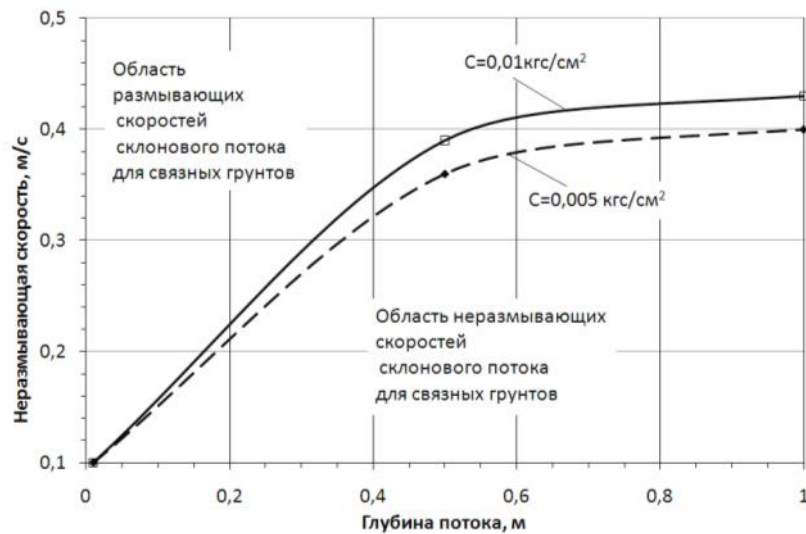


Рис. 1 – Зависимость неразмывающей скорости связных грунтов от глубины потока при удельном сцеплении  $C=0,005$  и  $0,01$  кг/см<sup>2</sup> и содержании легкорастворимых солей 0,2-3%

Значительное влияние на изменение величины неразмывающей скорости имеет удельное сцепление грунта  $C_y$ , при увеличении которого от 0,05 до 0,5 кг/см<sup>2</sup> неразмывающие скорости возрастают в 2,5 раза и достигают 1,2 м/с (рис. 1).

Скорости склонового потока в летний период можно оценить по формуле П.А. Дубкина [6]:

$$V = 11,75 \cdot Q^{0,4} \cdot i^{0,5} \quad (1)$$

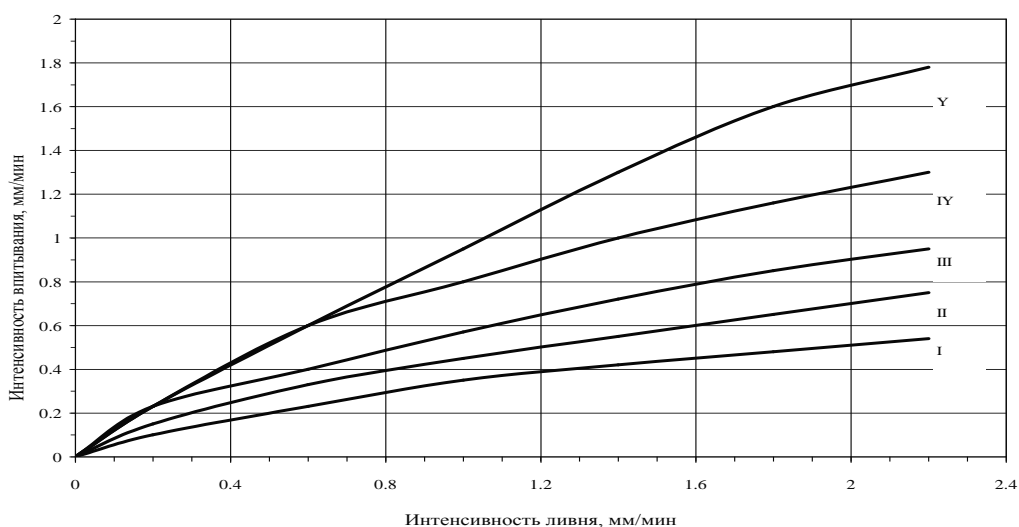
где  $Q$  – расход на 1 п.м. в м<sup>3</sup>/с;  $i$  – уклон поверхности (tg $\alpha$ ).

Расход склонового потока можно оценить по интенсивности летнего ливня с учетом впитывающей способности почв, причем поверхностный сток появляется только в том случае, когда интенсивность ливня превышает интенсивность впитывания воды в почву, что подтверждают представленные на рис.2 графики связи между впитывающей способностью почв ( $P_{вп}$ ) и интенсивностью ливневых осадков ( $J_l$ ) [7].

К I классу (по классификации Д.Л.Арманда) относятся почвы с наименьшей водопроницаемостью (глины), к V классу – наиболее водопроницаемые (крупные пески). По кривой, соответствующей классу почвы, можно определить интенсивность впитывания  $P_{вп}$ . Зная интенсивности ливней и впитывания почвы, находим остаточный поверхностный сток:

$$P_{ост} = J_l - P_{вп} \quad (2)$$

Почвы, репрезентативные для Сенненского района, представлены в основном супесями и легкими суглинками. По классификации Д.Л.Арманда, их можно отнести ко II классу по водопроницаемости. Тогда, при средней интенсивности ливня, например,



**Рис. 2 – График зависимости интенсивности впитывания почвы от интенсивности ливневых осадков и класса почвы по водопроницаемости (I – V)**

0,31 мм/мин, на долю впитывания придется 0,21 мм/мин, а оставшиеся 0,1 мм/мин будут формировать склоновый поток. При длительности ливня 3 ч слой стока составит  $0,1 \times 3 \times 60 = 18$  мм. Если, например, площадь западины составит 1 га, то объем накопившейся за этот ливень воды составит  $W = 0,018 \times 10000 = 180$  м<sup>3</sup>. При этом средняя величина ливневого расхода воды составит около 17 л/с. Если принять, что сток в западину будет осуществляться по двум-трем ложбинам с уклоном 3-5% при ширине ложбин 3 м, то расход на 1 п.м. составит 5,7 л/с. Тогда по формуле (1) скорость потока на склоне будет равна 0,37-0,45 м/с.

Сопоставим полученные значения скорости поверхностного стока со значениями размывающих скоростей (см. рис.1). Значения скорости 0,37 м/с являются размывающими при глубинах менее 0,5 м, а скорость, равная 0,45 м/с, при любых глубинах потока будут находиться в области размывающих скоростей. Чтобы сбросить такой объем воды за 0,5 суток, колодец-поглотитель должен работать с производительностью около 4,2 л/с [8].

Аналогично можно рассчитать объемы воды и скорости потока после наиболее характерных ливней и выбрать расчетный ливневой расход, который и будет определять заданную пропускную способность колодца-поглотителя.

Для глинистых грунтов и почв северной зоны Беларуси характерно значительное содержание карбонатов (13-21%), что обуславливает их повышенную способность к набуханию. При набухании поверхностный слой почвы практически полностью теряет прочность. Следовательно, прежде всего будет вымываться верхняя набухшая часть слоя почвы. При этом тонкопесчаные и пылеватые фракции частично будут смыты потоком воды, а песчаные, по мере падения скоростей потока в отстойнике, будут образовы-

вать естественную отмостку, устойчивую к размыву.

Исследования прочностных характеристик глинистых карбонатных грунтов, отобранных на откосах и бровке Рубовского и Тухинского каналов Витебского экспериментального хозяйства (Сенненский район), показали, что эти грунты даже при мягкопластичной консистенции обладают удельным сцеплением  $C_y = 0,005-0,015$  кгс/см<sup>2</sup>. Исследования также показали, что удельное сцепление набухших грунтов нарушенной структуры на 30-40 % ниже, чем сопротивление размыву тех же образцов ненарушенной структуры за счет нарушения структурных связей, сложившихся в период геологического процесса образования породы [9].

Кроме того, имеет значение и характер увлажнения грунта. Весной грунт находится при естественной влажности, близкой к границе раскатывания, в твердом или тугопластичном состоянии (в зависимости от объема осенних осадков). При этом деформация набухания составляет около 9 %, а влажность превышает предел текучести только в верхнем слое толщиной 1 см, удельное сцепление на этой глубине равно 0,020 кгс/см<sup>2</sup>, тогда как удельное сцепление в поверхностном слое равно 0,0017 кгс/см<sup>2</sup>. Летом верхний слой пахотного слоя высыхает до воздушно-сухого состояния, в почве твердой консистенции образуются трещины усадки, что способствует во время дождей и ливней проникновению воды вглубь растрескавшегося слоя. Глубина трещин усадки зависит от числа пластичности почвы, и тем больше, чем она более пластична. Дожди невысокой интенсивности могут полностью поглощаться трещинами, особенно если почвенный слой представляет собой жирную глину или суглинок (как, например, на мелиоративных объектах в Шарковщинском районе).

Для легких разновидностей суглинистых и супесчаных почв трещины распространяются на глубину от нескольких до 10-15 см и уже в начальный период осадков закрываются за счет деформаций набухания. При моделировании летнего цикла "осушение - увлажнение" поверхностного слоя грунт во всем объеме набухшего слоя находится в текучем состоянии: его влажность  $W$  в 1,2-2,4 раза превышает границу текучести  $W_L$ . При этом деформация набухания увеличивается почти в 5 раз, а удельное сцепление почвы в нижней части образца снижается примерно в 8 раз и составляет 0,0025-0,003 кгс/см<sup>2</sup>. Поверхностный же слой обладает еще меньшим удельным сцеплением, менее 0,001 кгс/см<sup>2</sup>. Кроме того, легкие разновидности супесчаных и легкосуглинистых почв в рыхлом состоянии (вспаханная почва) практически не образуют агрегатов, а распадаются при водонасыщении на первичные частицы. Тяжелые же суглинки и глины даже при незначительном уплотнении агрегируются, образуя агрегаты до 2-4 мм [10], что приводит к увеличению значений неразмываемых скоростей.

Установлено, что водоотводящая способность колодцев-поглотителей на мелиоративных объектах ограничивается параметрами коллекторов (диаметр, длина) и составляет, например, по расчету: при слое воды перед колодцем 0,25 м, длине коллектора 100 м

и диаметре его 200 мм – 23 л/с; в тех же условиях при диаметре 100 мм – 5 л/с.

В лабораторных условиях на гидравлическом стенде скорости подхода воды к модели в натуральную величину облегченного колодца-поглотителя измеряли при максимальных расходах ( $Q=30$  л/с,  $H=0,25$  м) микровертушкой на расстоянии 10, 20,30, 40 и 50 см от колодца. Эпюры распределения скоростей показали, что при высоте муфты-гасителя 10 см, наибольшие скорости отмечены на высоте 10-25 см от поверхности земли, поскольку основные расходы в колодец поступают через перфорацию, выполненную в виде решетки выше муфты-гасителя по всему периметру перфорированной трубы колодца. Непосредственно перед муфтой-гасителем донные скорости составляют от 0,03 до 0,1 м/с, следовательно, нет необходимости в креплении поверхности земли вокруг колодца в отстойнике, а влекомые частицы, выносимые с поля, будут осаждаться в отстойнике.

Для фильтра объемной колонки-поглотителя, расположенного на водоприемной трубе колодца ниже поверхности земли, кроме создания требуемой водопроницаемости должно быть обеспечено условие непросыпаемости кольматирующих фракций ПГС в поры полиэтиленового фильтра и пропуск мелких суффозионных частиц, которые могут быть вымыты потоком из толщи песчано-гравийной смеси (ПГС) через полиэтиленовый фильтр в перфорированную трубу колодца и далее – в водоотводящий коллектор. По рекомендациям ВНИИГ, материал фильтра считается пригодным для защиты несвязного грунта, если выполняется неравенство [11]:

$$1,1 \cdot a^* \cdot d_{ci} \leq D_{\phi}^0 \leq 1,8 \cdot d_{60}, \quad (3)$$

где  $a^*$  – коэффициент, зависящий от свойств кольматирующих частиц и числа Рейнольдса, равный:

- для пылеватых частиц ( $d_{50} = 0,01-0,05$  мм)  $a^* = 4$ ; для мелкого песка ( $d_{50} = 0,05-0,25$  мм)  $a^* = 3$ ; для среднего песка ( $d_{50} = 0,25-0,5$  мм)  $a^* = 2,5$ ;  $D_{\phi}^0$  – средний диаметр пор полиэтиленового фильтра, равный  $D_{50}$ ;  $d_{60}$  – диаметр частиц ПГС с содержанием 60% по массе;  $d_{ci}$  – суффозионный диаметр частиц ПГС, рассчитывается по формуле

$$d_{ci} = 0,35 \frac{n}{1-n} d_{17} (1 - 0,05 K_{60/10})^{\xi} \sqrt{K_{60/10}} \quad (4)$$

где  $n$  – пористость защищаемого грунта (в нашем случае ПГС);  $d_{17}$  – диаметр частиц ПГС с содержанием 17% по массе;  $K_{60/10}$  – коэффициент неоднородности защищаемого грунта.

Пористость ПГС можно определить по известной зависимости

$$n = 0,4 - 0,1 \lg K_{60/10} \quad (5)$$

Возможность внутренней суффозии засыпки из ПГС вокруг водоприемной трубы колодца-поглотителя с фильтром можно также оценить по рекомендациям ВНИИГ с помощью критерия суффозионности  $N$  из условия:

$$\frac{d_5}{d_{17}} \geq N, \quad (6)$$

$$N = 0,32 \sqrt[3]{K_{60/10} (1 + 0,05 K_{60/10})} \frac{n}{1 - n} \quad (7)$$

где  $d_5$  – диаметр частиц ПГС с содержанием по массе 5%; остальные обозначения те же, что в формуле (3).

По формулам (6) и (7) проведена проверка для основных карьеров песчано-гравийных смесей, используемых при реконструкции мелиоративных систем в Сенненском, Глубокском и Шарковщинском районах. Проверка показала, что карьеры «Овсище» и «Дубняки» обладают несuffозионными составами, поэтому проверка по левой части неравенства (3) не нужна. У карьера «Плисса» suffозионным является лишь наиболее мелкий состав, соответствующий верхней огибающей области гранулометрических составов.

Для ПГС карьеров Сенненского и Глубокского районов основные характеристики, необходимые для расчетов по формулам (3), (4), следующие:

Карьер «Дубняки»:  $D_{17}=0,48$  мм,  $D_{60}=0,46$  мм,  $n = 0,35$ ,  $K_{60/10}= 3,1$ ;

Карьер «Овсище»:  $D_{17}=0,15$  мм,  $D_{60}= 2$  мм,  $n = 0,28$ ,  $K_{60/10}= 15,7$ ;

Карьер «Плисса»:  $D_{17}=0,15$  мм,  $D_{60}= 1,25$  мм,  $n = 0,27$ ,  $K_{60/10}= 19$ ;

Карьер «Батилловщина»:  $D_{17}=0,22$  мм,  $D_{60}= 0,85$  мм,  $n = 0,33$ ,  $K_{60/10}= 4,72$ .

Размеры пор фильтра на водоприемной трубе должны отвечать условию (3). Следовательно, для основных карьеров Глубокского («Плисса» и «Батилловщина») и Сенненского («Дубняки» и «Овсище») районов Витебской области средние размеры пор фильтров в соответствии с условием (3) должны находиться в пределах:

«Дубняки» –  $0,15$  мм  $\leq D_{0ф} \leq 0,83$  мм; «Овсище» –  $0,09$  мм  $\leq D_{0ф} \leq 3,6$  мм;

«Плисса» –  $0,1$  мм  $\leq D_{0ф} \leq 2,25$  мм; «Батилловщина» –  $0,17$  мм  $\leq D_{0ф} \leq 1,53$  мм.

### **Выводы**

1. Установлено, что на мелиоративных объектах Белорусского Поозерья основные расходы поверхностного стока проходят в весенний период, когда почва еще мерзлая, и не представляют опасности с точки зрения размыва и транспортировки наносов в колодцы-поглотители. Основную опасность представляет период, когда поверхность почвы оттаяла, и начинается поверхностная эрозия – интенсивный смыл почвенных частиц и агрегатов грунта и вынос их в отстойник колодца-поглотителя.

2. Характеристики формирования поверхностного стока при дождевых паводках следует определять на основании анализа данных по ливневым осадкам и свойствам почвы мелиоративных объектов. Объемы воды и скорости потока после наиболее характерных ливней будут определять необходимую пропускную способность колодцев-поглотителей.

3. Наибольшие скорости подхода к облегченным колодцам-поглотителям на мелиоративных объектах отмечены выше муфты-гасителя и составляют  $0,2$  м/с, а донные – от  $0,03$  до  $0,1$  м/с, следовательно, нет необходимости крепления дна отстойника конструкции.

5. Уточнена методика расчета диаметра пор волокнисто-пористого фильтра водоприемной трубы колодца. Предлагается по гранулометрическому составу карьерных ПГС рассчитывать диаметр пор фильтра. Рассчитанные диаметры пор фильтра являются исходными характеристиками при подборе технологических параметров для его изготовления.

#### **Литература**

1. Б.820-01-1.05 «Облегченные колодцы-поглотители на осушительных системах». Типовые проектные решения ГПО «Белмелиоводхоз» приказом № 76 от 14.05.2007 г. утверждены и приказом № 249 от 30.11.2007 г. введены в действие с 1 декабря 2007 г.
2. Макоед, В.М. Результаты полевых исследований облегченных колодцев-поглотителей на мелиоративных объектах Белорусского Поозерья /В.М.Макоед, Г.В. Хмелевская // Мелиорация переувлажненных земель. – Минск, 2009. – № 2 (62). – С. 106-118.
3. Осушение. Справочник; под ред. Б.С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
4. Новик, Н.П. Дренажные фильтры/ Н.П.Новик, Г.Я.Сегаль, Е.Л.Цонева. – М.:Колос,1984. – 36 с.
5. Мирцхулава, Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. / Ц.Е.Мирцхулава. – М., 1970. – 240 с.
6. Гаршинев, Е. А. Обоснование способа расчета смыва и расстояний между лесными полосами на допустимую величину эрозии / Е. А.Гаршинев //Песомелиорация малых рек. – Волгоград, 1990. Вып. 1 (99). – С. 105-115.
7. Арманд, Д.Л. Физико-географические основы проектирования сети лесных полевых защитных полос./ Д.Л.Армад. – М.: АН СССР. – 1961. – 367 с.
8. Пособие П1-98 к СНиП 2.06.03-85. Проектирование и возведение мелиоративных систем и сооружений. – Минск, 1999. – 85 с.
9. Хмелевская, Г.В. Оценка прочности супесчаных грунтов при набухании/ Г.В.Хмелевская, М.А. Прохорова // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. работ, т. XXXVIII. – Минск, 1990. – С. 71-76.
10. Истомина, В.С. Фильтрационная прочность глинистых грунтов./В.С.Истомина, В.В.Буренкова, Г.В.Мишурова. – М.: Стройиздат, 1975. – 219 с.
11. Руководство по проектированию обратных фильтров грунтовых плотин, П-92-80/ВНИИГ. – Л., 1981. – 105 с.

#### **Summary**

##### ***Likhatsevich A., Makoed V., Khmelevskaya G. Operating conditions of fibrous-cellular material filtering elements applied in eased absorbent wells***

Estimation of operating conditions of absorbent wells filtering elements shown that for prevention of sedimentation in drainage overflow headers most hazardous periods are those of summer and autumn when storm rainfalls results into creation of land runoff and wash away of soil landscape. For specification of characteristics of extinguishing coupling of absorbent well, principal dependences according to calculations of land runoff volume and its flow speed generated during storm falls considering saturation capacity of the soil were stated. Sand-and gravel pits of Gluboksky region and Sennensky region served as an example for feasibility study of application of polyethylene fibrous filters in blind wells located below soil level providing that sand-and gravel silting fractions and small erosion particles (non-silting) are not spilt through filter cells.

*Поступила 26 июня 2010 г.*