

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕНАЖНЫХ ГЕОКОМПЗИТОВ

**А. И. Митрахович**<sup>1</sup>, кандидат технических наук

**И. М. Шаталов**<sup>2</sup>, старший преподаватель

**И. Ч. Казмирук**<sup>2</sup>, кандидат технических наук

**А. П. Сергееня**<sup>1</sup>, ведущий инженер

<sup>1</sup>РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Приводится обоснование необходимости разработки перспективных, более эффективных конструктивных решений при осушении пониженных элементов рельефа на слабопроницаемых грунтах с учетом динамики движения поверхностных и грунтовых вод по пахотному и подпахотному горизонтам. С этой целью предлагается использовать в водопоглощающих элементах мелиоративных систем дренажный геокомпозит в виде профилированной мембраны; указываются их гидравлические характеристики. Описаны методика и результаты испытания мембраны в гидравлическом лотке. Отмечено существенное влияние выступов мембраны на увеличение потерь напора и снижение расхода по сравнению с гладкой поверхностью. Приводятся значения коэффициента шероховатости, вычисленного по различным формулам. Обосновывается возможность применения геомембран в водопоглощающих устройствах – колонках-поглотителях.

**Ключевые слова:** дренажная система, геотекстиль, геомембрана, геокомпозит, коэффициент шероховатости.

### Abstract

**A. I. Mitrakhovich, I. M. Shatalov, I. Ch. Kazmiruk, A. P. Sergeenya**

### STUDY OF THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF DRAINAGE GEOCOMPOSITES

The rationale is given for the need to develop promising, more effective design solutions for draining low relief elements on poorly permeable soils, taking into account the dynamics of the movement of surface and ground waters along the arable and subsurface horizon. It is proposed to use a drainage geocomposite in the form of a profiled membrane in the water-absorbing elements of reclamation systems for this purpose. Their hydraulic characteristics are noted. The technique and results of testing the membrane in a hydraulic flume are presented. It is indicated that the membrane protrusions have a significant effect on the increase in pressure losses and the reduction in flow compared to a smooth surface. The values of the roughness coefficient calculated by various formulas are given. The possibility of using geomembranes in water-absorbing devices - absorber columns is substantiated

**Keywords:** drainage system, geotextile, geomembrane, geocomposite, roughness coefficient.

### Введение

Повышение эффективности осушительного действия мелиоративных систем особенно на переувлажненных минеральных слабопроницаемых почвах является актуальной задачей. Традиционный способ отвода поверхностных и грунтовых вод из почвенного слоя – горизонтальный дренаж, эффективность работы которого зависит от комплекса инженерных, агротехнических и агромелиоративных мероприятий. Исследования последних лет показали, что он не всегда может обеспечить водный режим почв, требуемый для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства.

Основные причины переувлажнения минеральных почв обусловлены неблагоприятными водно-физическими свойствами почвенного профиля, наличием замкнутых микро- и макропонижений, в которых застаиваются талые воды и атмосферные осадки. Наиболее важные из мероприятий в таких природных условиях – ускорение поверхностного стока и отвод избыточной воды из корнеобитаемого слоя почвы путем обеспечения надежной гидравлической связи осушаемого слоя почвы с дренажной трубой [1]. Это достигается путем устройства траншейных засыпок с высокой водопроницаемостью, а также применением

точечных или линейных водопоглощающих устройств на дренах.

Реконструкция осушительных систем требует тщательного учета опыта проектирования и эксплуатации мелиоративных систем в предшествующие периоды и разработки новых конструктивных решений. При этом следует учитывать, что в слабоводопроницаемых грунтах вода поступает в дрены преимущественно по контакту пахотного и подпахотного горизонтов через фильтрующую засыпку; также присутствует эффект «пристенной» боковой фильтрации [1] вдоль стенок дренажной траншеи.

Принимая в расчет процесс поступления воды в дрены, а также эффект «пристенной» фильтрации, специалисты разрабатывают конструкции колонок-поглотителей, принцип действия которых заключается в перехвате и удалении воды, поступающей из пахотного горизонта на контакте его с подпахотным слабоводопроницаемым грунтом. Достигается это путем закладки на контакте полимерных материалов, по которым вода может отводиться в траншейную засыпку дрен. Такую функцию могут выполнять дренажные геокомпозиты и, в частности, профилированные мембраны с

выступами на плоской поверхности и свободными промежутками между ними. Поступающая на мембрану из пахотного слоя вода удаляется в фильтрующую засыпку дренажной траншеи или в заложенный в ней вертикальный геокомпозит. Это несколько увеличивает интенсивность удаления воды. С учетом этого разрабатываются водопоглощающие устройства с использованием новых полимерных дренажных композитов.

Опыт применения дренажных геокомпозитов в дорожном и промышленном строительстве позволяет рассматривать их как перспективные материалы в мелиоративной отрасли. Они используются для отвода поверхностных и грунтовых вод и ускорения процесса консолидации [2].

Однако фильтрационные и гидравлические характеристики дренажных геокомпозитов изучены недостаточно, поэтому требуется проведение детальных исследований в лабораторных условиях для определения возможности их применения в мелиоративной отрасли, гидротехническом и гражданском строительстве.

### Результаты исследований и их обсуждение

Сейчас выпускается большое разнообразие геокомпозитных материалов, область применения которых может быть довольно широкой. Геокомпозит может состоять из 2 или 3 конструктивных слоев, которые обеспечивают его необходимые свойства. На рис. 1 приведена дренажная мембрана с фильтрующим покрытием; высота выступов 8 мм, расстояние между ними  $\approx 10$  мм. По верху выступов уложен фильтрующий геотекстиль (Тайпар SF27).

Такой дренажный геомат был испытан в гидравлическом лотке при равномерном движении воды для определения его коэффициента шероховатости, необходимого для решения гидравлических задач.

Коэффициент шероховатости – это условный параметр, который показывает влияние материала на величину гидравлического сопротивления. При проектировании сооружений пользуются табличными значениями коэффициента шероховатости, зависящего от материала (пластмасса, стекло, керамика и

др.). Однако табличные значения составлены для ровной поверхности, они не учитывают влияние искусственных неровностей на геомембране и других влияющих на него факторов (например, изменений, происходящих в процессе эксплуатации).

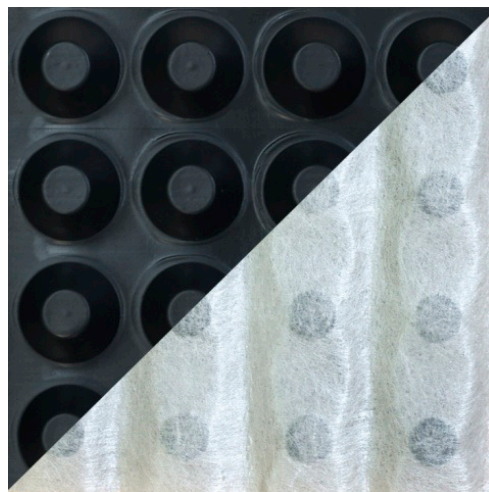


Рис. 1. Дренажная мембрана

Гидравлический расчет каналов и трубопроводов выполняется по формуле Шези [3, с. 321], в которую входит скоростной коэффициент Шези  $C$ . В инженерных расчетах для определения коэффициента  $C$  применяют ряд формул, содержащих коэффициент шероховатости  $n$ :

$$V = C\sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

$$Q = \omega C\sqrt{R \cdot i}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>;

$i$  – гидравлический уклон;

$R$  – гидравлический радиус,  $R = \frac{\omega}{\chi}$ , где  $\chi$  – смоченный периметр.

Исследование в гидравлическом лотке при равномерном движении потока жидкости является наиболее распространенной методикой определения коэффициента шероховатости [4], который вычисляется из формулы Шези:

$$C = \frac{V}{\sqrt{R \cdot i}}. \quad (3)$$

В гидравлических расчетах коэффициент Шези рассчитывается по формуле Н. Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (4)$$

где  $y = f(n, R)$  – показатель степени, вычисляется по эмпирической формуле:

$$y \approx 1,5\sqrt{n} \text{ при } R < 1,0 \text{ м}, \quad (5)$$

$$y \approx 1,3\sqrt{n} \text{ при } R > 1,0 \text{ м};$$

по формуле Р. Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (6)$$

$$\text{откуда } n = \frac{1}{C} R^{1/6};$$

по формуле И. И. Агроскина:

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R, \quad (7)$$

$$\text{откуда } n = \frac{1}{C - 17,72 \lg R}.$$

Исследования проводились в гидравлическом лотке БНТУ. Установка выполнена по принципу водооборотной системы, включающей центробежный насос, накопительный резервуар и водосброс (нижний бак) с треугольным водосливом (водослив Томпсона) для замера расхода воды, установленный в конце лотка. Длина лотка 4,5 м, ширина 0,15 м;

в него укладывался исследуемый дренажный геоконкомпозит. Лоток оборудован в головной и сливной частях плоскими затворами для регулирования глубины потока и тремя мерными иглами для измерения отметки дна и свободной поверхности потока.

Регулирование расхода воды, подаваемой в лоток, осуществлялось задвижкой, установленной на трубопроводе, соединяющем насос с напорным баком. Измерение отметок дна и свободной поверхности потока производили в трех сечениях лотка: в центре и на расстоянии 125 см от него с двух сторон к краям. В расчете применялась длина 125 см. Общий вид лотка и фрагменты проведения замеров представлены на рис. 2 и 3.

Опыты заключались в определении коэффициента шероховатости уложенного на дно лотка оргстекла с гладкой поверхностью, который был контрольным материалом для сравнения шероховатости профилированной мембраны двух видов – без покрытия фильтрующим геотекстилем и с покрытием.

Результаты замеров приведены в таблице.

Проходящий по лотку расход изменяется в пределах от 4,0 до 10,7 л/с (0,5–5,4 м<sup>3</sup>/ч). При этих значениях расхода гидравлический уклон определен как отношение разности отметок в двух сечениях к расстоянию между ними:

для оргстекла 0,0024–0,0064 при расходах 3,99–10,24 л/с;

мембраны без геотекстиля 0,099–0,016 при расходах 4,0–10,6 л/с;

мембраны с геотекстилем 0,01–0,022 при расходах 4,1–10,75 л/с.

Анализ полученных данных позволяет констатировать:

1) потери напора в мембране без геотекстиля в 2–3 раза больше, чем в опытах с оргстеклом;

2) потери напора в мембране с фильтрующим покрытием, в зависимости от величины расхода, больше в 3–4 раза, чем в опытах с оргстеклом; при расходе до 8 л/с наблюдаются одинаковые потери напора в мембране с покрытием и без него; при расходе более 9 л/с потери в мембране с фильтрующим покрытием возросли на 30 %.

Полученные результаты проиллюстрированы на графике (рис. 4).



Рис. 2. Проведение замеров уровня воды в гидравлическом лотке (исследуемый материал – оргстекло)

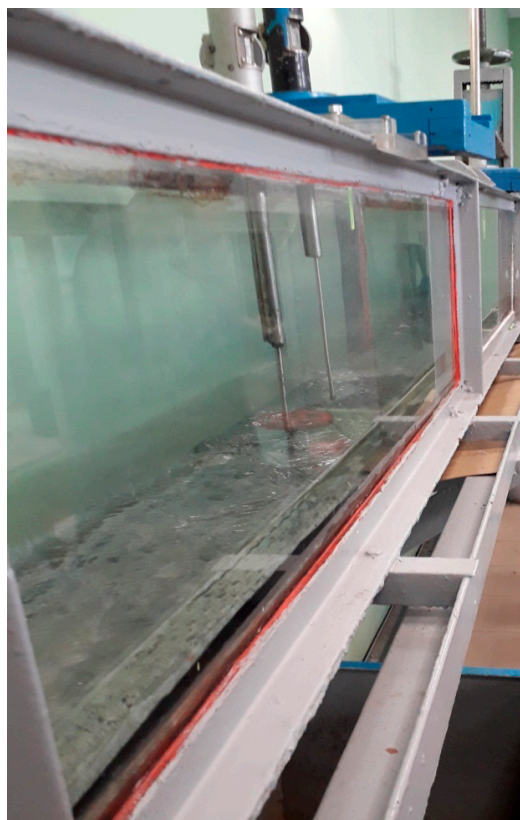


Рис. 3. Проведение замеров уровня воды в гидравлическом лотке (исследуемый материал – профилированная мембрана без покрытия фильтрующим геотекстилем слева, с покрытием – справа)

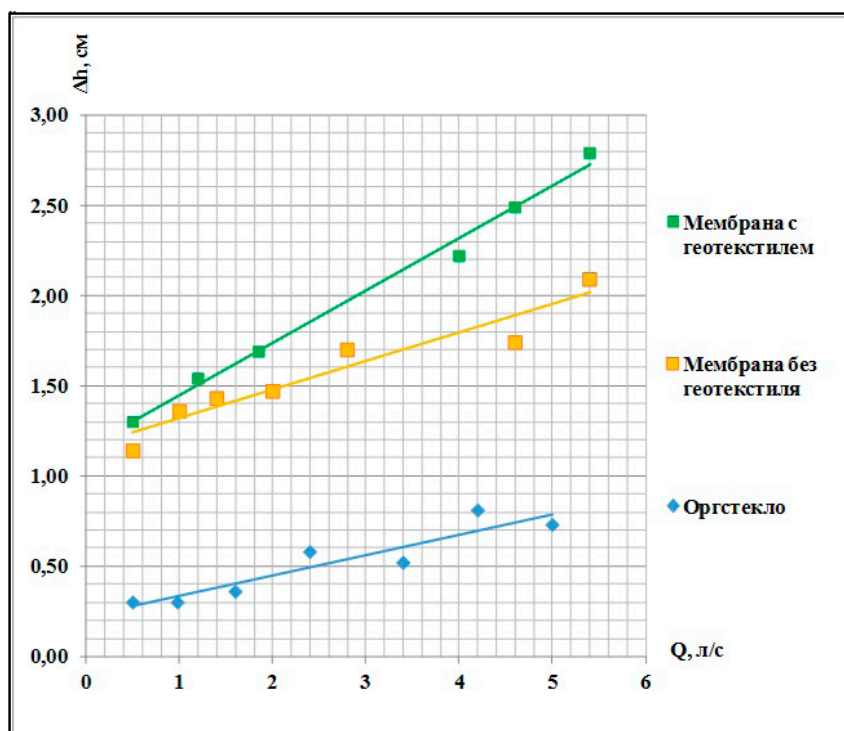


Рис. 4. Потери напора по длине на различных материалах при равномерном движении над ними потока воды

Таблица. Результаты расчетов коэффициента шероховатости

Расход $Q$ , л/с	Потери напора $\Delta h$ , см	Уклон, $i$	Коэффициент Шези, $C$	Коэффициент шероховатости, $n$		
				Маннинга	Агроскина	Павловского
1	2	3	4	5	6	7
Оргстекло						
5,00	0,73	0,00584	33,96615	0,016891	0,028237	0,015371
4,20	0,81	0,00648	30,57738	0,018603	0,031204	0,016362
3,40	0,52	0,00416	36,55465	0,015371	0,026276	0,014378
2,40	0,58	0,00464	30,94389	0,017830	0,030775	0,015814
1,60	0,36	0,00288	35,66541	0,015083	0,026823	0,014130
0,98	0,30	0,0024	33,68433	0,015503	0,028267	0,014335
0,50	0,30	0,0024	27,45673	0,018218	0,034174	0,015700
Среднее значение коэффициента шероховатости $n$ оргстекла				<b>0,016786</b>	<b>0,029394</b>	<b>0,015156</b>
Геомембрана без фильтрующего покрытия						
5,40	2,09	0,01672	15,21139	0,038602	0,060246	0,025643
4,60	1,74	0,01392	17,17903	0,033769	0,053769	0,023653
2,80	1,70	0,0136	12,60468	0,045482	0,071152	0,027270
2,00	1,47	0,01176	11,32029	0,050083	0,078131	0,028168
1,40	1,43	0,01144	9,672426	0,057811	0,089388	0,029388
1,00	1,36	0,01088	8,067401	0,068620	0,104077	0,030747
Среднее значение коэффициента шероховатости $n$ геомембраны без фильтрующего покрытия				<b>0,049061</b>	<b>0,076127</b>	<b>0,027929</b>

1	2	3	4	5	6	7
Геомембрана с фильтрующим покрытием						
5,40	2,79	0,02232	14,69205	0,039692	0,062122	0,025880
4,60	2,49	0,01992	14,71497	0,039360	0,061965	0,025629
4,00	2,22	0,01776	14,99593	0,038360	0,060839	0,025160
3,20	1,67	0,01336	16,42806	0,034596	0,055865	0,023639
2,60	1,58	0,01264	15,77335	0,035665	0,057896	0,023848
1,85	1,69	0,01352	12,67514	0,043862	0,070398	0,026090
1,20	1,54	0,01232	11,26808	0,048291	0,077798	0,026635
Среднее значение коэффициента шероховатости $n$ геомембраны с фильтрующим покрытием				<b>0,0104</b>	<b>0,067000</b>	<b>0,025392</b>

По полученным опытным данным выполнен расчет коэффициента шероховатости профилированных мембран по формулам А. Агроскина, Р. Маннинга и Н. Павловского.

Из таблицы видно, что наиболее нестабильные результаты коэффициента шероховатости получены по формуле Агроскина (7), и они существенно отличаются от значений, полученных по формулам (4) и (6). Данные коэффициенты справедливы только для исследованной геомембраны и не будут универсальными для большого количества геоматов с различными техническими характеристиками – это требует проведения дополнительных исследований.

Значение (величина коэффициента шероховатости) профилированной мембраны превышает коэффициент шероховатости керамических дренажных труб, чугунных труб, бетонных покрытий и других материалов в 3–4 раза за счет выступов на самой мембране. Это следует иметь в виду при ее использовании в конструкциях колонок-поглотителей, на дренаже, в гидротехническом, дорожном и гражданском строительстве. Здесь на эффективность работы мембраны будут оказывать влияние другие факторы – как непосредственно грунты основания, так и песчаные засыпки, грунтовые и поверхностные воды, требующие специфичной методики расчета их параметров: в частности, при расчете дрен с применением геокомпозитов происходит движение воды по длине дрены с переменным расходом, имеющим минимальное значение в истоке и максимальное – при впадении в сбрасывающий коллектор. Расход будет опре-

делять интенсивность поступления воды на поверхность мембраны, транспортирование ее вдоль мембраны с некоторым уклоном; он не будет зависеть от разницы уровней поверхностных и грунтовых вод.

Следует отметить, что полученные данные были бы более достоверны при уточнении их работы в конкретных конструкциях, расположенных в условиях, приближенных к натурным: для колонок-поглотителей – при взаимодействии грунта основания с песчаной засыпкой. Целесообразно провести такие исследования в лабораторных условиях с различными грунтами.

Результаты проведенной работы позволяют сделать вывод, что исследованная марка профилированной мембраны может применяться в колонках-поглотителях, так как ее поверхность будет обладать большей пропускной способностью, чем ложе поверхности почвогрунта под пахотным слоем почвы, и она препятствует вертикальному движению поверхностных и почвенно-грунтовых вод через местный грунт. Исследованная мембрана также может использоваться в промышленном и гражданском строительстве для защиты фундаментной части здания, расположенной ниже УГВ (уровня грунтовых вод), от агрессивного действия (по отношению к бетону) грунтовых вод и вод спорадического распространения.

Мембрана может располагаться как непосредственно на вертикальной части фундамента, соприкасающейся с грунтом, так и при устройстве кольцевого дренажа городской застройки, располагающегося на некотором

расстоянии от фундамента, имеющего в своей конструкции дренажную трубу, фильтрующую засыпку и смотровые колодцы, при этом профилированная мембрана препятствует избыточному переувлажнению заглубленной ниже УГВ фундаментной части здания.

Профилированные геомембраны могут применяться в гидротехническом строитель-

стве в конструкции дренажных устройств земляных плотин для предотвращения выхода кривой депрессии на низовой откос.

Мембрану можно использовать в качестве экрана земляной дамбы, что будет препятствовать попаданию воды в защищаемые сооружения и способствовать организованному сбору и отводу воды.

### Основные выводы

1. Результаты расчета коэффициента шероховатости профилированной мембраны, вычисленные по формулам Маннинга, Агроскина и Павловского, показали, что формула Агроскина дает нестабильные значения, значительно отличающиеся от значений, полученных по другим формулам, и ее не рекомендуется применять при гидравлическом расчете водопоглощающих элементов.

2. Предлагаются области применения профилированной мембраны в конструктивных элементах гидротехнических сооружений,

гидромелиоративном, промышленном и гражданском строительстве.

3. Рекомендуется определять водоприемную способность конструктивных элементов с установленным по формулам Павловского коэффициентом шероховатости исследованных мембран:

для мембраны с фильтрующим покрытием  
 $n = 0,025392$ ;

для мембраны без фильтрующего покрытия  
 $n = 0,027929$ .

### Библиографический список

1. Дренажное осушительное устройство : патент на полезную модель № 12894 ВУ / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, С. М. Лавушев, А. П. Сергеева. Оpubл. 01.04.2022.
2. Применение дренажных геокомполитов на мелиоративных системах / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, С. М. Лавушев, А. П. Сергеева // Мелиорация. – 2022. – № 1 (99). – С. 13–21.
3. Чугаев, Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Ленинград : Энергоиздат, 1982. – 672 с.
4. Лабораторный практикум по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу : учеб. пособие для вузов] / Я. М. Вильнер [ и др.] ; под ред. Я. М. Вильнера. – Минск : Выш. школа, 1980. – 224 с.

Поступила 15 июня 2023 г.