

## **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕКСТИЛЕЙ НА ИХ ФИЛЬТРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ**

**И. Ч. Казмирук**, заведующий отделом научно-технической информации,

**А. И. Митрахович**, кандидат технических наук, доцент

РУП "Институт мелиорации"

**В. Т. Климов**, доктор технических наук, профессор

Белорусский национальный технический университет

**О. Н. Опанасенко**, кандидат химических наук, доцент

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси

г. Минск, Беларусь

### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследования структуры геотекстильных и других материалов для защиты дренажа от заиливания. Определены размеры элементарных волокон и микропор, установлены их оптимальные параметры, обеспечивающие наилучшие фильтрационные характеристики. Это позволило усовершенствовать структуру геотекстиля ПНМ-ПЭВ-И-150-С ООО «Гронема». Приведены данные по изучению процессов смачивания пористых материалов методом сорбции Вошборна. Сформулированы дополнительные требования к защитно-фильтрующим материалам дренажа с учетом исследований, которые не входят в стандартный перечень, приведенный в СТБ 1980-2009.

**Ключевые слова:** геотекстиль, смачиваемость, константа капиллярности, краевой угол смачивания, элементарные волокна, поры

### **Abstract**

**I.Ch. Kazmizuk, A.I. Mitrakhovich, V.T. Klimkov, O.N. Opanasenko**

### **HOW STRUCTURAL PARAMETERS OF GEOTEXTILE AFFECTS FILTERING PROPERTIES**

The article describes the results of investigation which studied structure of geotextile and other materials to prevent drainage siltation. Sizes of elementary fibers and micro pores are found as well as its optimal parameters for strong filtering properties what improve the structure of geotextile PNM-PEV-I-150-C, Ltd Grodno nonwoven materials. Process of wettability of porous materials using Voshborn sorption method is described. Requirements for protecting filtering materials for drainage are formulated considering study which are not belong to standard list of ISO 1980-2009.

**Keywords:** geotextile, wettability, capillarity constant, wetting angle, elementary fibers, pores

### **Введение**

Земля является источником производства сельскохозяйственной продукции. Осушительные мелиорации способствуют получению стабильных и высоких урожаев на избыточно-переувлажненных землях с существенной асинхронностью между потребностью растений в воде, воздухе и количеством их в корнеобитаемом слое почвы. Мелиоративная система по осушению сельскохозяйственных земель включает закрытый горизонтальный дренаж, который предназначен для отвода из корнеобитаемого слоя избытка влаги, препятствующей нормальным условиям роста и развития растений. Современный горизонтальный дренаж выполняется из пластмассовых гофрированных труб со щелевой перфорацией, которые обернуты защитно-фильтрующим материалом (ЗФМ). В качестве ЗФМ дренажа могут применяться геотекстилы различных марок и производителей, а также другие материалы, которые можно использовать в качестве фильтров. Перед широким производственным применением материалов в качестве ЗФМ дренажа необходимо проводить лабораторные и полевые исследования. К фильтрам дренажа предъявляют требования по прочности, долговечности и однородности материала. Они должны обладать высокой химической и биологической стойкостью.

Для усовершенствования структуры фильтра и определения оптимальных его параметров проводились дополнительные исследования, которые не входят в стандартный перечень, приведенный в СТБ 1980-2009 [1]. В частности, не предъявляются требования к структуре материала и его смачиваемости. Структура характеризуется размерами элементарных волокон и пористостью, является важным показателем защитно-фильтрующего материала дренажа. Материал может характеризоваться общей пористостью, наличием пор, видимых в проходящем свете и размерами пор.

**Результаты экспериментов**

Материалы на основании данных, приведенных в технической характеристике завода-изготовителя, определенные как потенциально пригодные для целей защиты дренажа от заилинения, проходили серию лабораторных испытаний.

Исследованию подвергались материалы следующих марок. Полотно нетканое иглопробивное из полипропиленовых волокон, производства ОАО «ПИНЕМА» (г. Пинск, РБ): ПНМ-ППВ-И-130\* (ПИНЕМА И-130\*), ПНМ-ППВ-И-150 (ПИНЕМА И-150); полотно нетканое термообработанное из полипропиленовых волокон: ПНМ-ППВ-Т-150\* (ПИНЕМА Т-150\*). Внешний вид полотен ОАО «ПИНЕМА» различных марок представлен на рисунке 1.

Полотно нетканое иглопробивное каландрированное из полиэфирных волокон, производства ООО «Гронема» (Гродненская обл., РБ): ПНМ-ПЭВ-И-100-Ч (ГРОНЕМА И-100-Ч), ПНМ-ПЭВ-И-150-Ч (ГРОНЕМА И-150-Ч), ПНМ-ПЭВ-И-125-С (ГРОНЕМА И-125-С), ПНМ-ПЭВ-И-150-С (ГРОНЕМА И-150-С). Внешний вид полотен ООО «Гронема» различных марок представлен на рисунке 2.

**Примечание: \* геотекстильное полотно с гидрофильной добавкой.**

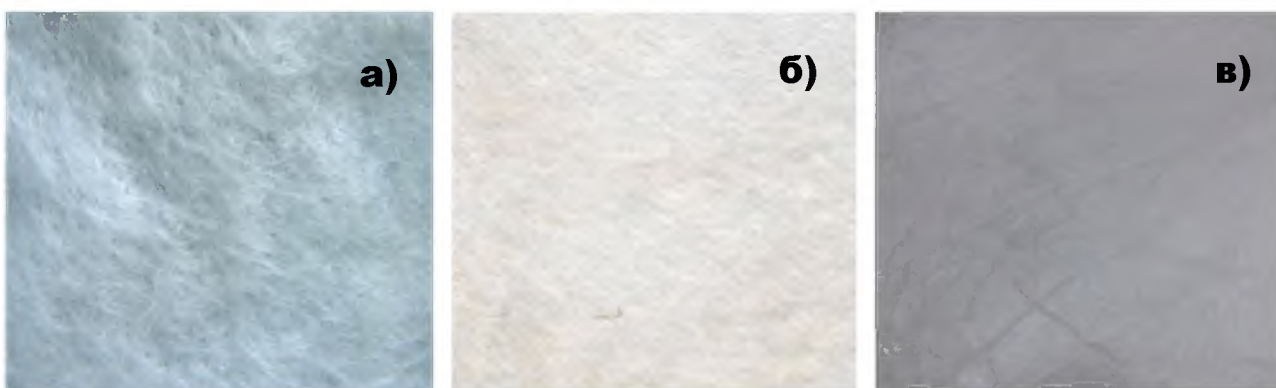
**ПНМ - полотно нетканое мелиоративное.**

**ППВ - из полипропиленовых волокон.**

**ПЭВ - из полиэфирных волокон.**

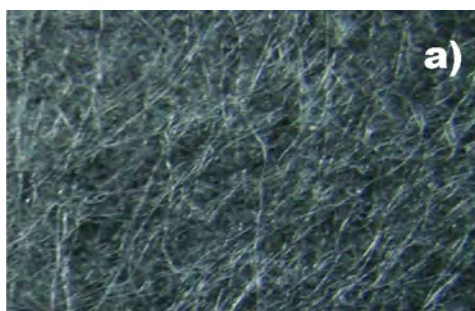
**И - иглопробивное.**

**Т - термообработанное.**



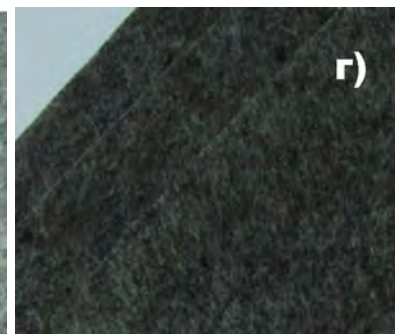
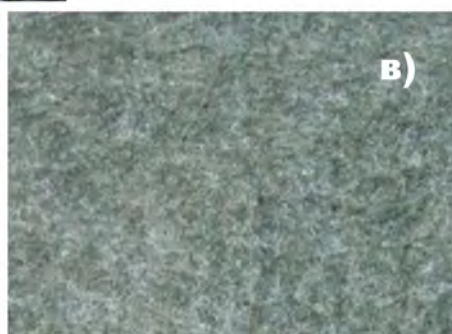
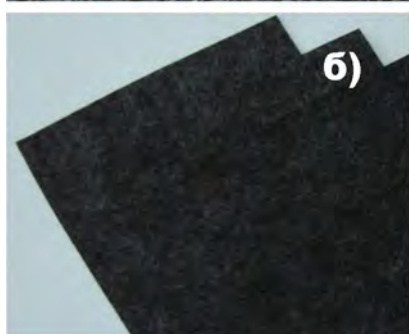
**а) ПИНЕМА И-130\*; б) ПИНЕМА И-150; в) ПИНЕМА Т-150\***

**Рисунок 1 – Марки полотна нетканого иглопробивного из полипропиленовых волокон, производства ОАО «ПИНЕМА»**



**а) ГРОМЕНА И -100-Ч  
б) ГРОНЕМА И -150-Ч  
в) ГРОНЕМА И-125- С  
г) ГРОНЕМА И-150-С**

**Рисунок 2 – Марки полотна нетканого иглопробивного каландрированного из полиэфирных волокон, производства ООО «Гронема»**

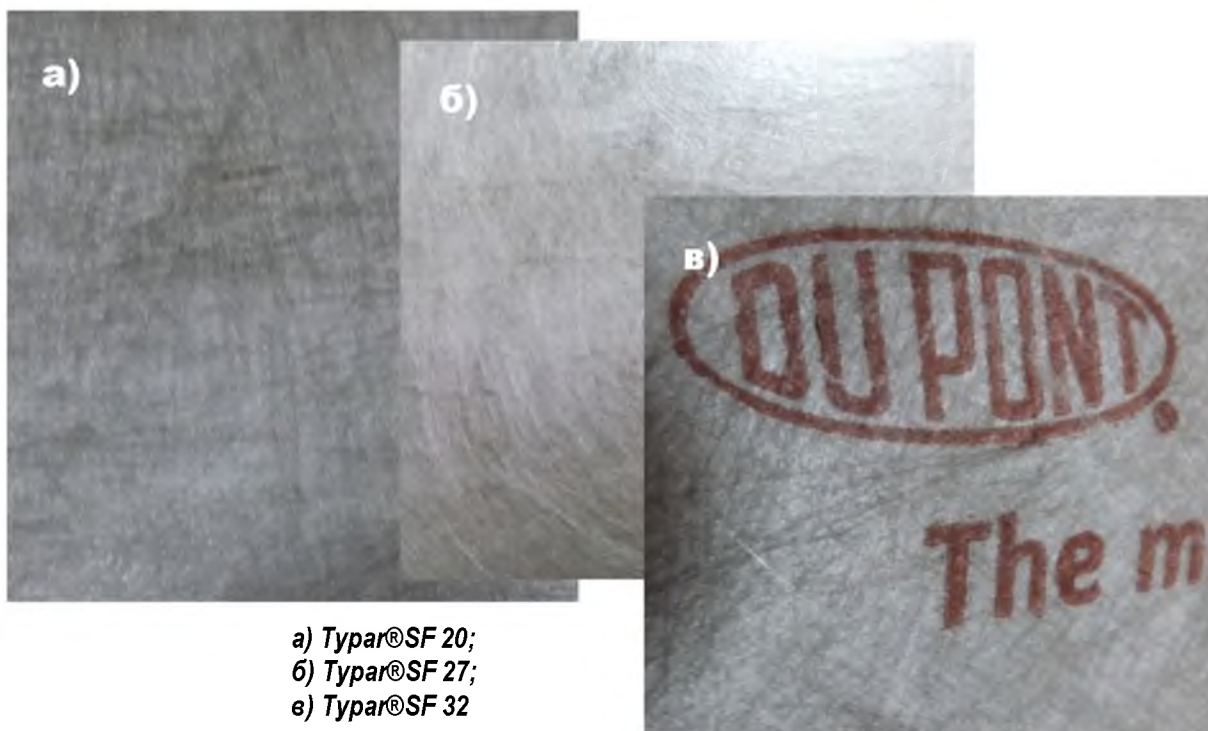


Материал нетканый АкваСпан из полипропиленовых волокон, УФО-стабилизированный, производства ОАО «СветлогорскХимволокно» (г. Светлогорск, РБ): АкваСпан Ф-И-70, АкваСпан Ф-И-90, АкваСпан Ф-И-120 (рисунок 3), АкваСпан Ф-И-150.



**Рисунок 3 – Материал нетканый из полипропиленовых волокон, производства ОАО «СветлогорскХимволокно» марки АкваСпан Ф-И-120**

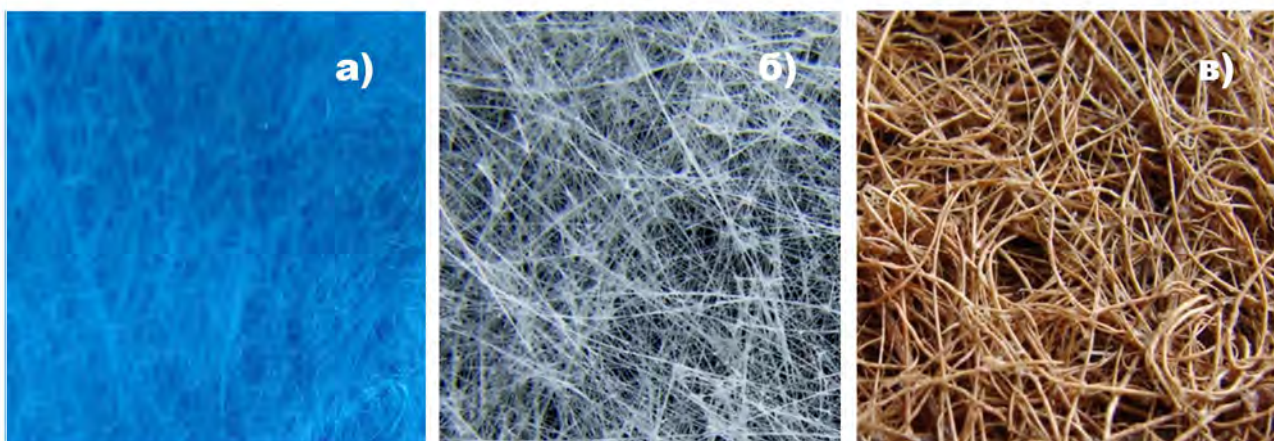
Полотно геотекстильное из полипропиленовых волокон, производства фирмы DuPont (США) (завод в кн. Люксембург): Тураp® SF 20, Тураp® SF 27, Тураp® SF 32. Внешний вид полотен геотекстильных фирмы DuPont различных марок представлен на рисунке 4.



**а) Тураp®SF 20;  
б) Тураp®SF 27;  
в) Тураp®SF 32**

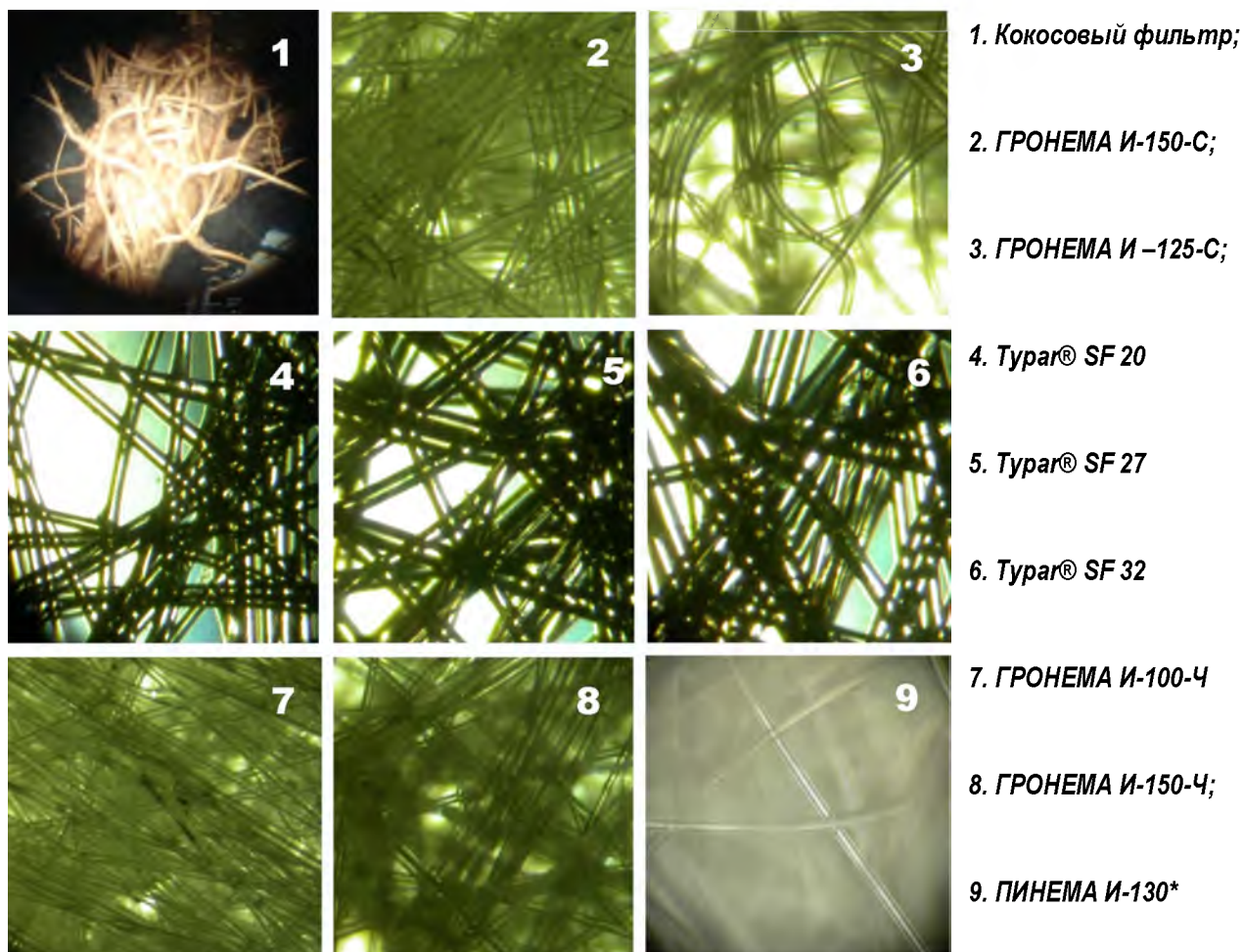
**Рисунок 4 – Марки полотна геотекстильного из полипропиленовых волокон, производства фирмы DuPont (США)**

Геотекстиль Bidim Geosynthetics производства компании TenCate Geosynthetics EMEA (Франция): Бидим – рисунок 5а. Холст стекловолокнистый ВВ-М, производства ОАО «Ивотстекло» (Брянская обл., РФ): стеклохолст – рисунок 5б. Фильтр из кокосового волокна, обработанный против гниения, производства фирмы Naue (Германия): кокосовый фильтр (рисунок 5в).



**а) Будим; б) Стеклохолст; в) Кокосовый фильтр**  
**Рисунок 5 – Материалы других производителей**

В лабораторных условиях оптическим способом с помощью микроскопа исследовалась структура фильтров – определялся диаметр элементарных волокон и размеры пор, видимые в проходящем свете. Под микроскопом ОМ П-ДТ 7.216.009 ПС выполнены фотографии фильтров, которые представлены на рисунке 6. Размер элементарных волокон не нормируется для фильтров дрена. Он определялся оптическим способом под микроскопом БиоламП Р14 с точностью 5 мкм (микрон). Результаты испытаний приведены в таблице 1. В последствии было установлено влияния структуры геотекстильного материала на его коэффициент фильтрации.



- 1. Кокосовый фильтр;
- 2. ГРОНЕМА И-150-С;
- 3. ГРОНЕМА И –125-С;
- 4. Tyrap® SF 20
- 5. Tyrap® SF 27
- 6. Tyrap® SF 32
- 7. ГРОНЕМА И-100-Ч
- 8. ГРОНЕМА И-150-Ч;
- 9. ПИНЕМА И-130\*

*Примечание: увеличение всех образцов в 500 раз, кокосового фильтра в 68 раз*

**Рисунок 6 – Структура фильтров под микроскопом**

Таблица 1 – Диаметры элементарных волокон в процентном соотношении

Тайпар SF20*	Тайпар SF27*	Тайпар SF32*	Бидим	Кокосовый фильтр	Стеклохолст ВВ-М
100% - 40 мкм	90% - 50 мкм 10% - 75 мкм	100% - 50 мкм	100% - 38 мкм	100% - 375 мкм	80% - 30 мкм 20% - 50 мкм
Гронема И-125-С	Гронема И-150-С	Гронема И-100-Ч	Гронема И-150-Ч	ПНМ-ППВ-Т-150	ПНМ-ППВ-Т-150*
100% - 25 мкм	100% - 40 мкм	90% - 10 мкм 10% - 25 мкм	100% - 10 мкм	50% - 20 мкм 50% - 30 мкм	50% - 20 мкм 50% - 30 мкм
АкваСпан Ф-И-70*	АкваСпан Ф-И-90*	АкваСпан Ф-И-110*	АкваСпан Ф-И-150*	ПНМ-ППВ-И-130*	ПНМ-ППВ-И-150
100% - 15 мкм	100% - 15 мкм	100% - 20 мкм	100% - 20 мкм	50% - 15 мкм 50% - 20 мкм	100% - 20 мкм

Таблица 2 – Размеры микропор фильтров, мкм

Стекло-холст ВВ-М	Тайпар SF27	Тайпар SF32	ПИНЕМА И-130	Бидим
125-250	125-500	100	нет пор, видимых в проходящем свете	100-125
Гронема И-125-С	Гронема И-150-С	Гронема И-100-Ч	Гронема И-150-Ч	Кокосовый фильтр
125	200	75-125	50-75	1000

Поскольку микропоры фильтра имеют разнообразную форму (рисунок 6), то их размер определялся диаметром вписанных окружностей (таблица 2).

При отсутствии пор, видимых в проходящем свете, искривляются и удлиняются ходы фильтрации (фильтрационный путь) и увеличивается время прохождения жидкости через фильтр. В испытанных образцах материалов ПИНЕМА и АкваСпан всех марок сквозных пор не наблюдалось, либо присутствовало минимальное их количество. Установить прямое влияние наличия видимых пор на величину коэффициента фильтрации не удалось. Коэффициент фильтрации (таблица 3) был определен в лабораторных условиях на фильтрационном приборе типа Дарси, по стандартной методике, приведенной в СТБ 1980 [1].

По результатам испытаний построен график зависимости коэффициента фильтрации от диаметра элементарных волокон геотекстилей (рисунок 7). При его построении не учитывались данные по стеклохолсту и кокосовому фильтру, поскольку эти материалы не являются геотекстилями.

Как следует из рисунка 7, коэффициент фильтрации увеличивается при увеличении размера волокон до 40 микрон. Дальнейшее увеличение диаметра волокон не оказывает существенного влияния на величину коэффициента фильтрации, здесь на первый план выходят другие факторы. На основе анализа полученных данных были даны рекомендации ООО «Гронема» по увеличению диаметра элементарных волокон геотекстильного материала ГРОНЕМА И-150-С, коэффициент фильтрации которого после изменения структуры материала составил 86,7 м/сут.

Перед широким применением новых материалов для строительства и реконструкции мелиоративной сети проводится их апробация в полевых условиях на опытно-производственных участках в различных почвенно-грунтовых условиях. Одним из таких участков является объект «Волма» на торфяных почвогрунтах, где были заложены дренажи с новыми геотекстильными материалами, потенциально пригодными для защиты дренажа от заиливания. Проводя исследования по определению водоприемной способности дренажей с новыми геотекстильными материалами в полевых условиях было установлено, что эффективность работы дренажа зависит не только от величины напора над дренажем, режима фильтрации, механического состава грунта, но и от характеристик защитно-фильтрующего материала. В некоторых местах наблюдалось избыточное переувлажнение почвы с наличием воды на ее поверхности, при отсутствии стока из одиночных дренажей [2]. При проведении раскопок и визуальном осмотре технического состояния отрезка дренажной трубы, извлеченной из шурфа, было установлено, что в полости трубы отсутствовал наилок, перфорационные отверстия трубы и ЗФМ ПИНЕМА И-150 не были

закольматированы, т.е. вода с осушаемой территории в полость дрены большую часть времени не поступала. Для установления причины неэффективной работы дрены были проведены лабораторные опыты по определению фильтрационных характеристик и смачиваемости ЗФМ ПИНЕМА.

**Таблица 3 – Средние значения коэффициента фильтрации материала в поперечном направлении при механическом сжатии в 0,02 МПа и высотой столба воды над образцом в 1 м (0,01 МПа) на чистой воде<sup>1</sup>**

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	МАРКА МАТЕРИАЛА	СРЕДНИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ
ОАО «ПИНЕМА», РБ	ПИНЕМА И-130*	54,06
	ПИНЕМА И-150	42,79
	ПИНЕМА Т-150*	81,5
ООО «Гронема», РБ	Гронема И-100-Ч	45,4
	Гронема И-125-С	42,0
	Гронема И-150-Ч	46,0
	Гронема И-150-С	86,7
DuPont (США)	«Тайпар» SF-20*	62,31
	«Тайпар» SF-27*	52,18
	«Тайпар» SF-32*	44,60
ОАО «Светлогорск-Химволокно», РБ	АкваСпан Ф-И-70*	29,80
	АкваСпан Ф-И-90*	36,77
	АкваСпан Ф-И-110*	37,92
	АкваСпан Ф-И-150*	60,44
ОАО «Ивотстекло», РФ	стеклохолст	159,98
Naue (Германия)	кокосовый фильтр	981,83

*Примечание: <sup>1</sup>«на чистой воде» - это значит, что образец материала не закольматирован грунтом, на него поступает и отводится профильтровавшаяся чистая водопроводная вода без добавок, примесей и взвесей*



**Рисунок 7 – Влияние диаметра элементарных волокон на коэффициент фильтрации геотекстиля**

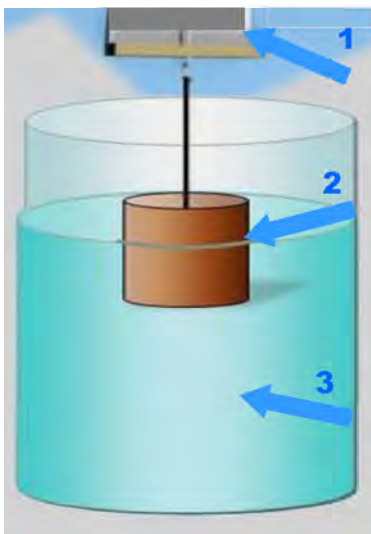
Нежелательное действие сил поверхностного натяжения – дополнительное сопротивление поступлению воды в дренаж в случае несмачиваемости (при синтетическом материале) ее водоприемной поверхности, возникающее на контакте профильтровавшейся к ней воды с воздухом при неполном заполнении ее поперечного сечения, Вахоным Н.К. [3] предложено оценивать величиной начального напора, вычисляемого по формуле Лапласа.

Поступление воды в дренаж начинается только при превышении напором УГВ величины начального напора, зависящего от угла смачиваемости синтетического материала.

Исследование материалов ПИНЕМА И-130\*, ПИНЕМА И-150, ПИНЕМА Т-150\* на смачиваемость проведены в лаборатории химии дорожно-строительных материалов ГНУ «Институт общей и неорганической химии».

Процессы смачивания геотекстильных волокон изучались с использованием Процессор-тензиометра К100 МК2 фирмы KRUSS [4, 5]. Для изучения смачивающих свойств пористых материалов тензиометр К100 был оснащен специальными держателями. В исследованиях был использован метод Вошборна, который позволяет оценить смачиваемость пористых материалов. Сущность метода сорбции заключается в определении скорости, с которой жидкость с известными характеристиками смачивает волокнистый материал путем определения увеличения массы образца как функции времени [6-8]. Регистрацию данных, определение констант капиллярности и краевых углов смачивания образцов геотекстилей выполняли на программном обеспечении LabDesk™ (программный модуль SW32 Contact Angle). Изменения массы образцов при смачивании тестовыми жидкостями определяли в автоматическом режиме с точностью  $\pm 1 \times 10^{-5}$  г с использованием измерительной системы.

Для определения константы капиллярности и угла смачивания исследуемого пористого материала применяются сорбционные измерения по методу Вошборна, согласно которому скорость смачивания материала пропорциональна увеличению его массы. Схематическое изображение сорбционных измерений по методу Вошборна представлено на рисунке 8.



1. весы;
2. испытываемый образец;
3. сосуд с жидкостью

**Рисунок 8 – Схематическое изображение измерительной системы для определения кинетики смачивания**

Уравнение Вошборна имеет вид:

$$\frac{m^2}{t} = \frac{\rho^2 \times \sigma_{\text{ж}} \times \tilde{n} \times \cos \theta}{\eta}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса жидкости, г;

$t$  – время, с;

$\eta$  – вязкость жидкости, мПа·с;

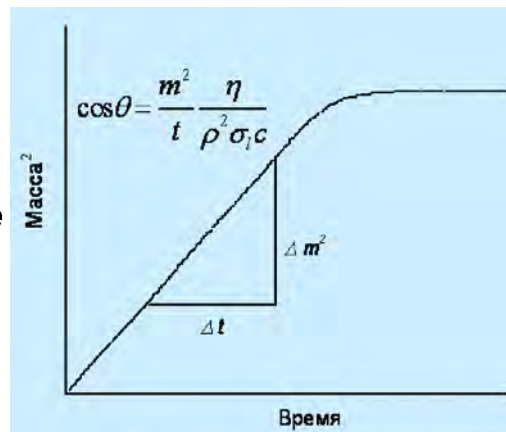
$\rho$  – плотность жидкости, г/см<sup>3</sup>;

$\sigma_{\text{ж}}$  – поверхностное натяжение жидкости, мН/м;

$\theta$  – угол смачивания, град;

$c$  – константа капиллярности твердого материала, м<sup>5</sup>.

В графическом виде метод сорбции Вошборна представлен на рисунке 9.



**Рисунок 9 – Метод сорбции Вошборна для определения углов смачивания волокнистых материалов**

Константа капиллярности  $c$  зависит от характеристик волокнистого материала и геометрии измерительной ячейки [9, 10]:

$$c = \frac{1}{2} \pi^2 r_k^5 n_k^2, \quad (2)$$

где  $r_k$  – радиус капилляров;  
 $n_k^2$  – число капилляров.

Используя гексан – жидкость, которая обладает минимальным поверхностным натяжением и максимальной смачивающей способностью ( $\cos \theta = 1$ ), можно по уравнению (2) рассчитать константу капиллярности исследуемого волокнистого материала.

Из полотна нетканого мелиоративного были вырезаны образцы одинакового размера  $\approx 120 \times 40$  мм и массой: ПИНЕМА И-130\*  $\approx 0,6$  г; ПИНЕМА Т-150\*  $\approx 0,8$  г; ПИНЕМА И-150  $\approx 0,5$  г.

В таблице 4 приведены характеристики жидкостей, которыми смачивали образцы материала.

Вычисленные по эмпирической формуле (1) значения констант капиллярности образцов геотекстилей приведены в таблице 5.

**Таблица 4 – Физико-химические характеристики смачивающих жидкостей при 20° С**

ЖИДКОСТЬ	$\sigma_{ж}$ , мН/м	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\eta$ , мПа·с
Гексан	18,4	0,661	0,326
Вода	72,8	0,998	1,002

**Таблица 5 – Константы капиллярности образцов**

ОБРАЗЕЦ	$c \times 10^4$ , см <sup>5</sup>
ПИНЕМА И-130*	1,35
ПИНЕМА Т-150*	0,88
ПИНЕМА И-150	2,17

Как видно из данных, представленных в таблице 5, константа капиллярности для образцов полотна геотекстильного ПИНЕМА И-130\* и ПИНЕМА И-150 по сравнению с образцом ПИНЕМА Т-150\* увеличивается в 1,5 и 2,5 раза соответственно, что связано с изменением межфазной поверхности волокон полотна геотекстильного в результате их модификации.

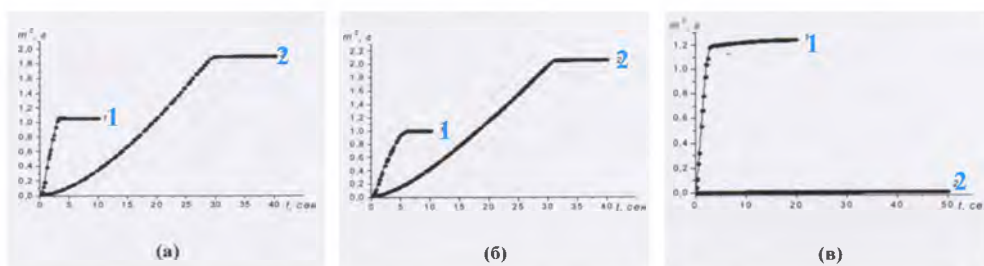
Краевые углы смачивания испытанных материалов, определенные по методу Вошборна, приведены в таблице 6.

**Таблица 6 – Краевые углы смачивания геотекстилей водой**

ОБРАЗЕЦ	Краевые углы смачивания водой $\theta$ , град
ПИНЕМА И-130*	84,9
ПИНЕМА Т-150*	83,8
ПИНЕМА И-150	не определен

Значения краевого угла смачивания для образцов ПИНЕМА И-130\* и ПИНЕМА Т-150\* указывает на то, что поверхность их волокон менее гидрофобна, чем у образца ПИНЕМА И-150, это связано с наличием на их поверхности гидрофильных групп.

На рисунке 10 представлены кинетические кривые смачивания образцов полотна геотекстильного.



**1 - гексан; 2 - вода  
 ПИНЕМА И-130\* (а),  
 ПИНЕМА Т-150\* (б);  
 ПИНЕМА И-150 (в)**

**Рисунок 10 – Кинетические кривые смачивания**



На кинетических кривых смачивания наблюдается два участка: I – непосредственно процесс смачивания, характеризующийся увеличением массы образца геотекстиля во времени за счет влагопоглощения, и II – выход на плато, характеризующий наступление предельного влагопоглощения материала. Время достижения плато при смачивании гексаном для всех образцов одинаково  $\approx 4,5$  сек., а водой для образца ПИНЕМА И-130\* – 30 сек., ПИНЕМА Т-150\* – 32,5 сек. Достижение плато для ПИНЕМА И-150 не наступает за время эксперимента, так как разрешающая способность прибора не позволяет получать данные о величине краевого угла смачивания водой при  $\theta > 90^\circ$ . При таких условиях ( $\theta > 90^\circ$ ) вода в поры фильтра не поступает и высота капиллярного поднятия отсутствует. На приборе процессор-тензиометр невозможно определить увеличение массы образцов у несмачиваемых пористых материалов.

В этом случае действие сил поверхностного натяжения определяют, используя более универсальную методику [3], принципиально отличающуюся от основанной на скорости влагопоглощения соприкасающегося с водой образца материала, испытываемого по методике Вошборна тем, что вода на испытуемый образец материала подается сверху и измерения осуществляются в двух вариантах ее поступления: как при контакте кромки материала с водой, так и при контакте ее с воздухом, приводящим к действию сил поверхностного натяжения. В результате этого методика применима при любых углах смачивания, включая гидрофобные материалы.

Из проведенных экспериментов следует, что гидрофильная добавка, которой обрабатывают материалы «ПИНЕМА», значительно сокращает время смачивания образцов водой. Это позволяет уменьшить краевой угол смачивания, снизить поверхностное натяжение жидкости, увеличить скорость ее прохождения через пористый материал. По результатам исследования можно заключить, что полотно «ПИНЕМА» с гидрофильной добавкой марок

ПИНЕМА И-130\*, ПИНЕМА Т-150\* хорошо смачивается водой. ПИНЕМА И-150, не имеющая гидрофильной добавки, не смачивается водой за расчетное время наблюдений.

Фильтрующие материалы дренажных труб должны подбираться таким образом, чтобы работа дренажных систем обеспечивала норму осушения мелиорированных земель в расчетные периоды [11-13]. Изученные дополнительные параметры геотекстильных материалов помогут дифференцировано подходить к применению их в качестве фильтров дрен для обеспечения условий надежности работы осушительной системы.

**Дополнительные требования к геотекстильным материалам, применяемым в качестве ЗФМ дренажа:**

- геотекстильные материалы, имеющие недостаточную смачиваемость должны обрабатываться гидрофильной добавкой;
- требуется не допустить попадания на рынок защитно-фильтрующих материалов дренажа геотекстилей, имеющих краевой угол смачивания  $\theta > 90^\circ$ ;
- диаметр элементарных волокон, при наличии технической возможности завода-изготовителя, должен составлять не менее 40 микрон.

#### **Выводы**

1. На основании изучения свойств геотекстилей, не нормированных документами РБ по их применению в качестве ЗФМ дренажа, установлен максимальный диаметр элементарных волокон, увеличение размера которых до 40 мкм оказывает влияние на коэффициент фильтрации материала.
2. Полученные результаты исследований позволят производить для дренажа защитно-фильтрующие материалы наиболее оптимальные по структурным параметрам и смачиваемости, что повысит эффективность работы дренажной системы и интенсивность использования мелиорированных земель.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. СТБ 1980-2009. Полотно нетканое мелиоративное. Технические условия. – Минск, 2009. – 16 с.
2. Митрахович, А.И. Влияние смачивания геотекстилей на работу дренажных систем / А.И. Митрахович, О.Н. Опанасенко, И.Ч. Казьмирук // Наука-образованию, производству, экономике: материалы 12 Международ. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2014. – Т. 1. – С. 178-179.

3. Вахонин, Н.К. Особенности формирования водного режима территорий, осушенных дренажем с затопленными устьями : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1982. – 24 с.
4. Dr. Christopher Rulison "Wettability studies for porous solids including powders and fibrous materials," Application Note 232e, Augustine Scientific [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.augustinescientific.com/>. – Дата доступа 17.03.2016.
5. Rulison, C. Adhesion Energy and Interfacial Tension / C. Rulison // Application Note 232e, Augustine Scientific, January 2003.
6. Rankl, M. Colloids Surfaces / M. Rankl, S. Laib, S. Seeger B 30, Biointerfaces – Amsterdam: Elsevier Science. 2003. Vol. 30. №3. P.177-186.
7. Tensiometer K100 MK2/SF/C / Instruction Manual V2-05. Kruss GmbH, Hamburg 2001-2005.
8. Adsorption of N-octadecyldimethylethyl-ammonium bromide on natural mineral materials / E.F. Ostrovskaia, N.P. Krut'ko, O.N. Opanasenko, L.V. Ovseenko // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2005. – №2. – С. 26-30.
9. Островская, Е. Ф. Исследование адсорбции октадецилпропилендиамин на межфазных поверхностях / Е. Ф. Островская, В. М. Тежик // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2006. – №5. – С. 80-82.
10. Third World Congress on Emulsions / Opanasenko O., Dikhtievskaya L., Zhigalova O., Ovseenko L. – Lyon, France. 2002. 3-с. 292. P.281. Congress Abstracts.
11. Кожушко, Л.Ф. Физические параметры и эффективность органических дренажных фильтров / Л.Ф. Кожушко, А.П. Римидис // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 2002. – № 2. – С. 30-31.
12. Rimidis, A. Drenazo su organiniais filtrais vandens kokybes rodikliai / A. Rimidis // Lietuvos vandens ukiu institutas. Mosklo tiriamieji darbai 1997 m. – Vilainiai, 1998.
13. Мурашко, А.И. Горизонтальный пластмассовый дренаж / А.И. Мурашко. – Мн.: Ураджай, 1973. – 209 с.

*Поступила 21.03.2016*