

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №4, Том 10 / 2018, No 4, Vol 10 <https://esj.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/35SAVN418.pdf>

Статья поступила в редакцию 12.07.2018; опубликована 01.09.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Зверев А.О., Саинов М.П., Лукичев Р.В. Результаты экспериментального исследования полимерных геомембран на двухосное растяжение // Вестник Евразийской науки, 2018 №4, <https://esj.today/PDF/35SAVN418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Zverev A.O., Sainov M.P., Lukichev R.V. (2018). Results of experimental studies of polymer geomembranes biaxial tension. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(10). Available at: <https://esj.today/PDF/35SAVN418.pdf> (in Russian)

УДК 627.8, 691

**Зверев Андрей Олегович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: [zverev\\_0591@mail.ru](mailto:zverev_0591@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=812208](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=812208)

**Саинов Михаил Петрович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Доцент кафедры «Гидравлики и гидротехнического строительства»

Кандидат технических наук

E-mail: [mp\\_sainov@mail.ru](mailto:mp_sainov@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=427608](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=427608)

**Лукичев Роман Валерьевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Студент

E-mail: [lukichev-r1@mail.ru](mailto:lukichev-r1@mail.ru)

## Результаты экспериментального исследования полимерных геомембран на двухосное растяжение

**Аннотация.** Анализируются результаты экспериментальных исследований поведения полимерных геомембран (из поливинилхлорида и полиэтилена) на растяжение. Эти исследования были проведены с помощью экспериментальной установки, созданной авторами. Методика проведения испытания отличается от стандартной и аналогична одной из методик, принятой за рубежом «Burst test». В этом испытании геомембрана, закреплённая по краям, испытывает нормальное давление. При этом её часть находится в состоянии двухосного растяжения.

Обработка результатов экспериментов показала, что прочность на растяжение у геомембран из полиэтилена примерно в 2,5 выше, чем у геомембран из поливинилхлорида (ПВХ).

Была отмечена нелинейность характера деформирования геомембран по мере нагружения. По результатам экспериментов, начальный модуль линейной деформации

геомембран из полиэтилена составил около 100÷200 МПа, а геомембран из ПВХ – около 25 МПа. Это существенно меньшие значения, чем известны из научно-технической литературы.

Было предложено оценивать напряжённо-деформированное состояние геомембраны не по величинам напряжений (по прочности), а по величинам деформаций удлинения. По результатам экспериментов, критическое значение относительной линейной деформации, после достижения которого удлинение геомембраны протекает бесконтрольно, составляет: для ПВХ около 60 %, для полиэтилена – около 20 %.

Был сделан вывод, что по соотношению «прочность-деформируемость» более предпочтительными являются геомембраны из ПВХ.

**Ключевые слова:** геомембрана; прочность; ПВХ; полиэтилен; экспериментальные исследования; двухосное растяжение; Burst test

### Введение

Изделия из полимерных материалов уже более полувека применяются в качестве противофильтрационных устройств грунтовых плотин<sup>1</sup> [1-6]. Первые плотины (Contrada Sabetta в Италии и Dobsina в Чехословакии) с полимерными экранами были возведены соответственно в 1959 г. и 1960 г. За прошедшее время накоплен большой опыт применения полимерных изделий в гидротехническом строительстве. В настоящее время с целью повышения надёжности противофильтрационные элементы плотин устраивают из не тонких полимерных плёнок, а специально приспособленных для работы в грунтовой среде полимерных изделий – геомембран. По сравнению с плёнками современные геомембраны защищены от прокола большой толщиной, а также слоями геотекстиля. В настоящее время наибольшее распространение получили три типа геомембран:

- из поливинилхлорида (ПВХ, англ. PVC);
- из полиэтилена высокой плотности (англ. HDPE) и низкого давления (рус. ПЭНД);
- из полиэтилена низкой плотности (англ. LDPE) и высокого давления (рус. ПЭВД).

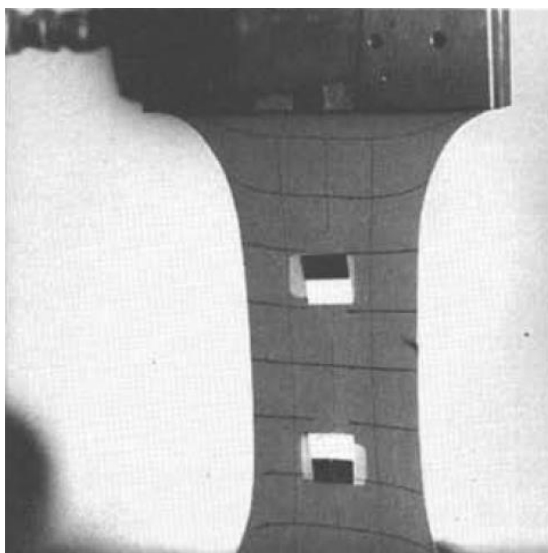
Самой высокой грунтовой плотинной, в которой полимерная геомембрана воспринимает напор воды, является плотина Bovilla, построенная в 1996 г. [4]. В 1980-1990-е годы для обоснования возможности строительства этой и других подобных плотин были проведены обширные исследования механических свойств полимерных геомембран – прочности на растяжение, эластичности, стойкости к проколам и др. [7-13].

Деформируемость и прочность на растяжение образцов геомембран исследовались разными способами. Первый вид испытаний – это испытания на одноосное растяжение, когда разрушение образца достигается за счёт приложения продольной силы (рис. 1). Это самый простой, доступный вид испытаний, который применяется повсеместно. Он позволяет установить связь между продольными нормальными напряжениями и продольными линейными относительными деформациями, определить прочность геомембраны на

---

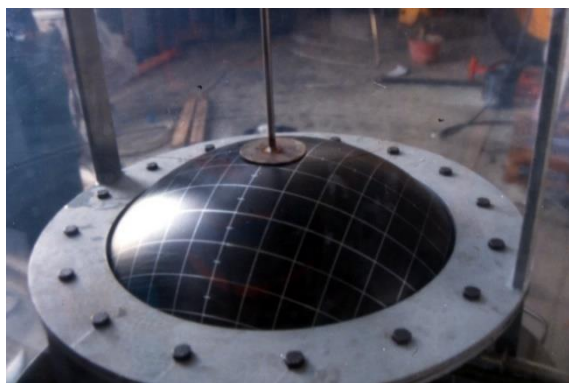
<sup>1</sup> ICOLD. Geomembrane sealing systems for dams. Design principles and review of experience. 2010. Bulletin 135.

растяжение. Российскими нормами<sup>2</sup> утверждена методика соответствующих испытаний. Она применяется при проектировании и исследований конструкций из геомембран [14].

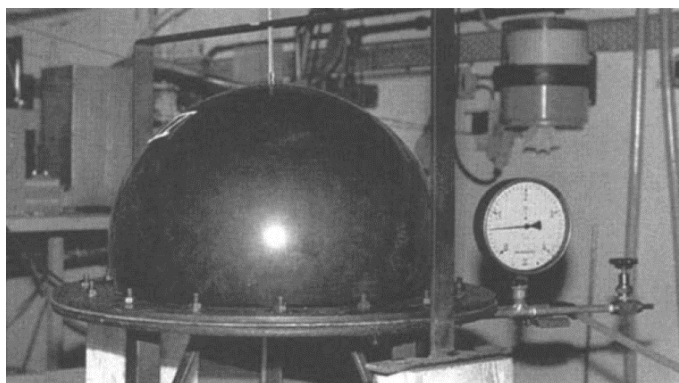


**Рисунок 1.** Поведение образца геомембраны при испытании на растяжение [9]

Второй вид испытаний предусматривает разрыв круглого образца геомембраны, закреплённого по краям, путём нагружения нормальным давлением<sup>1</sup> (рис. 2, [9]). Нормальное давление создаётся водой или воздухом. За рубежом этот вид испытаний получил название «Burst Test» или «Test axi-symmetric tension». В этом испытании геомембрана испытывает растяжение в двух направлениях, поэтому считается, что оно больше соответствует реальным условиям работы геомембраны в грунтовой среде. Этот вид испытаний позволяет установить наиболее вероятный характер повреждения геомембраны при работе в сооружении.



а) Carpi<sup>1</sup>



б) Akzo Industrial Systems bv [9]

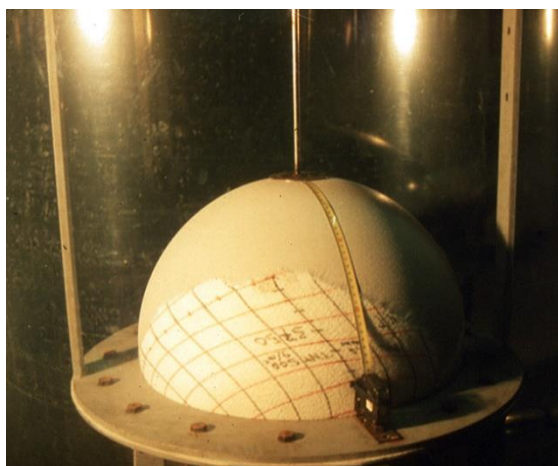
**Рисунок 2.** Испытание образца геомембраны на разрыв нормальным давлением («Burst Test»)

Первые эксперименты типа «Burst Test» были проведены ещё в начале 1980-х годов [12, 13, 9]. В исследовательском институте STUVA в Германии испытывались крупноразмерные образцы геомембран диаметром до 1000 мм под давлением до 150 кПа.

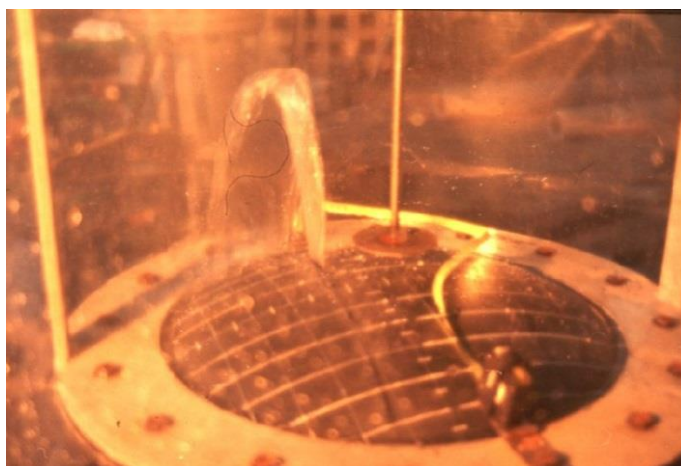
Недостатком «Burst Test» является неопределённость в величинах деформаций и напряжений, испытываемых геомембранами в ходе испытания – геомембрана находится в сложном напряжённо-деформированном состоянии, а поле деформаций и напряжений неоднородное.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 53226-2008. Полотна нетканые. Методы определения прочности. – М.: Стандартинформ. 2009. – 20 с.

Перечисленные выше исследования позволили выявить существенное различие в механических свойствах полиэтилена (ПЭ) и пластифицированного ПВХ (PVC). Было выявлено, что прочность ПЭ на растяжение примерно в 2 раза выше, чем у ПВХ (PVC). Однако при этом ПЭ является более жёстким материалом, чем ПВХ (PVC). ПЭ воспринимает значительные растягивающие усилия практически не удлиняясь, в то время ПВХ сильно удлиняется. Как показывают эксперименты «Burst Test», разрушение геомембраны из ПВХ происходит звездообразно и характеризуется многочисленными разрывами (рис. 3а), а повреждения геомембран из ПЭ носят локальный характер (рис. 3б).



а) геомембрана из ПВХ



б) геомембрана из ПЭНД

**Рисунок 3.** Состояние геомембран после разрушения

Тем не менее, на данный момент всё же механические свойства геомембран изучены недостаточно для того, чтобы можно было активно внедрять в практику строительства высоких плотин. Слабо изучено поведение геомембран при высоких давлениях. Отсутствуют рекомендации по назначению параметров деформируемости и прочности полимерных геомембран при расчётном обосновании работоспособности противотрационных элементов плотин. На восполнение данных пробелов направлено наше исследование.

### Метод и методика

Испытывались геомембраны следующих типов:

- PVC (ПВХ) толщиной 2,5 мм, производитель – Carpi Tech;
- ПЭВД (LLDPE) толщиной 2 мм, производитель – Техполимер;
- ПЭНД (HDPE) толщиной 2 мм, производитель – Техполимер.

Испытания проводились по схеме «Burst Test». Для испытаний использовалась экспериментальная установка, созданная авторами [15]. Её особенность состоит в том, что она позволяет испытывать крупноразмерные образцы геомембран (диаметром 42 см) при высоких давлениях.

В проведённых опытах круглая геомембрана воспринимала нормальное давление. Нормальное давление увеличивалось пошагово, до полного разрыва геомембраны. По мере роста давления форма геомембраны изменялась – из круглой она превращалась в сферическую. В процессе эксперимента фиксировалась величина давления  $p$  (с помощью манометра) и измерялась длина  $L$  дуги выгнутой геомембраны (рулеткой).

### Результаты

На рис. 4-6 показаны фотографии испытаний полимерных геомембран трёх видов.



*а) перед разрывом*



*б) после разрыва*

**Рисунок 4.** Фото испытаний образца геомембраны из ПВХ (PVC) (получено авторами)



*а) перед разрывом*



*б) после разрыва*

**Рисунок 5.** Фото испытаний образца геомембраны из ПЭВД (LLDPE) (получено авторами)



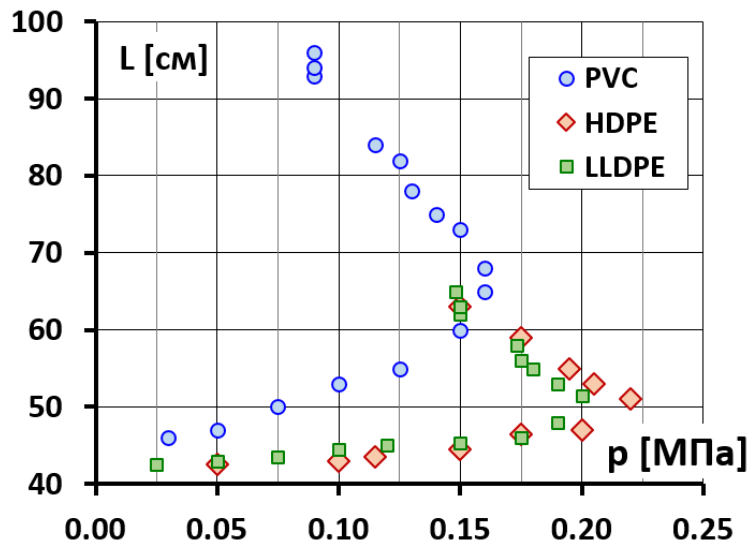
а) перед разрывом



б) после разрыва

**Рисунок 6.** Фото испытаний образца геомембраны из ПЭНД (HDPE) (получено авторами)

Результаты испытаний показали, что процесс восприятия геомембранами нормального давления происходит нелинейно. Условно в нём можно выделить две характерные стадии (рис. 7). Первая стадия характеризуется удлинением геомембраны при росте нормального давления  $p$ . После достижения некоторого удлинения, которое условно можно назвать критическим, начинаются интенсивные пластические деформации удлинения геомембраны. Интенсивное удлинение геомембраны, происходящее на второй стадии, сопровождается падением давления. Разрыв геомембраны происходит бóльшем удлинении геомембраны, которое можно назвать предельным. Примерно такой же эффект был получен Koerner [8].



**Рисунок 7.** Результаты испытаний геомембраны по восприятию нормального давления (получены авторами)

Несмотря на наличие общего характера деформирования геомембран различных геомембран в нём есть и различия.

Для геомембран из ПВХ характерно интенсивное удлинение без разрушения. Даже тогда, когда форма геомембраны стала полусферой, она не порвалась. Критическое удлинение геомембраны из ПВХ соответствовало длине дуги 65 см и было зафиксировано при нормальном давлении  $p = 0,16$  МПа (рис. 7). Разрыв геомембраны произошёл при длине дуги 102 см, он характеризовался множественных повреждениями. Таким образом, по сравнению с первоначальным состоянием геомембраны из ПВХ удлинилась почти в 2,5 раза, однако удлинение в 1,5 раза оказалось критическим.

Для геомембран из полиэтилена характерна бóльшая жёсткость, они удлинялись примерно в 3 раза меньше. Критическое удлинение геомембраны из ПЭВД (LLDPE) произошло при нормальном давлении  $p = 0,2$  МПа, геомембраны из ПЭНД (HDPE) – при  $p = 0,22$  МПа (рис.7). Длина дуги составила соответственно 51,5 см и 51 м. Таким образом, критическое удлинение для геомембран ПЭВД (LLDPE) и ПЭНД (HDPE) оказалось примерно одинаковым – около 20 %, и оно происходило при примерно одинаковом нормальном давлении. Нарушение целостности полиэтиленовых геомембран также произошло при примерно одинаковом удлинении – на 50 %. Оно выражалось в образовании небольшого отверстия.

Различие в деформациях удлинения геомембран из ПЭВД (LLDPE) и ПЭНД (HDPE) происходило на начальной стадии. При небольших нормальных давлениях геомембраны ПЭНД (HDPE) растягивались примерно в 2-3 раза меньше, чем геомембраны из ПЭВД (LLDPE).

По результатам проведённых экспериментов были определены параметры прочности и деформируемости полимерных геомембран. Для этого необходимо было определить деформации и напряжения в геомембранах в процессе испытаний.

Относительная линейная деформация удлинения  $\varepsilon$  определялась через длину дуги геомембраны  $L$  и рабочий диаметр образца геомембраны  $D$ :

$$\varepsilon = \frac{L}{D} - 1$$

Найденная таким образом линейная деформация удлинения  $\varepsilon$  представляет собой некоторую осреднённую по длине дуге величину.

По длине дуги  $L$  определялись также параметры геометрической формы геомембраны при деформациях – прогиб  $f$  и условный радиус кривизны мембраны  $R$ . При этом учитывалось, что геомембраны из ПВХ и ПЭ в результате деформаций удлинения приобретали разную форму. Для ПВХ геомембран форма принималась сферической (рис. 4, 8). Для геомембран из ПЭ принималось, что форма соответствует параболоиду, построенному по квадратичной параболе. На рис.5,6 видно, что приобретаемая геомембраной форма действительно близка к параболической. В [9] также было отмечено, что для геомембран из ПЭ характерна не сферическая форма деформирования при удлинении. По достижении критического уровня удлинения центральная часть образца геомембраны (диаметром около 12 см) начала удлиняться более интенсивно, что отчетливо видно на рис. 5, 6.

Прогиб параболической кривой  $f$  определялся по длине  $L$  через соотношение

$$L = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + 4f^2} + \frac{D^2}{8 \cdot f} \ln \left( \frac{4 \cdot f}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot f}{D}\right)^2} \right)$$

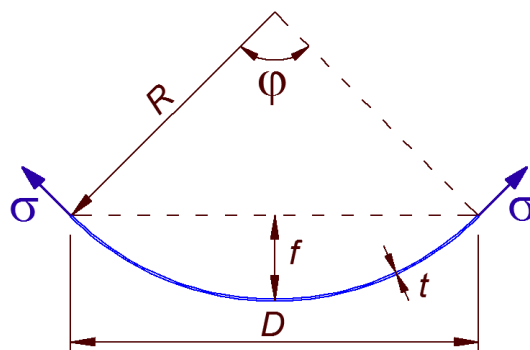
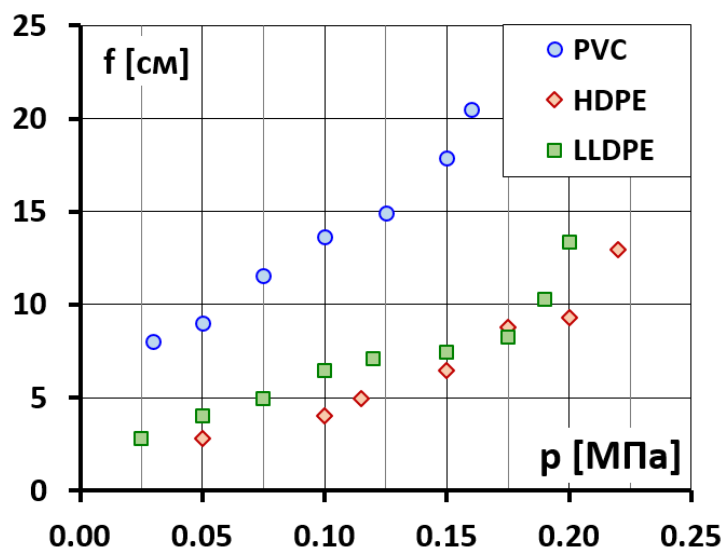


Рисунок 8. Схема к определению напряжений в сферической мембране (составлена авторами)

На рис. 9 показаны результаты расчёта прогиба геомембран на докритической стадии. Заметно, что при приближении к состоянию критического удлинения прогиб геомембраны возрастает.



*Рисунок 9. Результаты расчёта прогибов геомембраны при восприятии нормального давления (получены авторами)*

Определение напряжений в круглой геомембране, испытывающей внутреннее давление, представляло более сложную задачу. Это связано с тем, что поле напряжений в геомембране – неравномерное. В приопорной области геомембрана находится в состоянии близком к одноосному растяжению. Мембрана в основном испытывает радиальные напряжения, в то время как тангенциальные напряжения (направленные вдоль окружности) близки к 0. В центральной области геомембрана находится в состоянии двухосного растяжения. Радиальные и тангенциальные растягивающие напряжения близки к другу по величине. При этом радиальные напряжения в приопорной области больше по величине, чем в центральной области.

В силу неопределённости схемы статической работы мембраны в «Burst Test» растягивающие напряжения в ней определялись приближённо. Из условия равновесия сил, действующих по опорным краям геомембраны, можно найти максимальное значение растягивающего радиального напряжения. Это равновесие между вертикальной проекцией силы от нормального давления  $p$  и вертикальной проекции растягивающей силы по краям геомембраны (рис. 8). При этом приходится пренебрегать изменением угла наклона геомембраны в местах закрепления.

В случае сферической формы мембраны получится следующая формула для определения значения радиального напряжения в геомембране в сечении по опорному кольцу:

$$\sigma = \frac{pR}{2t}$$

Здесь:  $t$  – толщина геомембраны,  $R$  – радиус сферы.

Эта формула с точностью до множителя соответствует известной котельной формуле, соответствующей случаю цилиндрической формы мембраны.

Для параболоидной формы данная формула записывается несколько иначе:



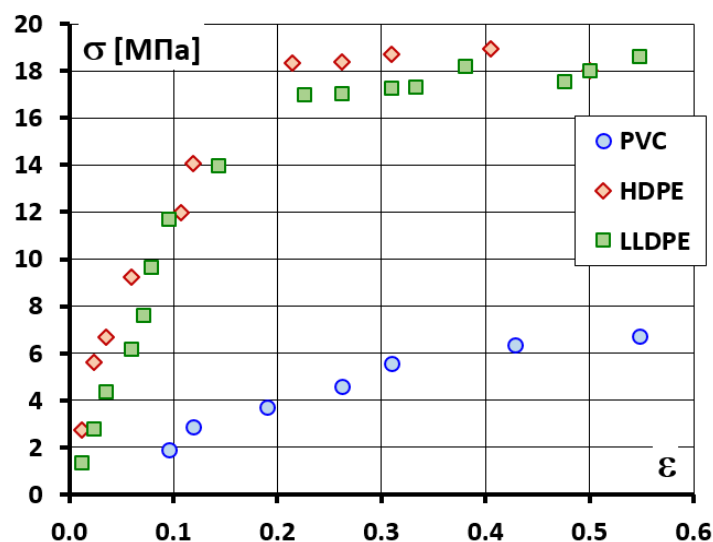
$$\sigma = \frac{p \cdot D}{4 \cdot t \cdot \cos(\varphi/2)}$$

Здесь:  $\varphi$  – удвоенный угол наклона мембраны у опоры. Его можно определить из соотношения, характерного для квадратичной параболы:

$$\varphi = 2 \cdot \arctg\left(\frac{4 \cdot f}{D}\right)$$

Полученные указанным образом напряжения  $\sigma$  несколько выше по величине, чем радиальные напряжения, осреднённые по длине мембраны.

По результатам расчётов был построен график зависимости между напряжениями  $\sigma$  и деформациями  $\varepsilon$  геомембраны (рис. 10).



*Рисунок 10. Результаты расчёта деформаций и напряжений в геомембране при восприятии нормального давления (получены авторами)*

Максимальное значение напряжения соответствует условной прочности геомембраны на растяжение. Было определено, что прочность геомембраны из ПВХ составляет 6,7 МПа, из ПЭВД (LLDPE) – 18,0 МПа, из ПЭНД (HDPE) – 18,9 МПа. Это примерно соответствует полученному в [9].

Таким образом, оба типа полиэтиленовых геомембран имеют примерно одинаковую прочность на растяжение – около 18 МПа. Это значение меньше, чем установленная ГОСТ Р 56586-2015<sup>3</sup>, соответствующая около 25 МПа. По-видимому, это объясняется изменением условий испытаний. Интересно отметить, что советские нормативные документы (ГОСТ 10354-82<sup>4</sup>) устанавливали для полиэтиленовых плёнок прочность в пределах 12,7÷14,7 МПа.

Прочность на растяжение ПВХ в геомембране оказалась примерно в 2,5 раза ниже, чем у полиэтилена.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 56586-2015. Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016. – 9 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 10354-82. Пленка полиэтиленовая. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.

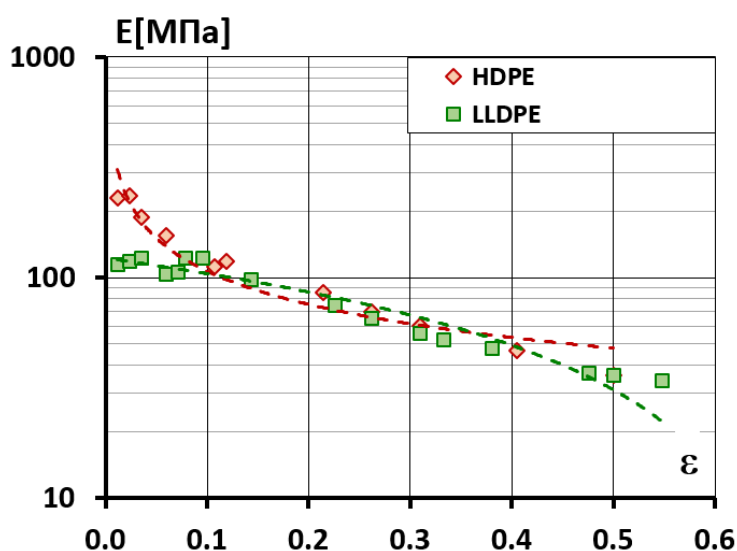
Были вычислены секущие модули линейной деформации для геомембран различных типов. Было выявлено, что максимальное значение секущего модуля линейной деформации характерно для начала нагружения, по мере роста деформаций значение модуля снижается. Самый высокий модуль линейной деформации был получен для ПЭНД (HDPE) – более 228 МПа. У ПЭВД (LLDPE) начальное значение модуля линейной деформации в 2 раза ниже – более 110 МПа. Эти значения меньше, чем по данным Коенер [8, 6]. По его данным начальный модуль линейной деформации ПЭВД (LLDPE) достигает 400 МПа, а ПЭНД (HDPE) – около 1000 МПа. Такое отличие, по-видимому, объясняется тем, что в нашем исследовании мы учли, что форма мембраны после деформации не сферическая, а параболоидная. Кроме того, известно, что современный ПЭНД (HDPE) – это не тот же самый материал, что испытывал Коенер.

Начальный модуль линейной деформации ПВХ составил 24 МПа. Это существенно меньше, чем у Коенер [8, 6], по данным которого модуль линейной деформации ПВХ может достигать 150 МПа.

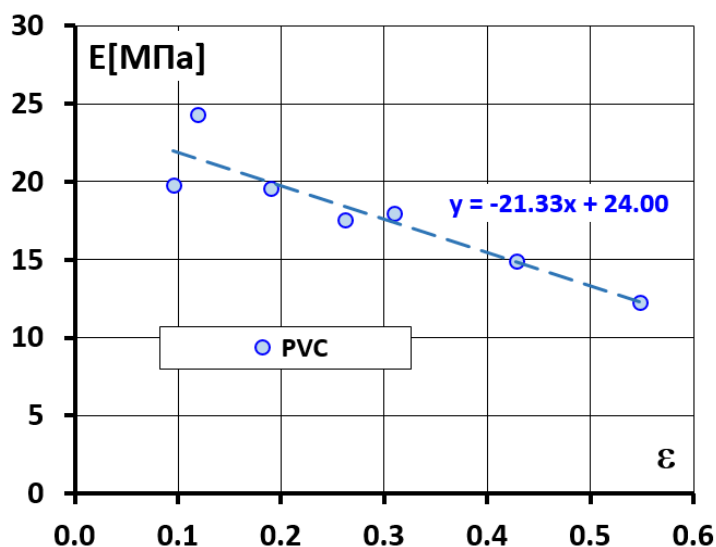
Были также вычислены секущие модули линейной деформации геомембран для момента критических деформаций, т. е. модули, осреднённые по пути нагружения. Для полиэтиленовых геомембран он составил 50÷80 МПа, а для ПВХ 12 МПа.

Таким образом, пластифицированный ПВХ примерно почти на порядок более деформируемый, хотя по прочности он уступает полиэтилену лишь в 2,5 раза. В этом состоит его основное преимущество перед полиэтиленами. Можно также отметить, что более равномерный характер деформируемости ПВХ (PVC) больше отвечает условиям работы полимерных геомембран в грунтовой плотине.

Были построены эмпирические зависимости, аппроксимирующие изменение секущих модулей линейной деформации полиэтилена (рис. 11) и ПВХ (рис. 12) по мере роста относительной линейной деформации  $\epsilon$ .



*Рисунок 11. Изменение модуля деформации полиэтиленовых геомембран в экспериментах по восприятию нормального давления (получено авторами)*



**Рисунок 12.** Изменение модуля деформации геомембран из ПВХ в экспериментах по восприятию нормального давления (получено авторами)

Были получены следующие аппроксимирующие зависимости для изменения модуля линейной деформации (МПа) в зависимости от относительной линейной деформации:

$$E = 33,9\varepsilon^{-0,5} \quad \text{– для ПЭНД (HDPE);}$$

$$E = 122 - 183\varepsilon \quad \text{– для ПЭВД (LLDPE);}$$

$$E = 24 - 21,33\varepsilon \quad \text{– для ПВХ (PVC).}$$

Необходимо отметить, что для ПЭВД и ПВХ лучше подходит линейная зависимость, а для ПЭНД – степенная.

### Выводы

1. Экспериментальными исследованиями, выполненными нами и другими авторами, показывает, что деформируемость материала геомембран (ПВХ, полиэтилен) нарастает по мере увеличения растягивающих напряжений. У геомембран из полиэтилена это проявляется наиболее отчётливо, особенно у геомембран из ПЭНД (HDPE). Выполненные нами испытания геомембран по восприятию нормального давления позволили выявить, что у полимерных геомембран существует определённый предел деформаций и напряжений, при достижении которого удлинение геомембран происходит бесконтрольно, без увеличения внешних нагрузок, и в конечном итоге приводит к нарушению целостности геомембраны.

2. Для полимерных материалов характерен нелинейный характер удлинения при росте растягивающих напряжений. Начальный модуль сильно отличается от того, при котором происходит разрушение геомембраны. Особенно это чётко проявляется в геомембранах из полиэтилена.

3. При испытаниях полимерных геомембран на двухосное растяжение по схеме «Burst Test» трудно определить прочность геомембраны на растяжение. Тем не менее, можно отметить, что, по-видимому, при работе на двухосное растяжение прочность геомембраны меньше, чем прочность, определённая по стандартной методике. Поэтому при проектировании противодиффузионных элементов из полимерных геомембран оценку работоспособности геомембран правильнее проводить не по прочности на растяжение, а по критическим

относительным линейным деформациям. Это значение деформации, по достижении которого удлинение геомембран происходит бесконтрольно.

4. По нашим данным, критические деформации удлинения для геомембран из ПВХ составляют около 60 %, для геомембран из ПЭВД (LLDPE) – около 25 %, для ПЭНД (HDPE) – около 20 %. Соответственно прочность на растяжение геомембран составляет 6.7 МПа, 18.0 МПа, 18.9 МПа.

5. По соотношению «прочность/деформируемость» более выгодным материалом является пластифицированный ПВХ. Его модуль линейной деформации примерно в 5-10 раз меньше, чем у полиэтилена, однако по прочности на растяжение он лишь в 2,5 раза уступает полиэтилену.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cazzuffi, D. The use of geomembranes in Italian dams // International Water Power & Dam Construction. 1987. Volume 39. No 3. pp. 17-21.
2. Рельтов Б.Ф., Кричевский И.Е. Перспективы применения рулонных пластмасс в качестве экранов плотин из местных материалов // Гидротехническое строительство. 1964. №1. С. 29-32.
3. Зиневич Н.И., Лысенко В.П., Никитенков А.Ф. Центральная пленочная диафрагма плотины Атбашинской ГЭС // Энергетическое строительство. 1974. №3. С. 59-62.
4. Скуеро А.М., Васкетти Г.Л. Геомембраны – хорошо зарекомендовавшие себе водонепроницаемые системы на гидротехнических сооружениях // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. 2007. С. 59-68.
5. Глаговский В.Б., Сольский С.В., Лопатина М.Г., Дубровская Н.В., Орлова Н.Л. Геосинтетические материалы в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 2014. №9. С. 23-27.
6. Зверев А.О., Саинов М.П. Противофильтрационные элементы грунтовых плотин из геосинтетических материалов // Инновации и инвестиции. 2018. №1. С. 202-210.
7. Christensen, J. Chris. A conceptual design for underwater installation of geomembrane systems on concrete hydraulic structures. Technical report; REMR-CS-50. Vicksburg, Miss.: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1995. 102 p. in various pagings: ill., photos; 28 cm.
8. Koerner R.M. Designing with Geosynthetics. 5th edn. Prentice Hall. 2005. 816 p.
9. Hoekstra S.E. Burst Testing. Geomembranes // Identification and Performance Testing. 1991. Chapman and Hall. pp. 108-124.
10. Gourc J.P., Perrier H. Tensile tests for geomembranes // Identification and Performance Testing. 1991. Chapman and Hall. pp. 86-107.
11. Rigo, J-M., Cazzuffi, D.A. Test standards and their classification // Identification and Performance Testing. 1991. Chapman and Hall. pp. 18-50.
12. Lafleur, J., and Marcotte, M. Selection criteria for the use of geomembranes in dams and dikes in northern climate. International Conference on geomembranes. 1984. Denver. pp. 415-419.
13. Steffen, H. Report on two dimensional strain stress behaviour of geomembranes with and without friction. International Conference on geomembranes. 1984. Denver. pp. 181-185.
14. Пастушков В.Г., Янковский Л.В. Проектирование дорожной одежды над подземным сооружением торгового центра // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №5 <https://naukovedenie.ru/PDF/86tvn513.pdf> (доступ свободный).
15. Зверев А.О., Саинов М.П. Экспериментальные исследования работы геомембран при сдвиге по бетону и щебню // Вестник Евразийской науки. 2018. №2. <https://esj.today/PDF/78SAVN218.pdf> (доступ свободный).

**Zverev Andrei Olegovich**

Moscow state university of civil engineering (national research university), Moscow, Russia  
E-mail: zverev\_0591@mail.ru

**Sainov Mikhail Petrovich**

Moscow state university of civil engineering (national research university), Moscow, Russia  
E-mail: mp\_sainov@mail.ru

**Lukichev Roman Valerevich**

Moscow state university of civil engineering (national research university), Moscow, Russia  
E-mail: lukichev-r1@mail.ru

## Results of experimental studies of polymer geomembranes biaxial tension

**Abstract.** The results are analyzed of experimental studies of polymer (PVC and polyethylene) geomembranes behavior at tension. These studies were conducted with the aid of the experimental installation created by the authors. The methodology of conducting test differs from the standard methodology and is similar to one of the methodologies «Burst test» adopted abroad. In this test the geomembrane fixed at the ends is subject to normal pressure. At that, its part is in the state of biaxial tension.

Processing of the experimental results showed that tensile strength of polyethylene geomembranes is approximately 2.5 as much as the same of PVC geomembranes.

Nonlinearity of the deformation pattern was marked as loading was performed. By the results of experiments the initial modulus of linear deformation of polyethylene geomembranes was about 100÷200 MPa, and that of PVC geomembranes is was about 25 MPa. These values are considerably less than those which are known from scientific and technical literature.

It was proposed to estimate stress-strain state of the geomembrane not by the values of stresses (by strength), but by the values of extensional strain. By the results of experiments, the critical value of relative linear deformation, after reaching which the geomembrane extension becomes beyond the control, is equal to: for PVC about 60 %, for polyethylene about 20 %.

The conclusion was made that by the ratio «strength-deformation» the PVC geomembranes are more preferable.

**Keywords:** geomembrane; strength; PVC; polyethylene; experimental studies; biaxial tension; Burst test