

**В. П. ЯРЦЕВ, П. В. МОНАСТЫРЕВ,  
С. А. МАМОНТОВ, А. А. МАМОНТОВ,  
М. А. ЗАГОРОДНИКОВА**

# **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕМОНТОПРИГОДНЫХ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ИЗ ПВХ-МЕМБРАН**

**Тамбов  
Издательский центр  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

**В. П. ЯРЦЕВ, П. В. МОНАСТЫРЕВ, С. А. МАМОНТОВ,  
А. А. МАМОНТОВ, М. А. ЗАГОРОДНИКОВА**

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ  
РЕМОНТОПРИГОДНЫХ  
ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ  
ИЗ ПВХ-МЕМБРАН**

Рекомендовано Научно-техническим советом университета  
в качестве монографии

*Научное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

УДК 699.822  
ББК 38.637  
О-93

Рецензенты:

Советник РААСН,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Строительное материаловедение и дорожные технологии»,  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»  
*М. А. Гончарова*

Советник РААСН,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Городское строительство и автомобильные дороги»,  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»  
*В. И. Леденев*

О-93 **Оценка** надежности ремонтпригодных гидроизоляционных систем из ПВХ-мембран [Электронный ресурс] : монография / В. П. Ярцев, П. В. Монастырев, С. А. Мамонтов, А. А. Мамонтов, М. А. Загородникова. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM – дисковод ; 5,7 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.  
ISBN 978-5-8265-2652-1

Описаны исследования ремонтпригодности гидроизоляционных систем из ПВХ-мембран. Приведены результаты оценки стойкости ПВХ-мембран к действию механических нагрузок и инъекционного ремонтного состава. Показано решение задачи по определению несущей способности железобетонной ребристой плиты покрытия с учетом ослабления сечений отверстиями под механические крепления мембран.

Предназначена для научно-технических работников, проектировщиков, студентов бакалавриата, магистратуры и аспирантуры по направлению «Строительство».

УДК 699.822  
ББК 38.637

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2652-1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

## ВВЕДЕНИЕ

---

Гидроизоляция играет важную роль в обеспечении работоспособности несущих и ограждающих конструкций. Нарушение гидроизоляции приводит к снижению теплозащитных качеств ограждений и в некоторых случаях к частичному разрушению несущих конструкций. Не стоит забывать и об ухудшении микроклимата помещений, появлении плесени и протечек. Особо опасным является нарушение гидроизоляции конструкций промышленных и животноводческих комплексов, приводящее к загрязнению окружающей среды.

Современный рынок строительных материалов наполнен различными изоляционными рулонными или мастичными материалами на основе битумов. Эти материалы давно используются в строительстве и требуют соблюдения определенных мер безопасности, связанных с применением токсичных растворителей в случае холодных битумных мастик, либо с применением горелок с открытым пламенем в случае горячих мастик и рубероидной кровли. Большим недостатком битумных материалов является их подверженность старению.

Сегодня на смену битумной гидроизоляции приходит более технологичная гидроизоляция в виде полимерных поливинилхлоридных (ПВХ) мембран, образующих защитную систему с функцией обнаружения нарушения ее герметичности и возможностью ремонта гидроизоляции в процессе эксплуатации [1 – 5].

В последнее время такие мембраны стали эффективно применяться при возведении высотных зданий, опирающихся на плитный фундамент глубокого заложения. Важным этапом устройства такого фундамента является возведение внешнего железобетонного контура методом «стена в грунте» с размещением гидроизоляционных слоев из ПВХ-мембран между грунтом и бетоном [6].

После набора железобетонной стеной прочности и разработки котлована внутри контура на необходимом уровне устраивается плитный фундамент, также требующий гидроизоляции, располагаемой между грунтом основания и плитой [6].

Таким образом, гидроизоляционные ПВХ-мембраны, расположенные под плитным фундаментом, подвергаются длительному воздействию значительной статической нагрузки и влиянию подземных вод [6].

В работе [7], посвященной гидроизоляции подземных сооружений с использованием геосинтетиков, а именно исследованию поведения гидроизоляции с внутренним страховочным дренажным слоем из геотекстиля, сказано, что в зоне примыкания перекрытий и фундаментной плиты (в зависимости от принятой технологии строительства) давление смятия может

достигать 146 т/м<sup>2</sup>. При этом производители геосинтетического полотна плотностью 550 г/м<sup>2</sup> гарантировали сохранение его дренирующих свойств только до давления 40 т/м<sup>2</sup> [7].

Возникает вопрос о возможности ремонта таких систем гидроизоляции методом инъектирования ремонтного состава в промежуточный геотекстильный слой.

Описанные в работе [7] лабораторные испытания гидроизоляционной системы, выполненной из ПВХ-мембран с дренажным слоем из геотекстиля, показали, что даже при давлении 600 т/м<sup>2</sup> наблюдалась незначительная водопроницаемость системы и отсутствовали повреждения ПВХ-мембран. В свою очередь, это позволило внести коррективы в существующую систему гидроизоляции, сократив запас прочности геотекстиля по смятию и увеличив его проницаемость, что необходимо для обеспечения его ремонтпригодности [7].

В настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью выпускается большое количество полимерных гидроизоляционных мембран и геосинтетиков, разрабатываются новые системы и методы гидроизоляции с возможностью их ремонта, строится все больше уникальных зданий и сооружений с повышенными требованиями к их надежности и долговечности.

К сожалению, в погоне за прибылью недобросовестные производители гидроизоляционных систем, зачастую не имея результатов качественных натуральных и лабораторных испытаний, выдают долгосрочные гарантии на свою продукцию. В конечном итоге это приводит к нарушению нормальных условий эксплуатации не только отдельных конструкций, но и зданий в целом.

В связи с этим на кафедре «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ» под руководством доктора технических наук, профессора В. П. Ярцева группой молодых ученых (С. А. Мамонтов, М. А. Загородникова, А. А. Мамонтов) была проведена научно-исследовательская работа, направленная на оценку надежности и ремонтпригодности гидроизоляционных систем, выполненных из ПВХ-мембран PLASTFOIL Geo. Результаты работы представлены в данной монографии и будут полезны инженерно-техническим работникам, а также студентам, обучающимся по направлению «Строительство».

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОИТЕЛЬНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

---

---

## 1.1. ПОНЯТИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

В процессе эксплуатации кровля и стены зданий подвергаются периодическому увлажнению и высушиванию, нагреву и замораживанию, воздействию прямого солнечного излучения, града, снеговым и ветровым нагрузкам и т.д. Строительные конструкции подземных частей зданий испытывают на себе воздействие воды, насыщенной хлоридами, двуокисью углерода и другими агрессивными веществами, которые становятся все более и более интенсивными [8].

Износ изоляционных систем ограждающих конструкций, сопровождающийся постепенным прониканием в них влаги, приводит к увеличению влажности материалов и их теплопроводности, образованию «мостиков холода» с возможным промерзанием конструкций, ухудшению теплозащитных свойств ограждений и микроклимата помещений в целом. Немаловажным является риск развития биологической коррозии конструкций. Увеличивается нагрузка на системы кондиционирования, отопления и вентиляции, значительно возрастают эксплуатационные затраты [9].

Установлено, что подземная часть многих зданий по истечении определенного срока эксплуатации имеет отказ гидроизоляционной системы, что приводит к неизбежному преждевременному ремонту всего сооружения. Долговечность любой конструкции зависит от того, насколько эффективно изоляционные слои выполняют свои функции [9, 10]. Поэтому при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений особое внимание следует уделять гидроизоляционным работам, направленным на защиту конструкций от воды и влаги.

При этом необходимо различать понятия, относящиеся к рассматриваемой теме.

Авторы работы [8] приводят разъяснение терминов:

- гидроизоляционная система – совокупность элементов, направленных на защиту сооружения от воздействия воды и влаги;
- элемент гидроизоляционной системы – мероприятие, обеспечивающее защиту сооружения от воды и влаги (гидроизоляционная мембрана, дренаж, теплоизоляция, водоудаление и т.д.);

– гидроизоляционные мембраны – покрытия из различных материалов, наносимые на поверхность сооружения или вне его, предназначенные для защиты от проникновения воды и влаги; являются элементом гидроизоляционной системы;

– гидроизоляционные материалы – материалы, применяемые при создании гидроизоляционной мембраны.

В [11] даются определения:

– гидроизоляция (waterproofing) – защита строительных конструкций, зданий и сооружений от проникновения воды (антифильтрационная гидроизоляция) или материала сооружений от вредного воздействия агрессивной среды (антикоррозионная гидроизоляция);

– гидроизоляционный слой, наружная гидроизоляция (damp proof course) – защита строительных конструкций, зданий и сооружений от проникновения воды или материала сооружений от вредного воздействия омывающей или фильтрующей воды, или другой агрессивной жидкости;

– гидроизоляционная мембрана, внутренняя гидроизоляция (damp proof membrane) – слой или лист материала, расположенного в пределах перекрытия или подобной конструкции, или вертикально в пределах стены, чтобы предотвращать проникновение влаги.

В [12] поясняется, что:

– слой гидроизоляции (damp proof course; membrane, US) – слой покрытия, защищающий основание стены от проникновения влаги;

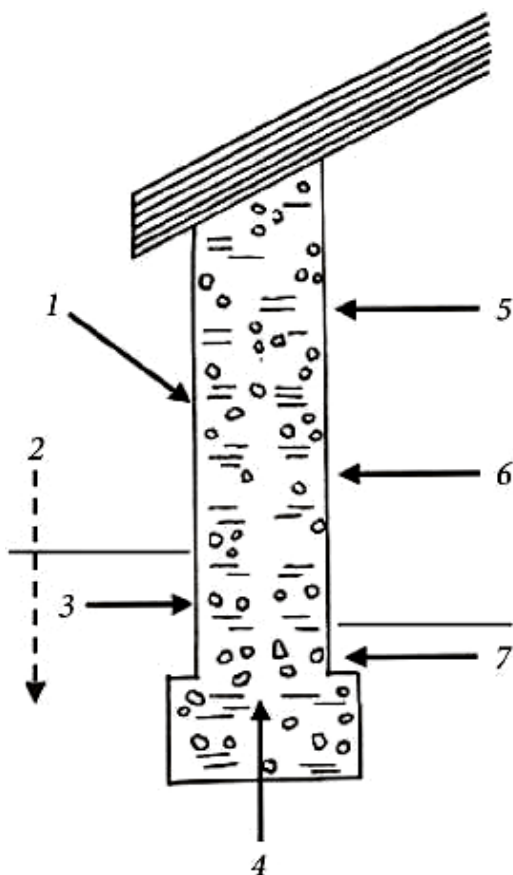
– гидроизоляционная мембрана (damp proof membrane) – слой или лист из герметичного материала, устанавливаемый в перекрытии, стене или в другом подобном сооружении, для защиты от проникновения влаги.

## **1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЛАГИ, ВЛИЯЮЩЕЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

В процессе эксплуатации строительные конструкции подвергаются негативному воздействию воды в различных фазовых состояниях: в капельно-жидком, парообразном и твердом при ее замерзании.

Увлажнение строительных конструкций может быть вызвано действием инфильтрационных, грунтовых и подземных вод. На рисунке 1.1 показаны источники и пути распространения влаги из окружающей среды в строительные конструкции [9].

Инфильтрационные воды образуются при просачивании сквозь грунт дождевых и талых вод. При наличии в основании непроницаемого или слабопроницаемого грунта могут образовываться застои инфильтрационных вод и их бассейны.



**Рис. 1.1. Источники влаги [9]:**

- 1 – атмосферные осадки; 2 – инфильтрационные воды; 3 – грунтовые воды;  
 4 – грунтовая (поднимающаяся) влага; 5 – гигроскопическое водопоглощение;  
 6 – конденсация паров в внутреннем воздухе; 7 – капиллярная конденсация паров, содержащихся в грунте

Грунтовые или почвенные воды заполняют поры между частицами грунта, вытесняя воздух. В таком случае не происходит просачивания воды вниз. Под влиянием капиллярных сил грунтовые воды могут проникать в пористую структуру материала конструкции и подниматься по ней вверх.

Подземные воды образуются в результате наличия водоупорного слоя в основании, по которому перемещается грунтовая вода.

Возможно конденсационное увлажнение конструкций, которое происходит при перемещении водяных паров из зоны высоких в зону низких пар-



циальных давлений. При этом необходимо выполнение условий образования точки росы, т.е. перепад температуры и перенасыщение водяного пара [13].

Любая из перечисленных вод, попадая внутрь строительных конструкций, вызывает их коррозионное разрушение, снижающее механические свойства материалов, и ухудшение микроклиматических параметров внутренних помещений здания, особенно, когда речь идет о подземных и заглубленных сооружениях.

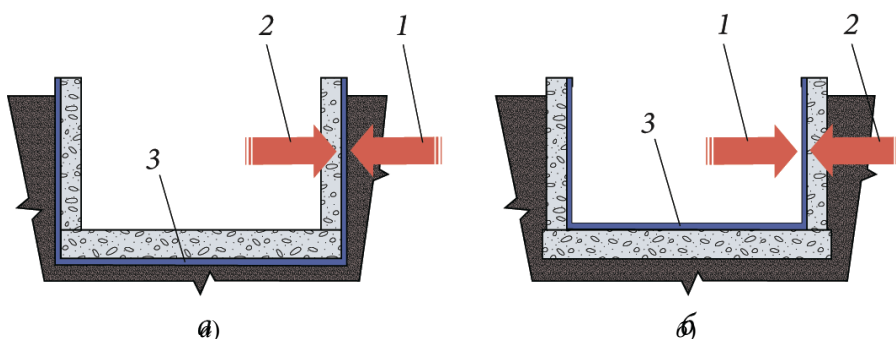
При проектировании систем гидроизоляции важно учитывать направление движения воды, которое зависит от величины гидростатического напора и трещиностойкости изолируемых конструкций, в случае если они бетонные. Также важно учитывать агрессивность среды.

Вода и водяные пары могут оказывать на конструкцию положительное или отрицательное давление с позиции влияния на гидроизоляцию. Положительное давление прижимает гидроизоляционный слой к конструкции, а отрицательное оказывает отрывающее воздействие (рис. 1.2).

Рекомендуется гидроизоляционное покрытие располагать со стороны наибольшего давления и при необходимости пригружать прижимной стенкой или помещать внутрь конструкции [9].

По расположению гидроизоляции различают наружную, внутреннюю гидроизоляцию и гидроизоляцию сэндвичного типа (рис. 1.3).

Где бы ни располагался гидроизоляционный слой, его назначение состоит в обеспечении водонепроницаемости (антифильтрационная гидроизоляция), защите конструкций от действия агрессивных физических и химических сред (антикоррозионная гидроизоляция) и предотвращении протечек из резервуаров, бассейнов, башен и других гидротехнических сооружений.

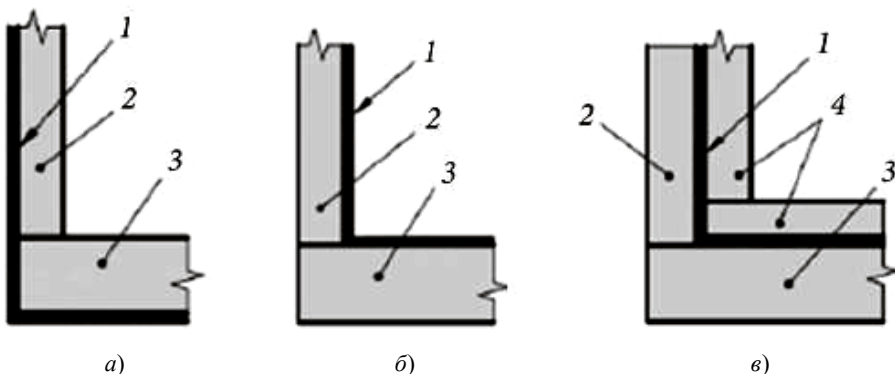


**Рис. 1.2. Положительное и отрицательное давление воды [9]:**

*а* – наружная гидроизоляционная система;

*б* – внутренняя гидроизоляционная система; *1* – положительное давление;

*2* – отрицательное давление; *3* – гидроизоляционное покрытие



**Рис. 1.3. Расположение гидроизоляции в составе конструктивных элементов: [9]:**

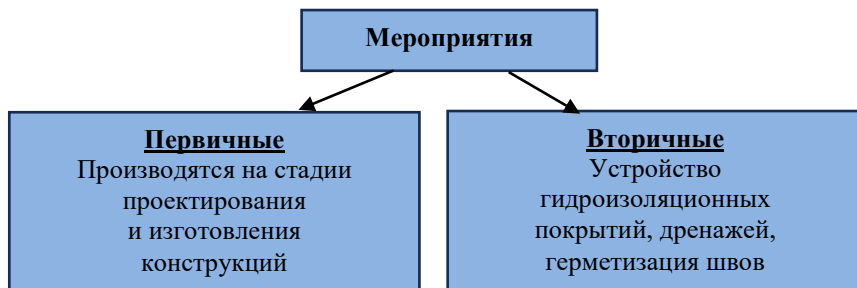
- a* – наружная гидроизоляция; *б* – внутренняя гидроизоляция;  
*в* – гидроизоляция сэндвичного типа; *1* – гидроизоляционный материал;  
*2* – наружная стена сооружения; *3* – фундаментная плита;  
*4* – прижимные конструкции

### 1.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ УВЛАЖНЕНИЯ

На рисунке 1.4 представлена схема современных технологий по защите строительных конструкций, включая подземные, от увлажнения.

Чаще всего к первичным мероприятиям относят работы, связанные с выбором материала конструкции, правильным проектированием состава бетонной смеси, включая выбор различных добавок, правильным выбором технологии ее укладки, уплотнения (вибрирования) и ухода за бетоном.

В целях обеспечения водонепроницаемости конструкций, точнее швов между конструктивными элементами, используют различного рода герметизацию.



**Рис. 1.4. Классификация мероприятий по гидроизоляции**

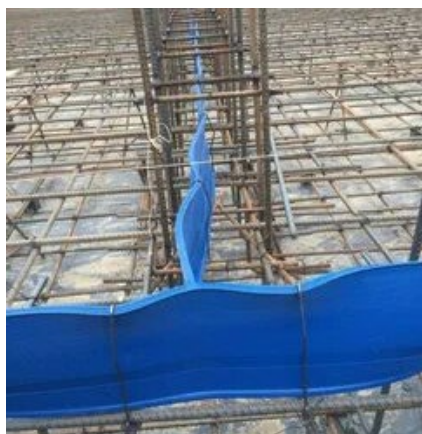
Современные технологии герметизации предлагают использование гидроизоляционных шпонок, набухающих шнуров и инъекционных систем.

Гидрошпонки – это профилированные эластичные ленты из пластифицированного ПВХ или резины, устанавливаемые в процессе сборки отдельных конструктивных элементов, либо устанавливаемые в технологические швы при выполнении монолитных бетонных работ.

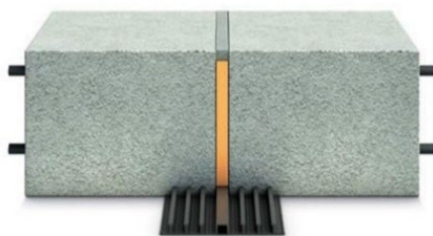
Шпонки могут располагаться снаружи герметизируемого шва, либо внутри него и имеют различное поперечное сечение и форму (рис. 1.5).

Технологические швы между конструктивными элементами могут герметизироваться набухающими шнурами, изготовленными из гидрофильных резин или бентонитовых глин. Принцип работы шнура состоит в увеличении его объема (набухании) при соприкосновении с водой (рис. 1.6).

Если величина зазора в деформационном шве слишком мала, то рекомендуется применять герметики (мастики) на различной основе: битумные, бутилкаучуковые, полиуретановые, силиконовые и т.д. При этом сильно ограничивается максимально допустимая величина смещения конструктивных элементов относительно друг друга, иначе произойдет разрыв тонкого слоя герметика. Чаще всего основной объем шва заполняют специальными вспененными вставками или другими материалами, а поверх вставки, исключая адгезионное взаимодействие, наносят тонкий слой герметика (рис. 1.7).



*a)*



*б)*

**Рис. 1.5. Расположение гидрошпонок:**

*a* – внутреннее при герметизации технологического шва между плитой и стеной при монолитном бетонировании;

*б* – наружное при герметизации деформационного шва



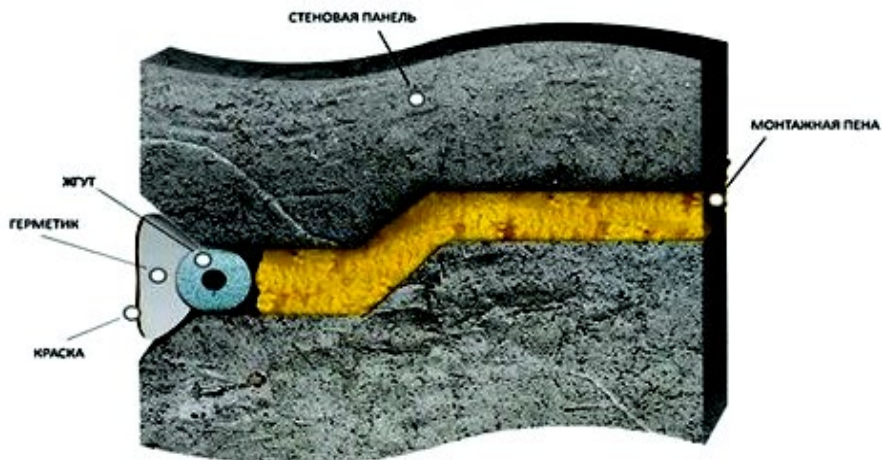
*a)*



*б)*

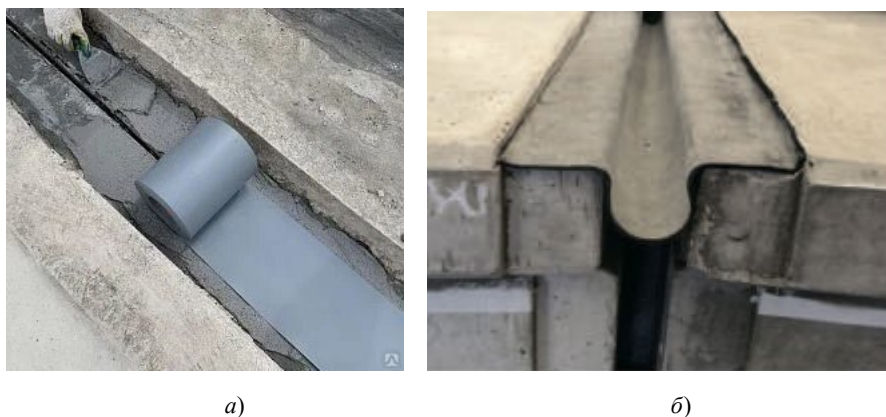
**Рис. 1.6. Набухающие шнуры:**

*a* – уложенный гидрофильный шнур; *б* – типы сечений бентонитовых шнуров



**Рис. 1.7. Герметизация межпанельного горизонтального шва**

Для герметизации швов могут применяться специальные тонкослойные ПВХ ленты, приклеиваемые к основанию эпоксидными, полиуретановыми или полимерцементными клеями, либо битумно-полимерные безосновные материалы. В случае значительной ширины раскрытия деформационного шва, для обеспечения надежной герметизации лента укладывается с компенсаторной петлей (рис. 1.8).



**Рис. 1.8. Укладка гидроизоляционной ленты [9]:**  
*а* – на полимерцементный клей; *б* – с компенсацией

Выше были рассмотрены способы гидроизоляции швов и стыков конструктивных элементов. Для гидроизоляции больших поверхностей (стен, полов и т.д.) используют различные покрытия, отличающиеся технологией нанесения, материалом, способом крепления, и требующие специальной подготовки изолируемого основания.

На рисунке 1.9 представлена классификация современных гидроизоляционных покрытий [9].

По технологии выполнения гидроизоляционные покрытия подразделяются на оклеечные, обмазочные, штукатурные, механически закрепленные и монтируемые.

В случае, когда сплошной водонепроницаемый ковер из рулонных гидроизоляционных материалов приклеивается к заранее прогрунтованной поверхности конструкции, говорят об оклеечной гидроизоляции (рис. 1.10, а).

Нанесением на изолируемую поверхность нескольких слоев мастичных, лакокрасочных (битумных, битумно-полимерных, полимерных и т.п.) и цементных составов толщиной 2...4 мм устраивается обмазочная гидроизоляция (рис. 1.10, б).



Рис. 1.9. Классификация гидроизоляционных покрытий [9]



а)



б)



а)



б)

**Рис. 1.10. Технология устройства гидроизоляции:**

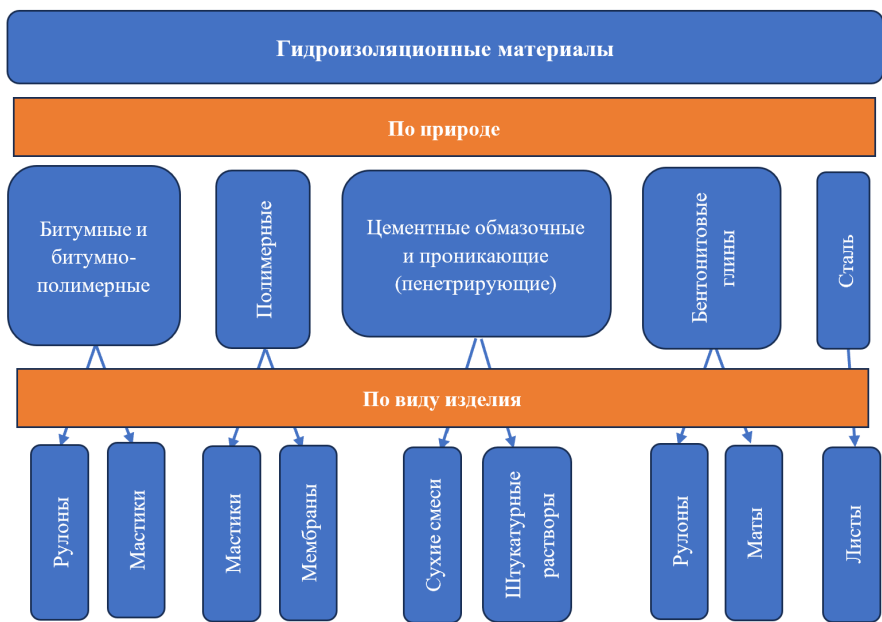
*а* – оклеечная; *б* – обмазочная; *в* – штукатурная; *г* – механически закрепленная

Штукатурные покрытия имеют толщину до 20 мм и выполняются многослойными, чаще цементно-песчаными, растворами (рис. 1.10, *в*).

Гидроизоляция может выполняться путем прикрепления рулонных материалов или отдельных элементов-листов к изолируемой поверхности специальными связями и клеями. Такие системы называются механически закрепленными и монтируемыми (рис. 1.10, *г*).

Современные системы гидроизоляции опираются на большое разнообразие материалов (рис. 1.11), применение которых зависит от величины гидростатического напора [9].

Рулонные битумные и битумно-полимерные материалы давно применяются в строительстве. Рулонную гидроизоляцию укладывают в один или несколько слоев. В последнем случае внешний слой перекрывает швы внутреннего, увеличивая герметичность изоляции. Число слоев определяется глубиной заложения конструкции [14, 15].



**Рис. 1.11. Классификация гидроизоляционных материалов по природе и виду изделия**

Перед монтажом таких покрытий поверхности должны быть очищены и выровнены. Не должно быть острых углов и выступающей арматуры, чтобы не произошло повреждение материала, в частности, при обратной засыпке грунтом.

Для повышения сцепления основания с гидроизоляционным рулоном, поверхность обрабатывают специальными растворами – праймерами (грунтовками).

Мастики на битумной (битумно-полимерной) основе также довольно просто наносятся на поверхности конструкций, создавая бесшовную изоляцию. Однако поверхности должны быть хорошо подготовленными, как и в случае с рулонными материалами. Мастики укладываются в 2 – 4 слоя с соблюдением временных интервалов.

Цементные обмазочные материалы – это сухие смеси, состоящие из минерального вяжущего, песка и наполнителей с добавками, которые перед началом работ затворяются водой. Они обладают высокой адгезией к бетонам и создают бесшовное прочное покрытие, которое «дышит», т.е. пропускает водяной пар. Как правило, наносят цементную гидроизоляцию либо вручную, либо механизированным путем в несколько слоев. Толщина одного слоя до 5 мм.



<i>Характеристики, условие применения материалов</i>	<i>Мембраны из металлических листов</i>	<i>Мембраны из рулонных и листовых материалов</i>	<i>Мембраны из материалов жидкого нанесения</i>	<i>Мембраны на минеральных вяжущих</i>	<i>Мембраны на основе бентонитовых глин</i>
Удлинение при разрыве	Минимальное	Хорошее	Прекрасное	Отсутствует	Хорошее
Химическая стойкость в грунте и атмосфере	Хорошая при качественной защите	Хорошая	От средней до хорошей	Хорошая	Средняя
Трудоемкость укладки	Высокая	Средняя	Простая	Простая	Простая
Толщина слоя	6 мм и более	0,5- 10 мм	1,5 - 2 мм	1-5мм иногда больше	6 - 12 мм
Возможность работы при активном и негативном давлении воды	В любом режиме	Только в активном режиме	Только в активном режиме	В любом режиме	Только в активном режиме
Участки, требующие обследования и дополнительных усилий и затрат при нанесении материалов	Швы, накладки, качество защитных покрытий, анкера, сопряжения	Нахлест полотниц и швы; профилирование у отверстий и сопряжений, переходных наземных элементов	Толщина материала, особенно у перегибов; профилирование и грунтовка у отверстий и сопряжений	Галтели, швы и сопряжения; профилирование швов и трещин	Нахлест, профилирование у отверстий и изменении плоскости
Ремонт	От средней трудности до неремонтпригодности	От средней трудности до трудного	От средней трудности до трудного	Простой при укладке по внутреннему контуру	От средней трудности до трудного
Необходимость защиты при засыпке пазух	нет	Да	да	нет	да
Стоимость работ	Самая высокая	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая и средняя
Необходимость в квалифицированной рабочей силе	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя

**Рис. 1.12. Основные характеристики и условия использования материалов, применяемых для создания гидроизоляционных систем [8]**

Если пористость изолируемой бетонной поверхности слишком высокая, используют пенетрирующие составы на цементной основе, которые в процессе твердения в результате образования кристаллов заполняют поры и повышают водонепроницаемость бетона.

Штукатурная гидроизоляция может иметь толщину одного слоя до 50 мм и наносится либо вручную, либо механизированным способом (торкретирование).

Интересным гидроизоляционным материалом являются бентонитовые маты, состоящие из гранул бентонитовых глин, расположенных между двумя слоями геотекстиля [9].

Благодаря способности таких глин разбухать при соприкосновении с водой (увеличение в объеме бентонита при гидратации составляет до 12 – 16 раз) бентонитовые материалы способны к «самозалечиванию», т.е. к ликвидации проколов и других дефектов, образующихся при небольших механических повреждениях [9].

На рисунке 1.12 приведены основные свойства и условия применения различных материалов, используемых при создании гидроизоляционных мембран подземных частей зданий. Материалы и мембраны, выбранные для гидроизоляции подземной части здания, обязательно должны быть проверены на совместимость с материалами и мембранами, принятыми для надземной части [8].

В настоящее время большой популярностью пользуются полимерные мембраны из пластифицированного поливинилхлорида. Рассмотрим системы гидроизоляции с их применением подробнее в следующем разделе.

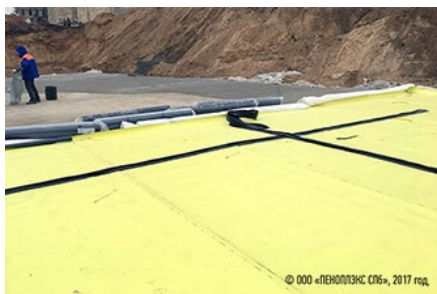
#### 1.4. ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫЕ МЕМБРАНЫ И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

На сегодняшний день поливинилхлоридные (ПВХ) мембраны являются одними из самых распространенных гидроизоляционных материалов в нашей стране и во всем мире. Они активно применяются для гидроизоляции кровель, подземных сооружений и тоннелей, искусственных водоемов, бассейнов, а также контейнеров и емкостей для хранения жидкостей (рис. 1.13).

Полимерные рулонные материалы (мембраны) намного упростили и обезопасили выполнение гидроизоляционных работ.



а)



б)

Рис. 1.13. Гидроизоляция кровли (а) и фундамента (б)

Они не требуют тщательной подготовки изолируемой поверхности и не подразумевают использования токсичных веществ и открытого пламени при устройстве гидроизоляции.

Полимерные мембраны изготавливаются методом экструзии и каландрования из суспензионного поливинилхлорида с добавлением наполнителей и технологических добавок. Также вводятся специальные стабилизаторы, обеспечивающие биостойкость, стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения, растворов солей, слабых кислот и щелочей [16 – 18]. Производятся мембраны толщиной от 1,5 до 3 мм. Могут быть армированными синтетической сеткой для повышения прочности на разрыв.

Поставляются мембраны в рулонах и могут иметь сигнальный цвет поверхности, который позволяет легко обнаружить повреждение мембраны в процессе монтажа, либо эксплуатации (рис. 1.14).

Как правило, мембраны укладывают на горизонтальные поверхности, либо крепят к вертикальным поверхностям приваркой к механически закрепленным в конструкции ронделям в один слой. Полотнища укладываются с нахлестом, а затем при помощи горячего воздуха свариваются с образованием двойного шва. Сварка осуществляется механизированным или ручным способом (рис. 1.15).

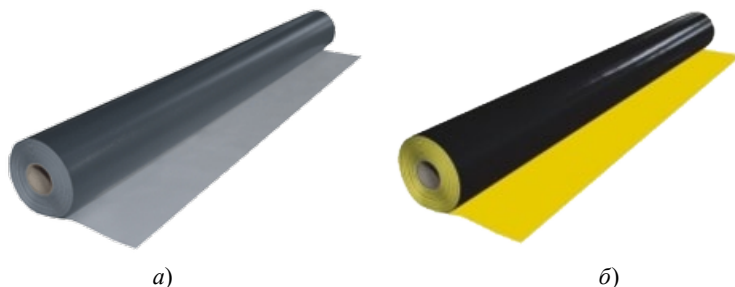


Рис. 1.14. Мембраны в рулонах без сигнального слоя (а) и с сигнальным слоем (б) [19]

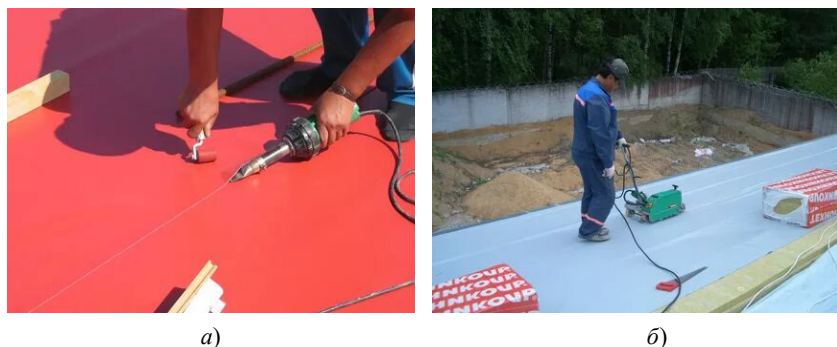
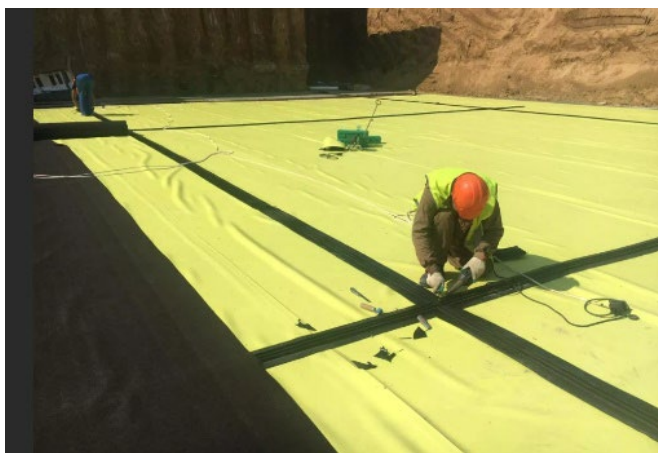


Рис. 1.15. Сварка мембран ручным способом (а) и механизированным (б)



**Рис. 1.16. Разбивка ПВХ-мембраны гидрошпонками на отдельные карты**

Для защиты мембраны от механического повреждения со стороны изолируемой поверхности и со стороны грунта обратной засыпки в процессе монтажа укладывается слой иглопробивного геотекстиля.

Сегодня производители полимерных мембран разрабатывают целые гидроизоляционные системы для защиты фундаментов и других конструкций, которые являются ремонтпригодными, т.е. способными восстанавливать свою функциональность на стадии эксплуатации в случае их повреждения [20 – 25].

Для обеспечения ремонтпригодности в системе предусмотрено зонирование мембраны гидрошпонками на герметично изолированные друг от друга секции определенной площади [20 – 22].

Зонирование позволяет ограничить распространение проникающей воды в пределах одной секции (рис. 1.16).

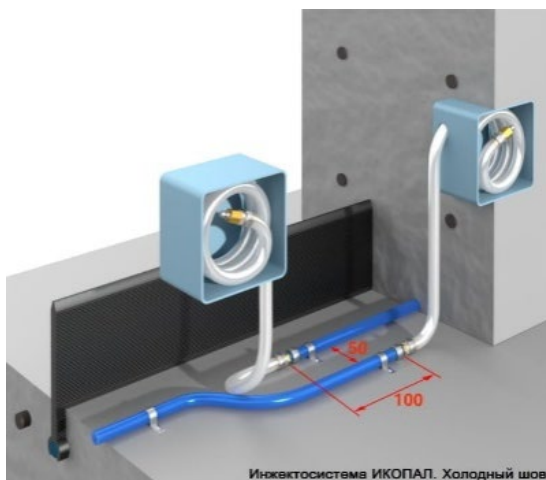
Помимо разбивки на отдельные секции к ПВХ-мембранам приклеиваются горячим воздухом пластиковые контрольно-инъекционные штуцеры (по 5 штук на карту) с инъекционными трубками, которые выводятся сквозь бетон изолируемой конструкции в помещение. Обнаружение воды в трубках и ее накопление в специальных коробах свидетельствует о повреждении гидроизоляции. Восстановление гидроизоляции происходит путем закачки через трубки специальных составов [20, 22] (рис. 1.17).

Двухслойная ремонтпригодная система выполняется из двух слоев полимерных мембран – нижнего основного и верхнего страховочного [21, 22].

Слои между собой сварены по периметру с образованием герметичных карт площадью 100...150 м<sup>2</sup>, разбитых гидрошпонками [21]. В каждой замкнутой секции также устанавливаются штуцеры с выводом трубок во внутренний объем сооружения [21, 22].



а)



б)

**Рис. 1.17. Размещение инъекционных штуцеров и трубок (а) и коробов (б) в ремонтпригодной гидроизоляционной системе**

Порядок монтажа двухслойных ремонтпригодных систем с ПВХ-мембранами для гидроизоляции подземных частей зданий следующий:

- устройство бетонной подготовки, либо стены в грунте;
- подготовка поверхности (обязательное отсутствие острых кромок и участков каверн/раковин в поверхности бетона);
- свободная укладка геотекстиля плотностью 300...500 г/м<sup>2</sup> на поверхность бетонной подготовки;
- укладка первого слоя мембраны;
- сварка первого слоя мембраны (нахлест для автоматического оборудования составляет 10...12 см); проверка герметичности швов визуально и инструментально;
- укладка геотекстиля для предотвращения слипания мембран между собой, либо применение мембраны с фактурной поверхностью;
- сварка 2-го слоя мембраны и проверка герметичности швов;
- сварка 1-го и 2-го слоев мембраны между собой с образованием герметичных карт площадью не более 150 м<sup>2</sup>;
- монтаж угловых штуцеров из ПВХ (5 штуцеров на 150 м<sup>2</sup>) и монтаж элементов инъекционной системы (трубок и фитингов);
- проверка системы методом вакуумного контроля (откачка воздуха из карт);
- укладка геотекстиля на гидроизоляцию с последующим устройством защитной стяжки.

В качестве инъекционного материала может применяться полиуретановый состав гидрофильного типа. Такой состав после инъектирования увеличивается в объеме до 12 раз, при этом отсутствует расслоение и вымывание. Быстрая полимеризация сокращает сроки ремонта системы [21, 22]. Также сейчас используют акрилатные двухкомпонентные гели.

Важным этапом монтажа ремонтпригодных систем является вакуумный контроль. Посредством вакуумного насоса выкачивается воздух из склееных по периметру мембран через инъекционные трубки. Давление воздуха контролируется манометром и не должно превышать 0,5 кг/см<sup>2</sup> в течение 5 минут. Откачка воздуха возможна за счет рельефной поверхности одной из мембран, либо за счет слоя геотекстиля, создающего зазор и препятствующего слипанию мембран. После проверки всех карт мембрана закрывается защитными геотекстильными материалами [22].

Опыт эксплуатации ремонтпригодных гидроизоляционных систем на основе ПВХ-мембран позволил выявить их следующие достоинства и недостатки [21, 22].

Достоинства:

- низкие требования к качеству основания изолируемой конструкции;
- возможность локального восстановления гидроизоляции;
- высокая скорость устройства гидроизоляции по сравнению с традиционными материалами;
- низкая стоимость ремонтпригодных систем по сравнению с традиционными даже с учетом затрат на ремонтные составы;
- высокая надежность и долговечность ремонтпригодных систем за счет их разбивки на независимые карты, ремонтируемые при необходимости путем локального инъецирования.

Недостатки [21, 22]:

- низкая стойкость к механическим воздействиям и подверженность повреждению острыми предметами;
- приоритетность обеспечения полноценной первичной защиты (неизвлекаемое шпунтовое ограждение, стена в грунте и т.п.) при проектировании таких систем;
- трудоемкость контроля качества сварных соединений;
- сложность решения узлов ввода коммуникаций;
- отсутствие в некоторых системах сплошного сцепления мембраны с защищаемой конструкцией, приводящее к возможности проникания воды между ними.

## 1.5. ВЫВОДЫ

Учитывая многообразие и различное качество гидроизоляционных систем и материалов, данные по их характеристикам должны представляться фирмами-изготовителями, а также, в ответственных случаях, дополнительно проверяться в лабораторных условиях.

Возрастающий спрос на новые ремонтпригодные гидроизоляционные системы из ПВХ-мембран, неполнота информации об их эксплуатационных свойствах и работоспособности послужили причиной для авторов монографии провести ряд дополнительных лабораторных исследований, речь о которых пойдет в следующих главах.

## 2. ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ИЗ ПВХ-МЕМБРАН

Первый этап научно-исследовательской работы был направлен на оценку возможности инъекционного ремонта гидроизоляционной системы, состоящей из двух слоев ПВХ-мембран и геотекстильной прослойки и находящейся под значительным внешним сжимающим давлением [26, 27].

Инъекционный ремонт подразумевает закачку в поврежденную систему специального раствора на стадии эксплуатации защищаемой конструкции.

Исходя из того, что инъектирование возможно только при наличии воздухопроницаемости системы, гидроизоляционная система предварительно подвергалась вакуумированию.

Цели первого этапа исследования:

- определить посредством контроля вакуума величину максимального внешнего давления на макеты гидроизоляционных карт, при котором обнаруживается падение вакуумметрического давления, т.е. нарушается их воздухопроницаемость [26, 27];

- оценить возможность инъектирования ремонтного состава в макеты гидроизоляционных карт, находящиеся под внешним давлением величиной  $146 \text{ т/м}^2$  [26, 27].

### 2.1. МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

#### 2.1.1. Исходные материалы

*ПВХ-мембраны.* Для изготовления макетов гидроизоляционных карт различной конфигурации использовали ПВХ-мембраны трех видов:

1. ПВХ-мембрана PLASTFOIL GEO, толщиной 1,5 и 2,0 мм, (ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016) – двухслойная полимерная гидроизоляционная мембрана на основе пластифицированного поливинилхлорида, без армирования, с ярким сигнальным верхним слоем для идентификации повреждений в период монтажа и эксплуатации (рис. 2.1). Предназначена для гидроизоляции подземных сооружений.

Основные технические характеристики представлены в табл. 2.1.



Рис. 2.1. ПВХ-мембрана  
PLASTFOIL GEO



## 2.1. Технические характеристики ПВХ-мембраны PLASTFOIL GEO

Характеристика	Показатель	Нормативный документ
Дефекты внешнего вида	Отсутствуют	ГОСТ Р ЕН 1850-2-2011
Прямолинейность, не более, мм на 10 м	30	EN 1848-2
Плоскостность, не более, мм	10	EN 1848-2
Прочность при растяжении, метод В, МПа, не менее		ГОСТ 31899-2011
– вдоль рулона	15	
– поперек рулона	15	
Удлинение при максимальной нагрузке, %, не менее		ГОСТ 31899-2011
– вдоль рулона	300	
– поперек рулона	300	
Сопротивление раздиру (кровельные ПМ), Н, не менее	150	EN 12310-2
Полная складываемость при отрицательной температуре, °С, не более	-35	ГОСТ EN 495-5-2012
Гибкость на брусе радиусом 5 мм, не должно быть трещин при температуре, °С, не более	-45	ГОСТ 2678-94
Водопоглощение, %, по массе, не более	0,1	ГОСТ 2678-94
Прочность сварного шва на раздир, Н/50 мм, не менее	300	EN 12316-2
Прочность сварного шва на разрыв, Н/50мм, не менее	600	EN 12317-2
Водонепроницаемость, 0,2 МПа в течение 2 ч	Водо-непроницаем	ГОСТ Р ЕН 1928 В
Сопротивление граду, не менее, м/с	25	EN 13583

Характеристика	Показатель	Нормативный документ
Сопротивление динамическому продавливанию (ударная прочность) при отрицательных температурах, не должно быть трещин при температуре, °С, не более	-30	Внутренняя методика компании
Сопротивление статическому продавливанию, кг, не менее	20	ГОСТ ЕН 12730-2011
Сопротивление динамическому продавливанию (ударная прочность) по твердому основанию (по мягкому основанию), мм, не менее	1,5 мм – 700 (1000) 1,8 мм – 800 (1200) 2,0 мм – 1500 (2000)	ГОСТ 31897-2011
Реакция на огонь	Class E	EN 13501-1
Старение под воздействием искусственных климатических факторов, УФ излучения, не менее 5000 ч.	Соответствует	ГОСТ 32317-2012 (EN 1297)
Изменение линейных размеров при нагревании в течение 6 ч при 80 °С, %, не более	1,5	ГОСТ Р ЕН 1107-2-2011
Пожарная классификация: группа горючести распространение пламени воспламеняемость	Г3 РП2 В3	ГОСТ 30244-94 ГОСТ 30444-97 ГОСТ 30402-96

2. ПВХ-мембрана ALKORPLAN 35036 (ТУ 5774-001-47270706-04) – эластичная ПВХ-мембрана толщиной 1,5 и 2,0 мм, неармированная, прозрачная, со структурной поверхностью (рис. 2.2). Изготавливается из чистого исходного материала ПВХ без добавок вторичной переработки. Применяется для гидроизоляции заглубленных и подземных сооружений в системах двухслойной гидроизоляции с вакуумным контролем качества как второй слой. Может также применяться и как основное полотно гидроизоляционного ковра.



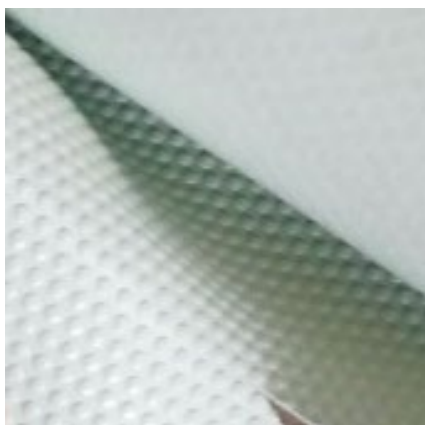
**Рис. 2.2. ПВХ-мембрана ALKORPLAN 35036**

Прозрачность мембраны позволяет визуально проверять качество сварного шва. Структурная поверхность мембраны должна обеспечивать вакуумирование карты без слипания, сохраняя пространство между слоями. Основные технические характеристики представлены в табл. 2.2.

## **2.2. Технические характеристики ПВХ-мембраны ALKORPLAN 35036**

Наименование показателя	Единица измерения	Нормирующий документ	Значение показателей
Условная прочность	МПа	ГОСТ 30547–97	17,5
Относительное удлинение	%	ГОСТ 30547-97	643
Изменение линейных размеров в течение 6 ч при температуре не ниже $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$	%	ГОСТ 30547–97	0,6
Теплостойкость при температуре ниже $85 ^\circ\text{C}$ в течение 2 ч	–	ГОСТ 30547–97	Выдержали
Водонепроницаемость при $P = 0,2$ МПа в течение 2 ч	–	ГОСТ 30547–97	Выдержали
Водопоглощение поверхности по массе в течение 24 ч	%	ГОСТ 30547–97	0,1
Гибкость на брус с закруглением $(5 \pm 0,2)$ мм при температуре $-20 ^\circ\text{C}$	–	ГОСТ 30547–97	Соответствует –55

3. ПВХ-мембрана LOGICBASE V-ST (LOGICROOF T-PL), толщиной 1,6 мм – неармированная мембрана светло-зеленого цвета, применяется для гидроизоляции тоннелей, фундаментов, подземных частей зданий и сооружений в качестве второго слоя в составе двухслойных гидроизоляционных систем на основе ПВХ-мембран с вакуумным контролем качества. Также применяется в качестве защитного слоя гидроизоляционных ПВХ-мембран. Одна из сторон материала имеет специальную фактурную поверхность, которая не позволяет слипаться между собой мембранам в составе двухслойных гидроизоляционных систем при проведении вакуумного контроля качества. Основные технические характеристики представлены в табл. 2.3.



**Рис. 2.3. ПВХ-мембрана LOGICBASE V-ST (LOGICROOF T-PL)**

**2.3. Технические характеристики ПВХ мембраны LOGICBASE V-ST (LOGICROOF T-PL)**

Наименование показателя	Единица измерения	Характеристики
Прочность при разрыве, не менее:		
– вдоль рулона	МПа	12
– поперек рулона		11
Удлинение при максимальной нагрузке, не менее	%	300
Сопротивление разрыву стержнем гвоздя, не менее	Н	150

Наименование показателя	Единица измерения	Характеристики
Полная складываемость при отрицательной температуре, не более	°С	-30
Гибкость на брусе радиусом 5 мм, не должно быть трещин, не более	°С	-45
Изменение линейных размеров при нагревании в течение 6 ч при 80 °С, не более	%	2
Сопrotивление динамическому продавливанию (ударная стойкость) при отрицательных температурах, не должно быть трещин, не более	°С	-25
Прочность сварного шва на раздир, не менее	Н/50 мм	300
Прочность сварного шва на разрыв, не менее	Н/50 мм	600
Сопrotивление динамическому продавливанию (ударная стойкость) по твердому основанию (по мягкому основанию), не менее для толщины 2,0 мм	мм	700 (1000)
Сопrotивление статическому продавливанию, не менее	кг	20
Водонепроницаемость, 1,0 МПа в течение 24 ч	Отсутствие следов проникновения воды	



Рис. 2.4. Средний слой из геотекстиля

*Геотекстиль.* В качестве внутреннего слоя для обеспечения воздухопроницаемости гидроизоляционных карт, находящихся под нагрузкой, использовали геотекстиль Геоком плотностью 150, 300 и 500 г/м<sup>2</sup> (рис. 2.4).

Геотекстиль представляет собой нетканое полотно из полиэфирных волокон, изготовленное иглопробивным способом. Предназначен для защиты гидроизоляционной мембраны от механических повреждений во время производства общестроительных работ.

Основные технические характеристики геотекстиля плотностью 500 г/м<sup>2</sup> представлены в табл. 2.4.

*Ремонтный состав.* В качестве ремонтного состава использовали акрилатный гель для инъектирования Манокрил Гель Р – трехкомпонентный продукт на основе смеси акрилатов и метакрилатов с низкой вязкостью, без содержания растворителей с быстрым временем твердения. При полимеризации гидрогель увеличивается в объеме, после полимеризации имеет высокую эластичность и способен выдерживать динамические нагрузки. Применяется для герметизации рабочих швов бетонирования через систему шлангов, создания отсечной гидроизоляции от поднятия капиллярной влаги по кирпичным и каменным стенам, заполнения поврежденных карт из гидроизоляционных мембран, а также заполнения каверн, пустот, вводов коммуникаций. Основные технические характеристики гидрогеля Манокрил Гель Р представлены в табл. 2.5.

#### 2.4. Технические характеристики геотекстиля плотностью 500 г/м<sup>2</sup>

Наименование показателя	Единица измерения	Характеристики
Ширина рулона	м	2,15
Длина рулона	м	45
Поверхностная плотность	г/м <sup>2</sup>	500
Прочность при растяжении (продольное направление)	кН/м	17
Прочность при растяжении (поперечное направление)	кН/м	15
Относительное удлинение при разрыве (продольное направление)	%	200
Относительное удлинение при разрыве (поперечное направление)	%	200
Устойчивость к УФ-излучению	–	Устойчив
Биостойкость	–	Устойчив

## 2.5. Технические характеристики Манокрил Гель Р

Параметры	Компонент		
	А1	А2	Б
Внешний вид	Жидкость	Жидкость	Порошок
Цвет	Бесцветный	Бесцветный	Белый
Плотность при 20 °С, около	1,05 г/см <sup>3</sup>	0,93 г/см <sup>3</sup>	1,1 г/см <sup>3</sup>
Вязкость смеси (А1 + А2) + (Б + Вода), около	2,6 МПа·с		
Время реакции, около	2 – 30 мин		
Полное отверждение	10 – 40 мин		
<i>После полимеризации</i>			
Консистенция	Эластичная резина		
Цвет	Белый		
Плотность при 20 °С	1,03 г/см <sup>3</sup>		
Прочность при растяжении	0,08 МПа		
Относительное удлинение при разрыве	290%		
Модуль эластичности	0,13 МПа		
Адгезия к бетону	0,12 Н/мм <sup>2</sup>		
Степень набухания	20%		
Водонепроницаемость (с Манокрил Флекс)	7 бар		
Долговечность	Не менее 30 лет		

### 2.1.2. Приборы и приспособления для проведения испытаний

*Пресс гидравлический Р-100.* Универсальная разрывная машина Р-100 (рис. 2.5) предназначена для статических испытаний стандартных образцов металлов на растяжение, сжатие, изгиб при температуре  $(20 \pm 1,5)$  °С в соответствии с ГОСТ 1497, ГОСТ 12004.

Универсальная машина на растяжение Р-100 оснащена торсионным блоком измерения нагрузки. Исполнение машины – двухколонное с двумя зонами проведения испытаний: нижняя на разрыв; верхняя на сжатие.



**Рис. 2.5. Гидравлический пресс Р-100**

Универсальная машина Р-100 имеет 3 диапазона измерения: первый – до 200 кН; второй – до 500 кН; третий – до 1000 кН, обеспечивающие испытание на растяжение:

- цилиндрических образцов типов VI, VII по ГОСТ 1497;
- плоских образцов типов I, II по ГОСТ 1497;
- цилиндрических образцов с головками тип III № 1 – 5 по ГОСТ 1497;
- твердость образцов до 42 HRC.

Испытания на сжатие и изгиб по ГОСТ 14019 проводятся в верхней зоне испытания машины при помощи специальных приспособлений.

## **2.6. Основные технические характеристики разрывной машины Р-100**

Характеристика	Значение
Наибольшая создаваемая нагрузка, кН	1000
Тип привода	Гидравлический
Диапазон измерения, кН	40...1000
Рабочий ход активного захвата, мм	340
Высота рабочего пространства, включая ход активного захвата, мм	980



Характеристика	Значение
Расстояние от оси образца до колонны, мм	400
Погрешность при нагружении, %	$\pm 1$
Максимальная скорость перемещения активного захвата, мм/мин	100
Отображение данных испытания	Аналоговый циферблат, самописец ленточный
Диаметры цилиндрических образцов, мм	8...50
Толщина/ширина плоских образцов, мм	5...50/80
Диаметр плит сжатия, мм	180
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	2970×1930×4590
Масса испытательной машины, кг	7200
Мощность, кВт	3,7
Электропитание	~380V/50Hz (с нулевым проводом)

*Контрольно-инъекционный угловой штуцер и трубка для инъектирования.* Штуцер является элементом инъекционной системы и предназначен для подачи ремонтного инъекционного состава в поврежденную секцию гидроизоляционной системы. Штуцер изготавливается из ПВХ и приваривается к мембране посредством горячего воздуха (рис. 2.6).

Для подачи ремонтного состава к инъекционному штуцеру в работе применяется ПВХ трубка диаметром 10 мм (рис. 2.6).



**Рис. 2.6. Угловой инъекционный штуцер и трубка**



Рис. 2.7. Фитинги



Рис. 2.8. Стальные и фанерные плиты

*Фитинг соединительный (прямой и угловой).* Применяется для присоединения инъекционных трубок к инъекционным штуцерам и для соединения инъекционных трубок между собой (рис. 2.7).

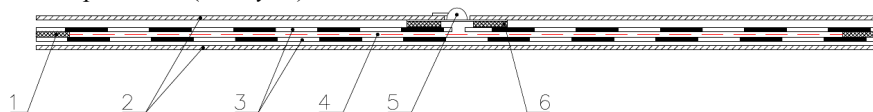
*Металлические листы для передачи давления.* Равномерно распределенная нагрузка передавалась от прессы на карты через металлические плиты толщиной 10 мм, размером 40×60 см (рис. 2.8). В верхней плите вырезано отверстие диаметром 30 мм для присоединения инъекционной трубки.

Для обеспечения сохранности инъекционного штуцера между верхней плитой и макетом гидроизоляционной карты размещался лист фанеры с отверстием для размещения углового фитинга.

## 2.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАКЕТОВ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КАРТ

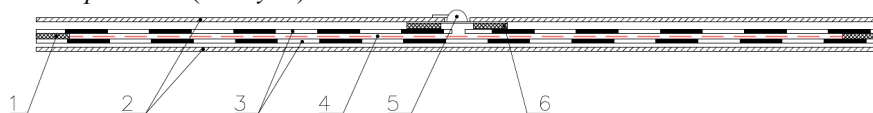
Согласно техническому заданию, на базе ФГБОУ ВО «ТГТУ» техническими специалистами PLASTFOIL было изготовлено 7 макетов гидроизоляционных карт размером 40×60 см различной конфигурации.

*Карта № 1 (2 штуки)*



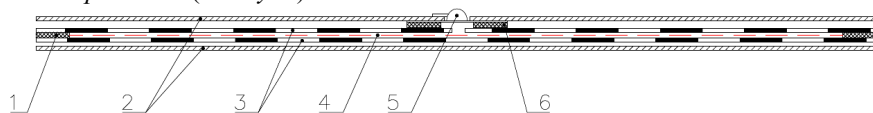
- 1 – Сварной шов между слоями ПВХ-мембраны PLASTFOIL Geo
- 2 – Металл листовой
- 3 – ПВХ-мембрана PLASTFOIL Geo
- 4 – Геотекстиль (150 г/м<sup>2</sup>)
- 5 – Угловой инжекционный штуцер
- 6 – Сварное соединение по всему периметру ПВХ-штуцера к ПВХ-мембране PLASTFOIL Geo

*Карта № 2 (1 штука)*



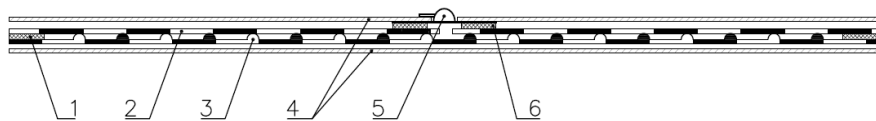
- 1 – Сварной шов между слоями ПВХ-мембраны PLASTFOIL Geo
- 2 – Металл листовой
- 3 – ПВХ-мембрана PLASTFOIL Geo
- 4 – Геотекстиль (300 г/м<sup>2</sup>)
- 5 – Угловой инжекционный штуцер
- 6 – Сварное соединение по всему периметру ПВХ-штуцера к ПВХ-мембране PLASTFOIL Geo

*Карта № 3 (2 штуки)*



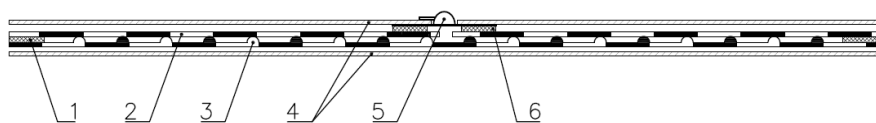
- 1 – Сварной шов между слоями ПВХ-мембраны PLASTFOIL Geo
- 2 – Металл листовой
- 3 – ПВХ-мембрана PLASTFOIL Geo
- 4 – Геотекстиль (500 г/м<sup>2</sup>)
- 5 – Угловой инжекционный штуцер
- 6 – Сварное соединение по всему периметру ПВХ-штуцера к ПВХ-мембране PLASTFOIL Geo

*Карта № 4 (1 штука)*



- 1 – Сварной шов между слоями ПВХ-мембран
- 2 – ПВХ-мембрана с гладкой поверхностью
- 3 – ПВХ-мембрана ALKORPLAN 35036 с профилированной поверхностью
- 4 – Металл листовой
- 5 – Угловой инъекционный штуцер
- 6 – Сварное соединение по всему периметру ПВХ-штуцера к ПВХ мембране

*Карта № 5 (1 штука)*



- 1 – Сварной шов между слоями ПВХ-мембран
- 2 – ПВХ-мембрана с гладкой поверхностью
- 3 – ПВХ-мембрана LOGICBASE V-ST (LOGICROOF T-PL) с профилированной поверхностью
- 4 – Металл листовой
- 5 – Угловой инъекционный штуцер
- 6 – Сварное соединение по всему периметру ПВХ-штуцера к ПВХ мембране.

## **2.3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ**

### **2.3.1. Проверка вакуумом воздухонепроницаемости макетов гидроизоляционных карт, находящихся под нагрузкой**

Подготовленные макеты поочередно помещались под пресс и сжимались в течение 2 ч давлением  $146 \text{ т/м}^2$  ( $1,46 \text{ МПа}$ ) (рис. 2.9) [26, 27].

По истечении 2 ч в верхнем слое карт создавалось отверстие. К контрольно-инъекционному штуцеру подключалась вакууметрическая система для проверки воздухонепроницаемости карты (рис. 2.10). При этом создавалось отрицательное давление до  $-1 \text{ атм}$  [26, 27].

Гидроизоляционная карта считается герметичной, если в течение 5 минут отрицательное давление не опускается ниже отметки  $0,5 \text{ атм}$  [26, 27].



**Рис. 2.9. Макет гидроизоляционной карты в прессе [26, 27]**



**Рис. 2.10. Насос с манометром для создания вакуума**

В случае, если не наблюдалось падение вакуума, внешнее давление от пресса на гидроизоляционную карту снижалось от  $146 \text{ т/м}^2$  ( $1,46 \text{ МПа}$ ) до давления, при котором карта становилась воздухопроницаемой [26, 27].

Для обнаружения воздухопроницаемости использовался подкрашенный водный раствор, который наносился на проделанное отверстие. Проникание раствора внутрь карты свидетельствовало о нарушении герметичности [26, 27].

Данное испытание позволило приблизительно определить величину внешнего давления на карты, при котором возможно инъецирование ремонтного состава внутрь карты.

### 2.3.2. Закачка инъекционного ремонтного состава в макеты гидроизоляционных карт, находящиеся под нагрузкой

В гидроизоляционную карту, находящуюся под внешним давлением, закачивался ремонтный состав Манокрил гель Р (ООО «Гидрозо») вязкостью 2...3 мПа·с, под давлением 30 бар, со временем полного отверждения – 7 мин. Для закачки применялся инъекционный двухкомпонентный насос с отдельным промывочным насосом (рис. 2.11). Величина внешнего давления определялась по результатам проверки воздухопроницаемости карт [26, 27].

Режимы закачки инъекционного состава в карты представлены в табл. 2.7 [26, 27].



Рис. 2.11. Насос для закачки ремонтного состава (слева) и процесс закачки ремонтного состава (справа) в карты под давлением прессы

### 2.7. Режимы закачки ремонтного состава в карты [26, 27]

Конструкция макета	Величина внешнего давления прессы на макет, МПа
Карта № 1 (с геотекстилем 150г/м <sup>2</sup> )	0,6
Карта № 1 (с геотекстилем 150г/м <sup>2</sup> )	1,46
Карта № 2 (с геотекстилем 300 г/м <sup>2</sup> )	1,46
Карта № 3 (с геотекстилем 500 г/м <sup>2</sup> )	0,6
Карта № 3 (с геотекстилем 500 г/м <sup>2</sup> )	1,46
Карта № 4 (с профилированной мембраной ALKORPLAN)	0,2
Карта № 5 (с профилированной мембраной LOGICBASE V-ST (LOGICROOF T-PL))	0,2

## 2.4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Вакуумирование макетов гидроизоляционных карт, находящихся под нагрузкой, показало, что карты № 4 и № 5, не имеющие среднего слоя из геотекстиля, могут быть воздухопроницаемыми только при внешнем давлении прессы менее 0,2 МПа, несмотря на наличие верхнего профилированного слоя ПВХ [26, 27].

Повышение давления сжатия приводит к смятию элементов профилированного слоя, либо их вмятию в поверхность соседней мембраны, что зависит от соотношения твердостей контактирующих материалов. В свою очередь, это приводит к возникновению герметичности карт и их полной воздухо- непроницаемости. В результате, инъецирование таких карт оказалось возможным только при внешнем давлении прессы 0,2 МПа [26, 27].

После вскрытия карты № 5 картина распределения ремонтного состава оказалась следующей (рис. 2.12) [26, 27].

Видно, что раствору удалось заполнить пространство между выпуклостями на профилированной поверхности при внешнем давлении прессы 0,2 МПа. При большем давлении происходил разрыв инъекционных трубок.

Карты № 1 – 3 с внутренним слоем из геотекстиля различной плотности оказались воздухопроницаемыми даже при давлении прессы 1,46 МПа [26, 27].

При этом закачку ремонтного состава проводили при давлении прессы 0,6 и 1,46 МПа.

После вскрытия карт № 2 и № 3 с геотекстилем плотностью 300 и 500 г/м<sup>2</sup> было обнаружено, что геотекстиль впитал в себя ремонтный состав. Распределение ремонтного состава по макету показано на рис. 2.13 [26, 27].

В карты № 1 с геотекстилем плотностью 150 г/м<sup>2</sup> ремонтный состав удалось закачать лишь при давлении прессы 0,6 МПа. При этом состав равномерно пропитал геотекстиль (рис. 2.14).



**Рис. 2.12. Распределение ремонтного состава в картах с профилированной верхней мембраной LOGICBASE V-ST**



**Рис. 2.13. Распределение ремонтного состава в картах с геотекстилем 300 и 500 г/м<sup>2</sup>, находящихся под давлением пресса 1,46 МПа**



**Рис. 2.14. Распределение ремонтного состава в картах с геотекстилем 150 г/м<sup>2</sup>, находящихся под давлением пресса 0,6 МПа**

Возможно, при уменьшении вязкости ремонтного состава его удалось бы закачать и при давлении пресса 1,46 МПа.



## 2.5. ВЫВОДЫ

Результаты первого этапа научно-исследовательской работы показывают, что наличие прослойки из геотекстиля повышает эксплуатационную надежность двухслойной гидроизоляционной системы из ПВХ-мембран, поскольку делает ее ремонтпригодной даже при значительном внешнем давлении [26, 27].

Надежность гидроизоляционной системы определяется надежностью материалов, составляющих эту систему. Поэтому в ходе второго этапа научно-исследовательской работы рассматривается вопрос об изменении физико-механических показателей ПВХ-мембран PLASTFOIL GEO после длительного действия сжимающей нагрузки и ремонтного состава.

### 3. ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ПВХ-МЕМБРАН К ДЕЙСТВИЮ МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ И ИНЪЕКЦИОННОГО РЕМОНТНОГО СОСТАВА

По результатам первого этапа научно-исследовательской работы было установлено, что система двухслойной гидроизоляции с прослойкой из геотекстиля позволяет контролировать любой участок гидроизоляции при строительстве и после сдачи объекта в эксплуатацию. В случае локального повреждения такой системы выполнить ее ремонт возможно даже при значительном внешнем давлении и без каких-либо демонтажных работ и повреждения несущих конструкций.

В ходе второго этапа научно-исследовательской работы была поставлена цель: оценить характер изменения величин физико-механических показателей мембраны PLASTFOIL® Geo после воздействия на нее различной нагрузки и контакта с ремонтным составом по сравнению с показателями, отраженными в ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016.

При выполнении работы необходимо было придерживаться стандартных методик контроля качества ПВХ-мембран (табл. 3.1).

#### 3.1. Методы контроля качества PLASTFOIL® Geo

Показатель	Нормативный документ
Максимальная сила растяжения и относительное удлинение при максимальной силе растяжения	ГОСТ 31899-2 метод А
Морозостойкость	ГОСТ 2678 п. 3.9
Водопоглощение	ГОСТ 2678 п. 3.10
Сопrotивление динамическому продавливанию	ГОСТ 31897
Гибкость при пониженных температурах	ГОСТ EN 495-5
Прочность сварного шва на разрыв	ГОСТ EN 12317-2
Прочность сварного шва на раздир	ГОСТ EN 12316-2
Сопrotивление раздиру	EN 12310-2
Условная прочность и относительное удлинение при разрыве	ГОСТ 31899-2 Метод В
Кратковременная и длительная прочность при срезе	—

### 3.1. МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

#### 3.1.1. Подготовка образцов

*Прочность при растяжении.* Для определения *условной прочности и относительного удлинения при разрыве*, согласно ГОСТ 31899–2011 (Метод В) было изготовлено 6 серий образцов-лопаток из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в зависимости от толщины и вида воздействия на нее, по пять образцов в каждой серии. Характеристики образцов каждой серии представлены в табл. 3.2. Образцы перед данным испытанием, а также последующими механическими испытаниями, выдерживали не менее 20 ч при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $(50 \pm 5)\%$ .

#### 3.2. Характеристики образцов ПВХ-мембран

№ материала	Толщина, мм	Тип воздействия
1	1,5	Без воздействий
2	2,0	
3	1,5	Внешнее давление $146 \text{ т/м}^2$ ( $1,432 \text{ МПа}$ ) после контакта с ремонтным составом (гель-акрилат)
4	2,0	
5	1,5	Внешнее давление $306 \text{ т/м}^2$ ( $3 \text{ МПа}$ )
6	2,0	

Форма и размеры образцов представлены на рис. 3.1 и в табл. 3.3.

а)



б)

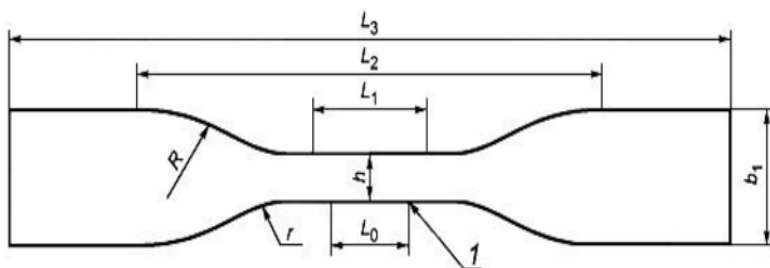


Рис. 3.1. Образцы-лопатки для испытаний на растяжение:  
а – общий вид; б – схема по ГОСТ 31899-2-2011 (Метод В)

### 3.3. Размеры образца-лопатки для испытаний на растяжение

Наименование размера	Размер образца-лопатки, мм
Общая длина $L_3$ (фактическая длина образца)	$> 115$ (120)
Ширина широкой части $b_1$	$25 + 1$
Длина узкой части $L_1$	$33 + 2$
Ширина рабочей части $b$	$6 + 0,4$
Радиус малый $r$	$14 + 1$
Радиус большой $R$	$25 + 2$
Расстояние между метками $L_0$	$25 + 0,25$
Исходное расстояние между зажимами $L_2$	$80 + 5$

Удлинение при максимальной нагрузке. Для определения максимальной силы растяжения и относительного удлинения при максимальной силе растяжения, согласно ГОСТ 31899–2011 (Метод А), было изготовлено 6 серий образцов-полосок (по пять образцов в каждой серии) из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в соответствии с табл. 3.2. Форма и размеры образцов представлены на рис. 3.2 и в табл. 3.4.

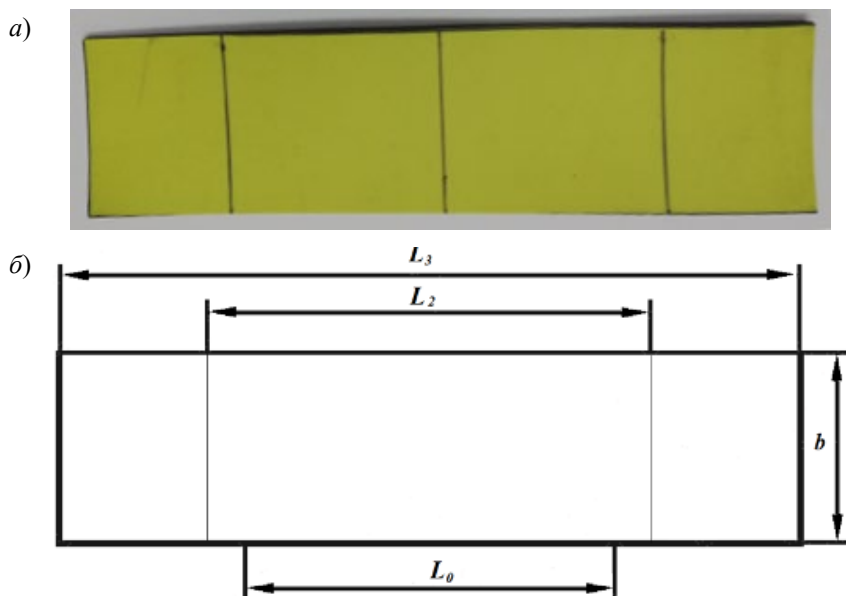


Рис. 3.2. Образцы-полоски для испытаний на растяжение:  
а – общий вид; б – схема по ГОСТ 31899–2–2011 (Метод А)

### 3.4. Размеры образца-полоски для испытаний на растяжение

Наименование размера	Размер образца-лопатки, мм
Общая длина $L_3$	200
Ширина рабочей части $b$	$50 \pm 0,5$
Расстояние между метками $L_0$	$100 \pm 5$
Исходное расстояние между зажимами $L_2$	120

*Сопротивление раздиру.* Для определения силы сопротивления разрыву, согласно ГОСТ Р 56583–2015 (EN12310-2:2000), было изготовлено 6 серий образцов-трапеций (по пять образцов в каждой серии) из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в соответствии с табл. 3.2.

Форма и размеры образцов представлены на рис. 3.3.

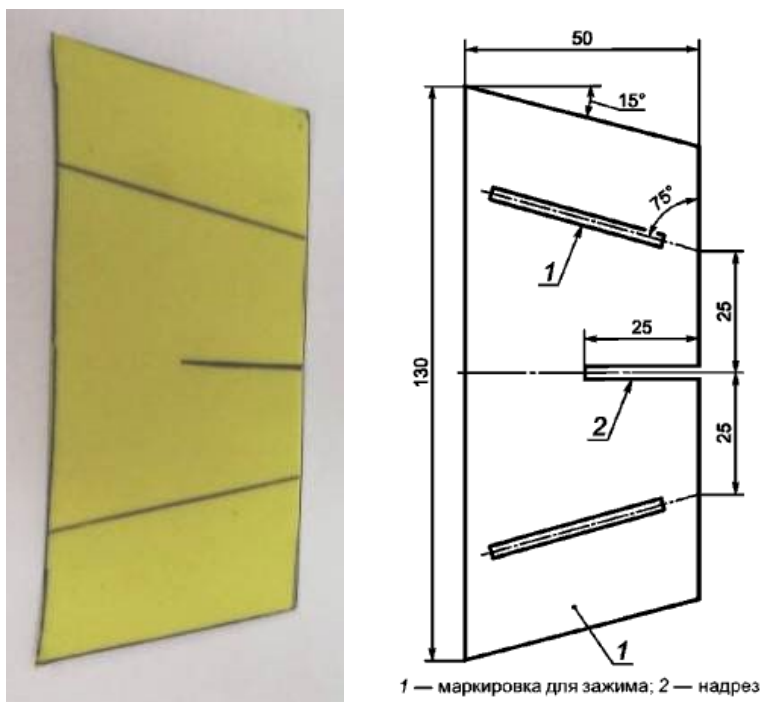


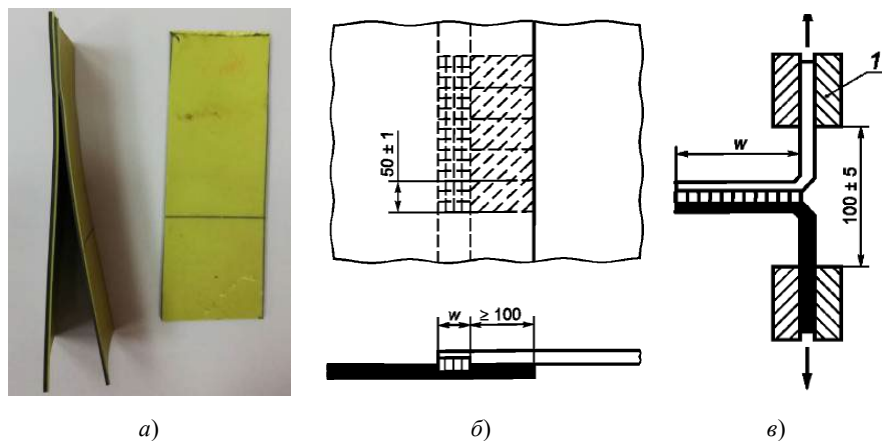
Рис. 3.3. Образцы для испытаний на сопротивление раздиру:  
*a* – общий вид, *б* – схема по ГОСТ Р 56583-2015

*Прочность сварного шва на раздир.* Для определения сопротивления раздиру сварного соединения, согласно ГОСТ Р 56584-2015 (EN12316-2:2013), было подготовлено пять опытных образцов шириной 50 мм, вырезанных из сварных швов макета гидроизоляционной карты перпендикулярно линии сваривания. Длина образцов принималась равной 140 мм (при ширине сварного шва 40 мм), расстояние между зажимами развернутого образца 100 мм (рис. 3.4, в). Чтобы концы каждого образца целиком находились в зажимах и испытанию подвергался весь участок сваривания, длина образца в зажиме принималась равной 50 мм.

Форма и размеры образцов представлены на рис. 3.4.

*Прочность сварного шва на разрыв.* Для определения прочности на сдвиг сварного соединения согласно ГОСТ Р 56911-2016 (EN 12317-2:2010) было подготовлено пять образцов шириной 50 мм, вырезанных из сварных швов макета гидроизоляционной карты перпендикулярно линии сваривания. Длина образцов для испытаний должна быть такой, чтобы исходное расстояние между зажимами было  $(200 \pm 5)$  мм, а участок сварного соединения находился посередине. Исходя из размеров макета гидроизоляционной карты и требования, что расстояние между зажимами должно быть в 3-4 раза больше ширины сварного соединения и находиться в пределах от 120 до 200 мм, размеры образцов принимались следующие: длина образца – 220 мм (при ширине сварного шва 40 мм); расстояние между зажимами – 160 мм; длина образца в зажиме – 30 мм.

Форма и размеры образцов представлены на рис. 3.5.

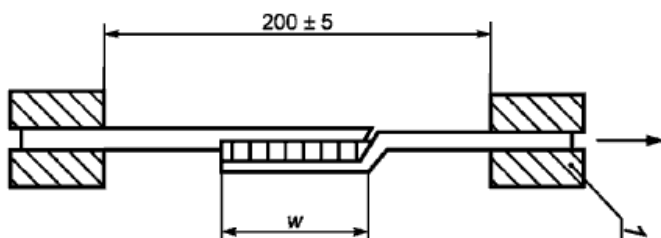


**Рис. 3.4. Образцы для испытаний на раздир сварного соединения:**

*a* – общий вид; *б* – схема вырезки образцов из пластин; *в* – схема закрепления образца (*l* – зажим; *w* – ширина клевого (сварного) соединения)



а)



б)

**Рис. 3.5. Образцы для испытаний на разрыв сварного соединения:**

а – общий вид; б – схема закрепления образца в зажимах по ГОСТ Р 56911–2016:

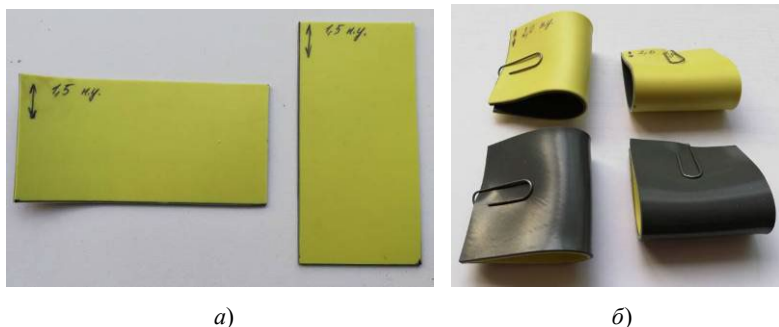
$l$  – зажим;  $w$  – ширина сварного соединения

*Морозостойкость.* Испытания на морозостойкость (определение гибкости) согласно ГОСТ 2678 п. 3.9, проводили на трех образцах-полосках размерами  $[(150 \times 20) \pm 1]$  мм, вырезанных в продольном направлении.

Было изготовлено 6 серий образцов-полосок (по три образца в каждой серии) из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в соответствии с табл. 3.2.

*Гибкость при пониженных температурах.* Для определения гибкости при пониженных температурах согласно ГОСТ EN 495-5 для каждого вида мембраны была изготовлена серия из четырех образцов размерами  $[(100 \times 50) \pm 1]$  мм: два образца, вырубленных в продольном направлении ( $L$ ), и два образца, вырубленных в поперечном направлении ( $T$ ). Перед проведением испытаний образцы выдерживали не менее 20 ч при температуре  $(23 \pm 2)$  °С и относительной влажности  $(50 \pm 5)$  %.

Испытуемый образец сгибали пополам в направлении длины и с помощью скрепки соединяли его концы. Сгибали один  $L$  и один  $T$  образец так, чтобы лицевая сторона образца находилась снаружи полученной петли. Оставшиеся два образца сгибали и скрепляли так, чтобы лицевая сторона образца находилась внутри полученной петли. Общий вид образцов представлен на рис. 3.6.



**Рис. 3.6. Образцы для испытаний на гибкость при пониженных температурах:**  
*а* – общий вид; *б* – схема закрепления образцов



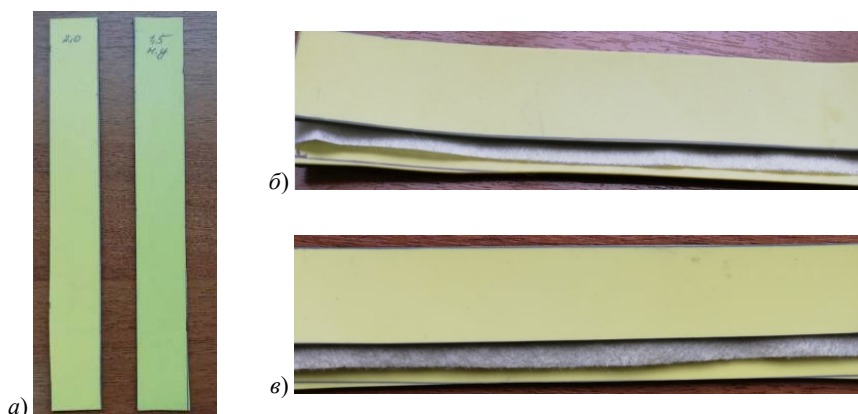
**Рис. 3.7. Образец для испытаний на сопротивление динамическому продавливанию**

*Сопротивление динамическому продавливанию.* Испытания на сопротивление динамическому продавливанию, согласно ГОСТ 31897–2011, проводили на образцах размерами 150×150 мм, вырубленных в различных местах полотна материала на расстоянии не менее 100 мм от края полотна. Образцы протирали с обеих сторон фильтровальной бумагой для удаления загрязнений и механических частиц.

Было изготовлено 6 серий образцов (по пять образцов в каждой серии) из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в соответствии с табл. 3.2. Перед проведением испытаний образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 24 ч. Общий вид образцов представлен на рис. 3.7.

*Водопоглощение.* Испытания на водопоглощение, согласно ГОСТ 2678 п. 3.10, проводили на трех образцах размерами  $[(100 \times 100) \pm 1]$  мм, аналогичных рис. 3.7. Образцы протирали с обеих сторон фильтровальной бумагой для удаления загрязнений и механических частиц. Было изготовлено 6 серий образцов из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в соответствии с табл. 3.2.





**Рис. 3.8. Образцы для кратковременных и длительных испытаний прочности на срез:**  
*а* – однослойные образцы; *б* – трехслойный образец с прослойкой из геотекстиля плотностью 150 г/м<sup>2</sup>; *в* – трехслойный образец с прослойкой из геотекстиля плотностью 500 г/м<sup>2</sup>

*Кратковременная и длительная прочность при срезе.* Для кратковременных и длительных испытаний прочности ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo на срез материал разрезали на полосы шириной 20 мм и длиной 200 мм. Было изготовлено 6 серий образцов (по 6 образцов в каждой серии) из ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo в соответствии с табл. 3.2.

Также испытания проводились на трехслойных образцах, вырезанных из макетов гидроизоляционных карт с прослойкой из геотекстиля плотностью 150 и 500 г/м<sup>2</sup>. Образцы в виде полос 200×20 мм изготавливали двух видов: без воздействий и после воздействия нагрузки и контакта с ремонтным составом. Общий вид образцов представлен на рис. 3.8.

### 3.1.2. Приборы и приспособления для проведения испытаний

*Испытательная машина Testometric M350-5AT.* Испытательная машина Testometric M350-5AT (рис. 3.9) предназначена для определения прочностных характеристик материалов при растяжении, разрыве, изгибе и сжатии на стандартных образцах. В ходе научно-исследовательской работы на данной машине проводились испытания на оценку прочности при растяжении; удлинения при максимальной нагрузке; сопротивления раздиру; прочности сварного шва на раздир; прочности сварного шва на разрыв.

Машина содержит два измерительных канала: канал измерений силы (силоизмеритель) и канал измерений перемещения (измеритель перемещения подвижной траверсы). Перемещение подвижной траверсы является мерой изменения линейных размеров (деформации) испытываемых образцов.



*a)*



*б)*

**Рис. 3.9. Испытательная машина Testometric M350-5AT:**

*a* – общий вид; *б* – зажимной механизм

Машина функционирует совместно с компьютером, объединенным с электронным блоком управления машины. Характеристики образца вычисляются с использованием предварительно введенных данных. Компьютер обеспечивает регулировку скорости перемещения траверсы, хранение измерительных данных, их статистическую обработку и отображение на дисплее различной числовой и графической информации.

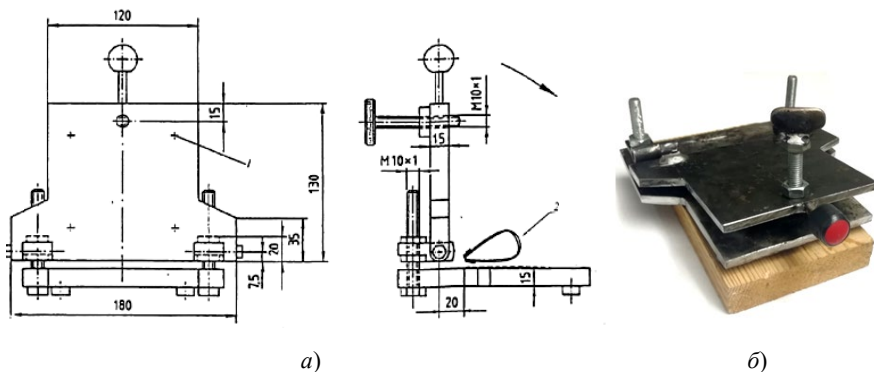
При проведении измерений испытываемый образец закрепляют в зажимах, один из которых (подвижный) установлен на подвижной траверсе через датчик силоизмерителя, а другой жестко связан с машиной. Перемещение подвижной траверсы вызывает воздействие на образец подвижного приспособления и его деформацию вплоть до разрушения.

### 3.5. Технические характеристики испытательной машины Testometric M350-5AT

Характеристика	Значение
Наибольшая предельная нагрузка	5 кН
Наименьшая предельная нагрузка (от номинальной нагрузки силоизмерителя)	2%
Допустимая относительная погрешность силоизмерителя	$\pm 0,5\%$
Максимальный предел измерений перемещения (рабочий ход подвижной траверсы без учета зажимов)	1100 мм
Допустимая относительная погрешность измерителя перемещения подвижной траверсы	$\pm 0,05\%$
Диапазон регулирования скорости перемещения подвижной траверсы	1...2000 мм/мин
Допустимая относительная погрешность регулирования скорости перемещения подвижной траверсы (при времени измерения не менее 1 мин)	$\pm 0,05\%$

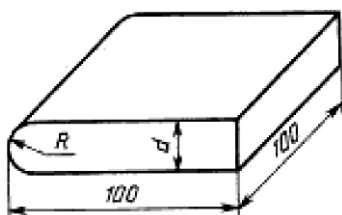
Технические характеристики испытательной машины Testometric M350-5AT представлены в табл. 3.5.

*Фальцовочный аппарат.* Для определения гибкости при пониженных температурах согласно ГОСТ EN 495-5 был изготовлен металлический фальцовочный аппарат с двумя пластинами, расстояние между которыми можно регулировать. Схема и общий вид аппарата представлены на рис. 3.10.



**Рис. 3.10. Фальцовочный аппарат:**

*a* – схема по ГОСТ EN 495-5: 1 – измерительные точки; 2 – образец; *б* – общий вид



а)



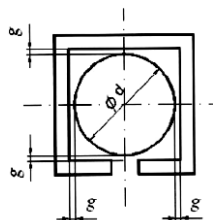
б)

**Рис. 3.11. Брус испытательный:**  
а – схема по ГОСТ 2678; б – общий вид

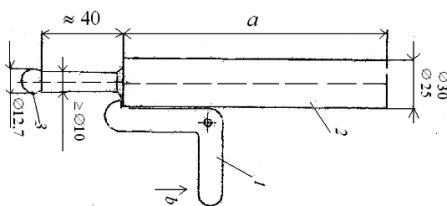
*Брус испытательный для измерения гибкости (морозостойкости).* Брус испытательный, согласно ГОСТ 2678 п. 3.9, был изготовлен из древесины твердой породы. С одной стороны бруса предусмотрено закругление радиусом  $R = 5$  мм в соответствии с нормативной документацией на материал (ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016). Схема и общий вид бруса представлены на рис. 3.11.

*Установка для определения сопротивления динамическому продавливанию.* Для определения сопротивления динамическому продавливанию, согласно ГОСТ 31897, было изготовлено ударное устройство, обеспечивающее свободное падение бойка и состоящее из следующих элементов:

1. Направляющая штанга. Обеспечивает направленное вертикальное падение бойка. Длина направляющей штанги должна быть не менее максимальной высоты падения бойка при проведении испытаний (для практических целей обычно достаточно 2 м). Схема направляющей штанги для бойка приведена на рис. 3.12, а.



а)



б)

**Рис. 3.12. Элементы установки для определения сопротивления динамическому продавливанию:**

а – схема направляющей штанги для бойка (поперечный разрез):

$d$  – диаметр бойка (от 25 до 30 мм);  $g$  – зазор (от 0,5 до 1 мм);

1 – направляющая штанга (например, квадратная трубка с прорезью); 2 – боек;

б – схема бойка с индентором и спусковым механизмом для освобождения бойка:

$a$  – длина бойка, при которой общая масса бойка с индентором составляет  $(500 \pm 5)$  г;

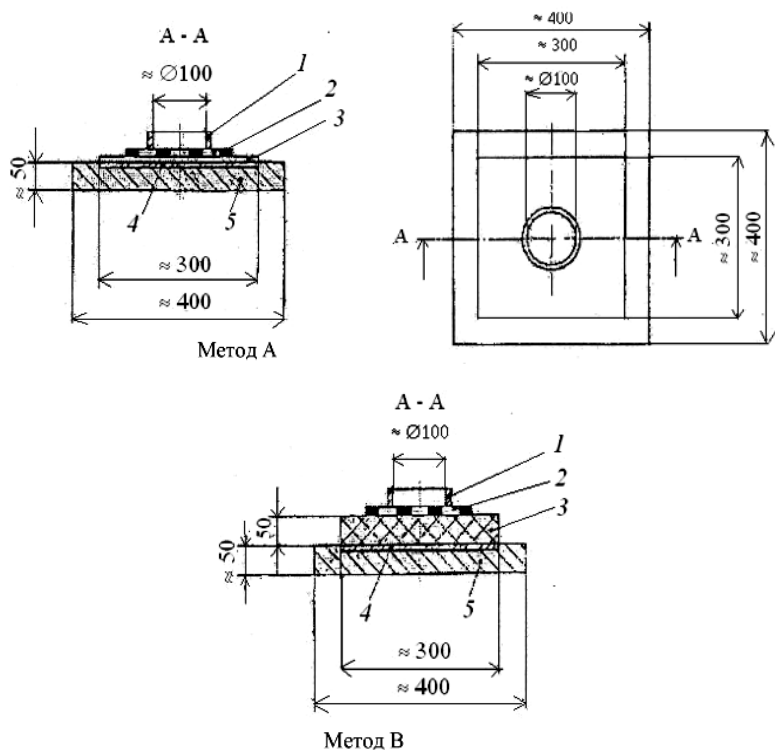
1 – спусковой механизм; 2 – боек; 3 – индентор

2. Боек с индентором. Представляет собой стальной цилиндр диаметром от 25 до 30 мм. В нижней части бойка находится индентор, имеющий цилиндрическую форму со сферическим закруглением внизу. Масса бойка с индентором должна быть  $(500 \pm 5)$  г. Индентор должен быть надежно прикреплен к бойку и изготавливаться в соответствии со следующими требованиями: материал – сталь, закаленная до твердости 50 по шкале С Роквелла; диаметр стержня индентора  $(10 \pm 0,1)$  мм, длина  $\approx 40$  мм; диаметр сферической части индентора  $(12,7 \pm 0,1)$  мм.

Для освобождения бойка используют спусковой механизм с устройством для изменения высоты падения бойка в интервале от 200 до 2000 мм.

Схема бойка с индентором и спусковым механизмом для освобождения бойка приведена на рис. 3.12, б.

3. Балластное кольцо массой не менее 2000 г изготавливают из стали, внутренний диаметр кольца  $\approx 100$  мм (рис. 3.13).



**Рис. 3.13. Балластное кольцо и подставка:**

- 1 – балластное кольцо; 2 – образец; 3 – подложка (алюминиевая пластина для метода А или плита из пенополистирола для метода В);  
4 – стальная пластина; 5 – бетонная плита

4. Подложка, тип которой отличается в зависимости от метода испытаний:

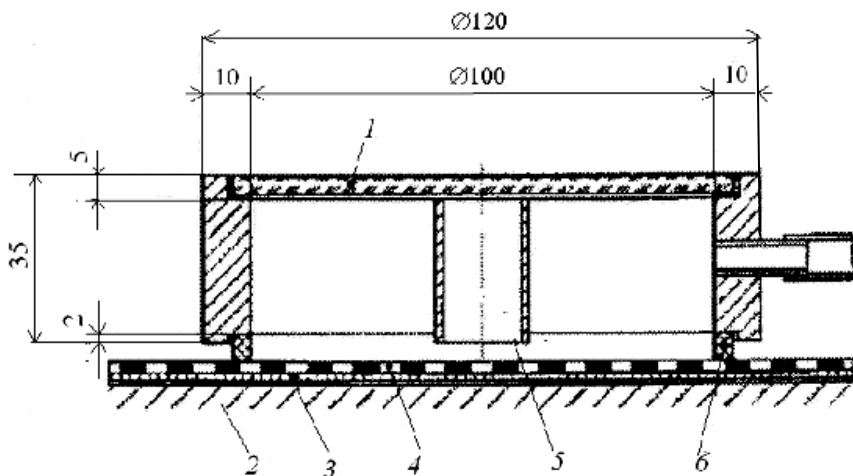
- алюминиевая пластина (метод А) размерами 300×300×3 мм;
- плита из пенополистирола (метод В) с величиной прочности на сжатие при 10%-ной линейной деформации не менее 150 кПа, размерами 300×300×50 мм. Поверхность плиты не должна иметь дефектов.

5. Подставка. Представляет собой бетонную плиту размерами не менее 400×400×50 мм с вмонтированной с верхней стороны стальной опорной пластиной размерами 300×300×10 мм (рис. 3.13). Поверхность пластины должна быть ровной и чистой.

Для определения водонепроницаемости образца после проведения испытаний применяют вакуумную насадку, схема которой приведена на рис. 3.14, или устройство аналогичного типа.

Общий вид экспериментальной установки для определения сопротивления динамическому продавливанию представлен на рис. 3.15.

*Установка рычажного типа для испытания на срез полимерных материалов.* Кратковременные и длительные испытания прочности материала на срез проводили на установке рычажного типа. Схемы установки рычажного типа и приспособления для испытания на срез приведены на рис. 3.16.



**Рис. 3.14. Схема вакуумной насадки:**

- 1 – стеклянная пластина; 2 – подложка; 3 – воздухопроницаемый слой; 4 – образец;  
5 – прозрачная пластмассовая трубка с перфорацией; 6 – прокладка



*a)*



*б)*



*в)*

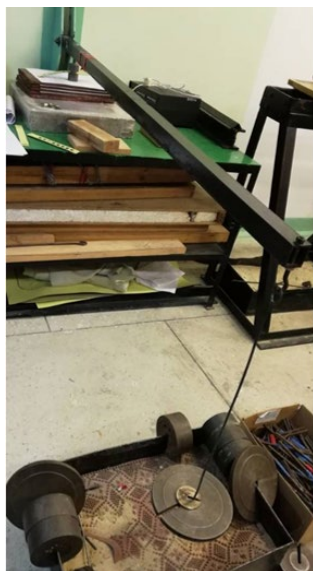


*г)*

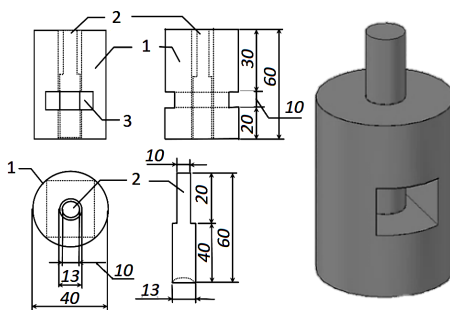


*д)*

**Рис. 3.15. Экспериментальная установка для определения сопротивления динамическому продавливанию:**  
*a* – общий вид; *б* – подложка для метода А (алюминиевая пластина);  
*в* – подложка для метода В (плита из пенополистирола); *г* – боек с индентором;  
*д* – вакуумный насос и камера



а)



б)

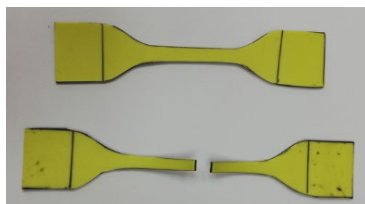


в)

**Рис. 3.16. Установка для испытания образцов на срез:**  
 а – общий вид с рычагом; б – цилиндр для испытания на срез;  
 в – общий вид приспособления с образцом

### 3.2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

*Определение прочности при растяжении (условной прочности и относительного удлинения при разрыве).* Для определения условной прочности и относительного удлинения при разрыве, согласно ГОСТ 31899–2011 (Метод В), испытываемые образцы-лопатки (рис. 3.17) помещали в зажимы разрывной машины так, чтобы продольные оси зажимов и продольная ось образца совпали между собой и с направлением движения подвижного зажима. Испытания проводили при температуре  $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  и постоянной скорости перемещения подвижного зажима  $(500 \pm 50) \text{ мм/мин}$ . В процессе испытания образец растягивали до раз-



**Рис. 3.17. Образцы-лопатки до и после испытания на растяжение**



рушения и регистрировали максимальное значение условной прочности и соответствующее ему относительное удлинение при разрыве.

По результатам испытаний были получены диаграммы «сила–удлинение», представленные в Приложении А.

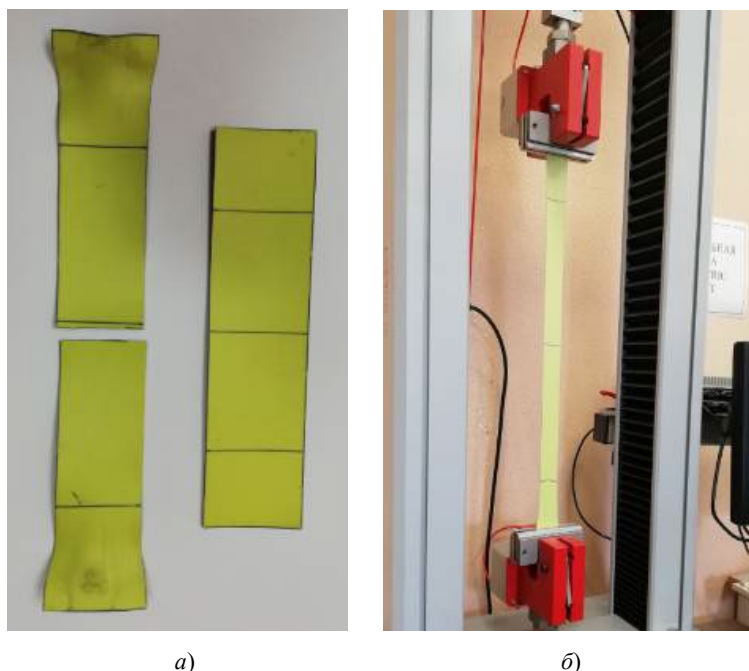
Средние значения контролируемых показателей шести видов исследуемых образцов, а также их сопоставление со значениями, отраженными в ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016, приведены в табл. 3.6.

По полученным результатам установлено, что после воздействия нагрузки и контакта с ремонтным составом наблюдается незначительное снижение прочности при растяжении (5...10%), однако эти значения полностью соответствуют требованиям нормативной документации ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016. Таким образом, воздействие нагрузки и ремонтного состава (геля-акрилата) не влияет на прочностные и деформационные характеристики мембраны.

*Определение удлинения при максимальной нагрузке (максимальной силы растяжения и относительного удлинения при максимальной силе растяжения).* Для определения максимальной силы растяжения и относительного удлинения при максимальной силе растяжения, согласно ГОСТ 31899–2011 (Метод А), образцы-полоски растягивали до разрушения с помощью разрывной машины при постоянной скорости ( $100 \pm 10$ ) мм/мин. По результатам испытаний были получены диаграммы «сила – удлинение», представленные в Приложении А.

### **3.6. Значения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве, согласно ГОСТ 31899–2011 (Метод В), образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo**

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Без воздействий	1,5	1	20,2	491
	2,0	2	19,3	504
Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3	18,9	543
	2,0	4	19,1	548
Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	5	18,2	508
	2,0	6	17,9	520
Значение показателя согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016			Не менее 15	–



**Рис. 3.18. Испытание образцов-полоски на растяжение:**  
*а* – образцы-полоски до и после растяжения; *б* – общий вид

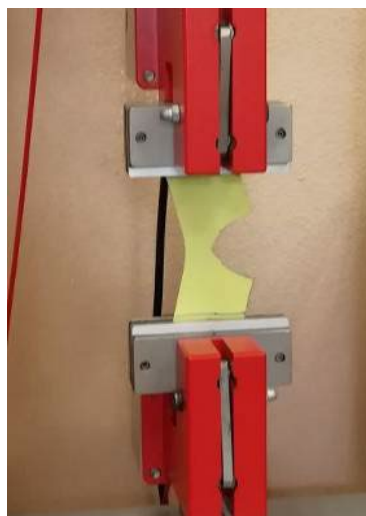
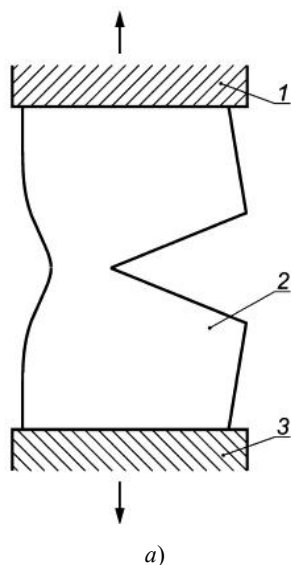
На основании результатов испытания образцов для каждого вида вычисляли среднеарифметическое значение и среднеквадратическое отклонение максимальной силы растяжения в Н/(50 мм) и относительного удлинения при максимальной силе растяжения в процентах (Метод А). Средние значения контролируемых показателей шести видов исследуемых образцов, а также их сопоставление со значениями, отраженными в ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016, приведены в табл. 3.7.

По полученным результатам установлено, что после воздействия нагрузки и контакта с ремонтным составом изменения деформационно-прочностных характеристик незначительны и находятся в рамках статистической погрешности. Все показатели полностью соответствуют требованиям нормативной документации ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016. Таким образом, воздействие нагрузки и ремонтного состава (геля-акрилата) не влияет на прочностные и деформационные характеристики мембраны.

*Сопротивление разрыву.* Для оценки сопротивления разрыву согласно ГОСТ Р 56583-2015 (EN 12310-2:2000), образец-трапецию надежно закрепляли в зажимах машины для испытания на растяжение так, чтобы маркировки зажатия проходили точно по переднему краю зажимов (рис. 3.19).

**3.7. Значения максимальной силы растяжения  
и относительного удлинения, согласно ГОСТ 31899-2011 (Метод А),  
образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo**

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Максимальная сила растяжения, Н/50 мм	Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %
Без воздействий	1,5	1	1247	373
	2,0	2	1737	426
Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3	1165	390
	2,0	4	1627	442
Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	5	1220	393
	2,0	6	1592	409
Значение показателя согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016			–	Не менее 300



**Рис. 3.19. Испытание на сопротивление разрыву:**  
а – схема (1, 3 – зажимы; 2 – образец с надрезом); б – общий вид

**3.8. Значения максимального растягивающего усилия,  
согласно ГОСТ Р 56583-2015 (EN 12310-2:2000),  
образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo**

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Максимальное растягивающее усилие, Н
Без воздействий	1,5	1	164
	2,0	2	247
Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3	150
	2,0	4	210
Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	5	162
	2,0	6	226
Значение показателя согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016			Не менее 150

Испытание образцов проводили при температуре  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  с постоянной скоростью передвижения зажимов  $(100 \pm 10)$  мм/мин. Для каждого образца записывали максимальное растягивающее усилие в ньютонах. Результаты испытаний представлены в табл. 3.8 и Приложении А.

По полученным результатам установлено, что после воздействия нагрузки и контакта с ремонтным составом для образцов толщиной 1,5 мм изменение величины максимального растягивающего усилия незначительно и находится в рамках статистической погрешности эксперимента. Для образцов толщиной 2,0 мм наблюдается снижение прочностных характеристик на 15% после воздействия на них внешнего давления 306 т/м<sup>2</sup>. Тем не менее, все показатели полностью удовлетворяют требованиям нормативной документации ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016.

*Прочность сварного шва на раздир.* Для определения сопротивления раздиру сварного соединения, согласно ГОСТ Р 56584-2015 (EN12316-2:2013), испытуемый образец помещали в зажимы разрывной машины так, чтобы продольные оси зажимов и продольные оси свободных концов образца совпали между собой и с направлением движения подвижного зажима (рис. 3.20).

Испытания проводили при температуре  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  и постоянной скорости перемещения подвижного зажима  $(100 \pm 10)$  мм/мин.



### 3.9. Значения максимального растягивающего усилия по результатам испытания сварного шва

Максимальная сила растяжения, Н/(50 мм)		Характер разрушения
Значение по результатам испытания	Значение показателя согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016	Когезионный разрыв
438	Не менее 300	

*Прочность сварного шва на разрыв.* Для определения прочности на сдвиг сварного соединения (прочности сварного шва на разрыв), согласно ГОСТ Р 56911-2016/EN 12317-2:2010, образец помещали в зажимы разрывной машины так, чтобы продольные оси зажимов и продольные оси свободных концов образца совпадали между собой и с направлением движения подвижного зажима. Испытания проводили при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  и постоянной скорости перемещения подвижного зажима  $(100 \pm 10)$  мм/мин.

В ходе испытания регистрировали максимальную силу растяжения и характер разрушения образцов, который определяется по схеме ГОСТ Р 56911-2016/EN12317-2:2010 (рис. 3.22).

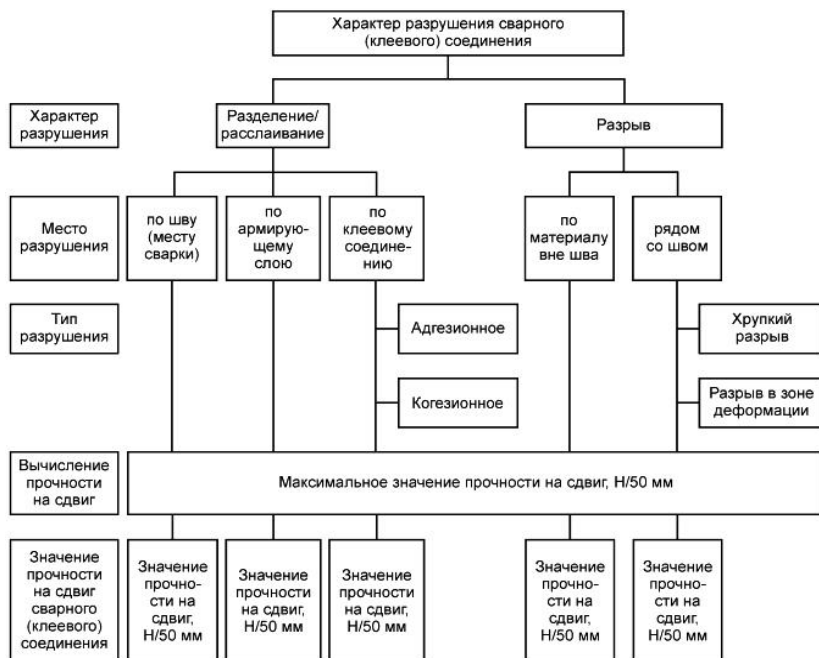
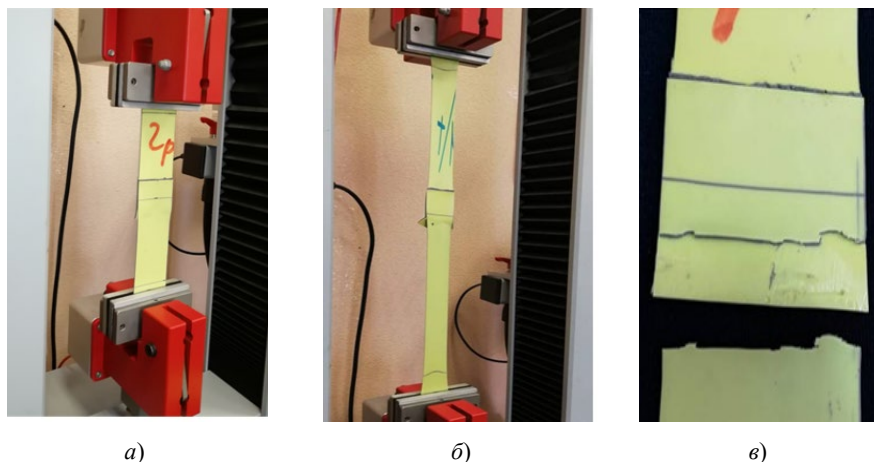


Рис. 3.22. Характер разрушения сварного соединения



**Рис. 3.23. Испытание сварного шва на разрыв:**

*a* – установка образца; *б* – растяжение образца и образование дефекта рядом со швом в зоне деформирования материала; *в* – образец после разрушения

Процесс проведения испытания и характер разрушения образцов сварного соединения на разрыв представлен на рис. 3.23.

Результаты испытания сварных швов представлены в табл. 3.10.

По результатам испытаний видно, что значение максимальной силы растяжения соответствует требованиям ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016. Как видно из рис. 3.23, *б* и *в* – разрушение происходит рядом со швом в зоне деформации материала.

*Морозостойкость.* Для оценки морозостойкости (гибкости на брусе радиусом 5 мм), согласно ГОСТ 2678 п. 3.9, образцы материала (до и после внешних воздействий и контакта с ремонтным составом) и испытательный брусок (рис. 3.11) помещали в морозильную камеру и выдерживали при температуре  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $(20,0 \pm 0,5)$  мин.

### **3.10. Значения максимального растягивающего усилия по результатам испытания сварного шва на разрыв**

Максимальная сила растяжения, Н/(50мм)		Характер разрушения
Значение по результатам испытания	Значение показателя, согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016	Разрыв рядом со швом в зоне деформации
1032	не менее 600	

По истечении заданного времени образцы и испытательный брус извлекали из морозильной камеры и прикладывали к ровной поверхности бруса нижней стороной таким образом, чтобы к нему прилегло около 0,25 длины образца. Свободный конец образца изгибали в течение  $(5 \pm 1)$  с вокруг закругленной части бруса до достижения другой ровной поверхности (образец принимал U-образную форму) (рис. 3.24). Затем производили контроль внешнего вида образцов.



**Рис. 3.24. Испытание на гибкость на бруссе радиусом 5 мм**

Время с момента извлечения образцов из морозильной камеры и до конца испытания не превышало 15 с.

Результаты испытаний представлены в табл. 3.11.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что внешнее давление  $146 \text{ т/м}^2$  и ремонтный состав (гель-акрилат) не оказывают влияния на морозостойкость ПВХ-мембран, поскольку на лицевой стороне не было обнаружено трещин и других дефектов.

### **3.11. Результаты испытания на морозостойкость (гибкость на бруссе) образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Гео согласно ГОСТ 2678–94**

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Величина температуры замораживания согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016, °С	Наличие трещин после замораживания при заданной температуре
Без воздействий	1,5	1	-45	Не обнаружено
	2,0	2		Не обнаружено
Внешнее давление $146 \text{ т/м}^2$ (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3		Не обнаружено
	2,0	4		Не обнаружено
Внешнее давление $306 \text{ т/м}^2$ (3 МПа)	1,5	5		Не обнаружено
	2,0	6		Не обнаружено



Морозостойкость образцов ПВХ-мембраны, подверженной внешнему давлению  $306 \text{ т/м}^2$ , также соответствует требованиям ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016.

*Гибкость при пониженных температурах.* Для определения гибкости при пониженных температурах (полной складываемости при отрицательной температуре), согласно ГОСТ EN 495-5, подготовленный образец устанавливали в фальцовочный аппарат так, чтобы скрепленные концы были параллельны шарниру фальцовочной плиты (рис. 3.25). Затем помещали открытый фальцовочный аппарат с образцом в холодильную камеру с температурой минус  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Величина температуры принята согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016.

После выдержки фальцовочного аппарата с образцом в холодильной камере в течение 1 ч аппарат закрывали в течение 1 с путем перемещения фальцовочной плиты на  $90^\circ$  из вертикального положения в горизонтальное и выдерживали в этом положении в течение 1 с. Процедуру фальцовки осуществляли в холодильной камере.

После этого образец извлекали из фальцовочного аппарата и выдерживали до достижения комнатной температуры ( $23 \pm 5$ )  $^\circ\text{C}$ .

Затем образец осматривали в области сгиба с помощью лупы с шестикратным увеличением для выявления наличия или отсутствия трещин, или разрывов. Результаты испытаний представлены в табл. 3.12.



Рис. 3.25. Фальцовочный аппарат с образцом

**3.12. Результаты испытания образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo  
на гибкость при пониженной температуре  
(полная складываемость при отрицательной температуре)  
согласно ГОСТ EN 495-5**

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Величина температуры гибкости согласно ТУ 23.99.12.110-012- 54349294-2016, °С	Наличие трещин и дефектов
Без воздействий	1,5	1	-35	Не обнаружено
	2,0	2		Не обнаружено
Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3		Не обнаружено
	2,0	4		Не обнаружено
Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	5		Не обнаружено
	2,0	6		Не обнаружено

По результатам испытаний можно сделать вывод, что внешнее давление 146 т/м<sup>2</sup> (либо 306 т/м<sup>2</sup>) и ремонтный состав (гель-акрилат) не оказывают влияния на гибкость ПВХ-мембран при пониженной температуре.

*Сопротивление динамическому продавливанию.* Для определения сопротивления динамическому продавливанию (ударной прочности), согласно ГОСТ 31897, образцы ПВХ-мембран до и после воздействий укладывали на подложку лицевой стороной вверх и прижимали балластным кольцом.

Боек устанавливали на высоту, которая назначалась согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016, и отпускали с помощью спускового механизма, при этом он свободно падал вертикально вниз и ударялся индентором по центру образца, находившемуся посередине балластного кольца.

В соответствии с ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016 для испытаний были выбраны следующие значения высот: для образцов толщиной 1,5 мм по твердому основанию (по мягкому основанию) – 700 (1000) мм; для образцов толщиной 2,0 мм по твердому основанию (по мягкому основанию) – 1500 (2000) мм.

Для каждого значения высоты падения использовали новый образец.

Не допускается ударять в одно и то же место подложки более одного раза, для чего перед каждым испытанием сдвигали алюминиевую пластину на расстояние 25 мм (метод А) или пенополистирольную плиту на расстояние 50 мм (метод В).

На рисунке 3.26 представлены образцы после нанесения ударов бойком по твердому (алюминиевая пластина) и мягкому (пенополистирол) основанию.

Видно, что при ударе по лицевой поверхности мембраны, расположенной на твердом основании, дефект появился сразу с двух сторон. При испытании по мягкому основанию дефектов не наблюдалось.

Через 5 мин после испытания каждый образец подвергали испытанию на водонепроницаемость путем проверки их воздухонепроницаемости.

Для этого на лицевую поверхность образца прикладывали вакуумную насадку и создавали насосом вакуум с давлением 20 кПа. Если в течение 60 с на вакуумметре не наблюдалось падение давления, то образец считали выдержавшим испытание на воздухонепроницаемость и водонепроницаемость.

Стоит отметить, что, несмотря на наличие видимого повреждения мембран (рис. 3.26, *а* и *б*), падение вакуумного давления в таких образцах не наблюдалось.

Результаты испытаний представлены в табл. 3.13.



*а)*



*б)*



*в)*

**Рис. 3.26. Образцы ПВХ-мембран после удара бойком:**

*а* – по лицевой стороне по твердому основанию; *б* – отпечаток на оборотной стороне после удара по лицевой; *в* – по лицевой стороне по мягкому основанию

**3.13. Результаты испытания образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo  
на сопротивление динамическому продавливанию  
(ударную прочность) согласно ГОСТ 31897–2011**

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Высота падения бойка согласно ТУ 23.99.12.110-012- 54349294-2016, °С		Падение вакуумного давления 20 кПа в течение 60 с
			твердое основание	мягкое основание	
Без воздействий	1,5	1	700	1000	Не обнаружено
	2,0	2	1500	2000	Не обнаружено
Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3	700	1000	Не обнаружено
	2,0	4	1500	2000	Не обнаружено
Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	5	700	1000	Не обнаружено
	2,0	6	1500	2000	Не обнаружено

По результатам испытаний можно сделать вывод, что внешнее давление 146 т/м<sup>2</sup> и ремонтный состав (гель-акрилат) не оказывают влияния на ударную прочность ПВХ-мембран, так же, как и внешнее давление, 306 т/м<sup>2</sup>.

*Водопоглощение.* Для определения величины водопоглощения, согласно ГОСТ 2678–94 п. 3.10, образцы взвешивали ( $m_1$ ) на лабораторных весах, а затем погружали на  $(60 \pm 5)$  с в сосуд с водой, после чего извлекали из воды, вытирали хлопчатобумажной тканью или фильтровальной бумагой в течение 30...60 с и взвешивали ( $m_2$ ). Затем образцы снова помещали в воду таким образом, чтобы слой воды над ними был не менее 50 мм и выдерживали в течение 24 ч. После этого образцы извлекали из воды, осушали и снова взвешивали ( $m_3$ ). Время с момента извлечения образца из воды до взвешивания не превышало 60 с.

Водопоглощение ( $W$ ) в процентах по массе вычисляли по формуле:

$$W = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, г;  $m_2$  – масса образца после односторонней выдержки в воде, г;  $m_3$  – масса образца после 24-часовой выдержки в воде, г.

Результат округляют до 0,1%.

Результаты исследования водопоглощения образцов ПВХ-мембран представлены в табл. 3.14.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что величина водопоглощения образцов удовлетворяет требованиям ТУ 23.99.12.110-012-54349294–2016.

*Кратковременная прочность при срезе.* Известно, что наиболее опасным видом напряженного состояния, приводящим к разрушению мембран и гидроизоляционных систем, является срез, который возникает в результате кратковременного или длительного точечного действия на мембраны стержней арматурных каркасов, установленных в процессе монтажа несущих конструкций [27].

### 3.14. Результаты испытания образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo на водопоглощение согласно ГОСТ 2678–94

Тип воздействия	Толщина, мм	№ материала	Водопоглощение по массе в % согласно ТУ 23.99.12.110-012-54349294–2016	Водопоглощение по массе в % согласно испытаниям
Без воздействий	1,5	1	Не более 0,1	0,01
	2,0	2		0,01
Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	3		0,01
	2,0	4		0,01
Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	5		0,01
	2,0	6		0,01

Для оценки прочности при срезе исследуемых мембран и изготовленных из них карт проводились испытания образцов различной конфигурации (виды образцов рассмотрены в п. 3.1.1) на установке рычажного типа, схема которой представлена в п. 3.1.2. Значения разрушающих напряжений рассчитывались по формуле [27]:

$$\sigma = \frac{P}{\pi dh}, \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

где  $P$  – нагрузка, приложенная к образцу;  $d$  – диаметр режущего пуансона;  $h$  – толщина образца.

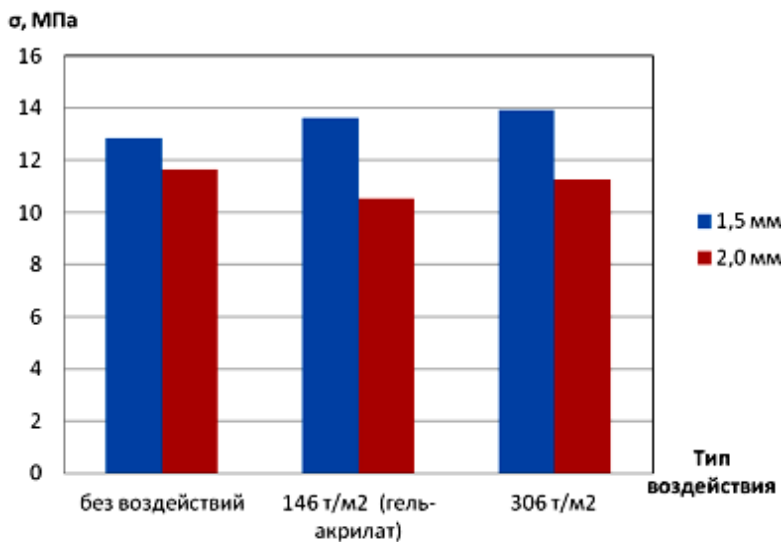
Результаты испытания представлены в табл. 3.15.

Характер изменения прочности при срезе в зависимости от вида образцов и типа воздействия на материал представлены на рис. 3.27.

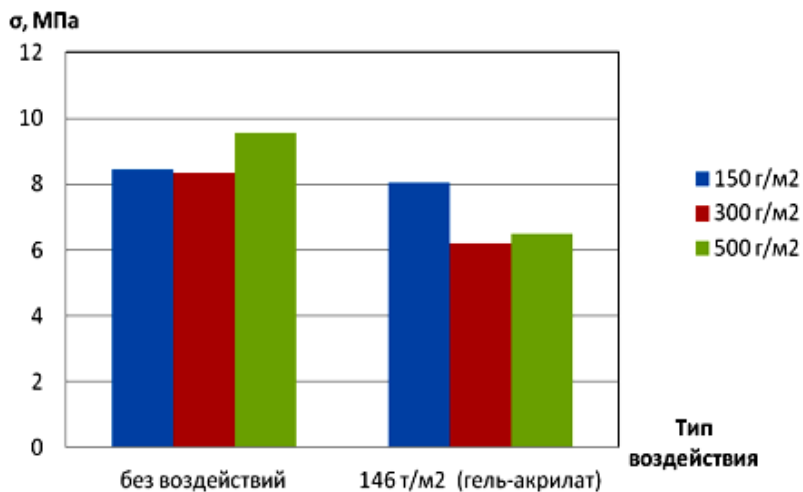
Из рисунка 3.27, *a* видно, что для образцов ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo изменения показателя прочности при срезе после воздействия на материал различной нагрузки и контакта с ремонтным составом незначительны.

### 3.15. Значения разрушающих напряжений образцов при кратковременных испытаниях на срез

№ материала	Тип воздействия, описание образцов	Толщина, мм	Прочность при срезе, МПа	
1	Без воздействий	1,5	12,85	
2		2,0	11,66	
3	Внешнее давление 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом	1,5	13,64	
4		2,0	10,51	
5	Внешнее давление 306 т/м <sup>2</sup> (3 МПа)	1,5	13,94	
6		2,0	11,27	
7	3-слойный без воздействий, при плотности геотекстиля (г/м <sup>2</sup> )	150	3,8	8,46
8		300	5,1	8,35
9		500	4,7	9,57
10	3-слойный, 146 т/м <sup>2</sup> (1,432 МПа) контакт с ремонт. составом, при плотности геотекстиля (г/м <sup>2</sup> )	150	3,8	8,05
11		300	5,1	6,20
12		500	4,7	6,51



а)



б)

**Рис. 3.27. Зависимость кратковременной прочности на срез от типа воздействия для образцов [27]:**

*а* – ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo толщиной 1,5 и 2 мм;

*б* – трехслойных гидроизоляционных карт с различной плотностью геотекстиля (150, 300 и 500 г/м<sup>2</sup>)

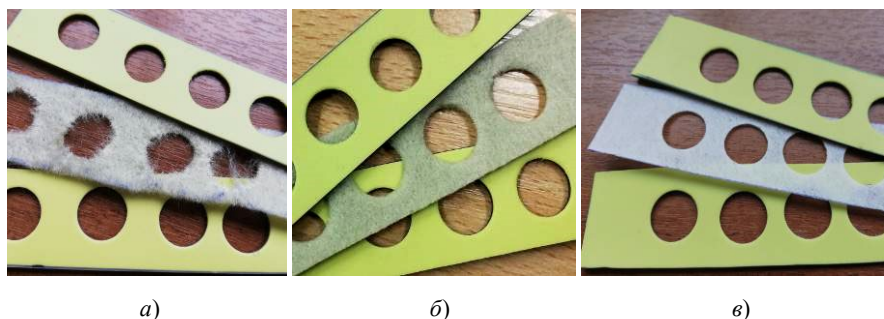
Наблюдаемый для мембраны толщиной 1,5 мм рост среднего значения прочности при срезе на 7%, возможно, связан с ориентационными явлениями в структуре полимера, приводящими к его уплотнению под влиянием большого давления смятия (более 300 т/м<sup>2</sup>) [27].

Ремонтный состав (гель-акрилат) на прочностные свойства мембраны не влияет, поскольку данный гидроизоляционный материал обладает высокой химической стойкостью [27].

На рисунке 3.27, б показано изменение прочности при срезе трехслойных образцов с различной толщиной и плотностью геотекстиля. Значительное снижение прочности при срезе трехслойных образцов по сравнению с однослойными объясняется тем, что сила, прикладываемая к образцу, делится на всю толщину конструкции, тогда как фактически прочность образца определяется прочностью на срез геотекстиля. Не стоит забывать и об изменении механизма разрушения и увеличении его вязкости [27].

Ремонтный состав (гель-акрилат) снижает способность геотекстиля сопротивляться срезу, так как полимер пропитывает волокна, делая материал более плотным и жестким, изменяя механизм его разрушения на хрупкий. Наиболее сильно прочность снижается у образцов с плотностью геотекстиля 300 и 500 г/м<sup>2</sup> – более 20%. Тогда как для образцов с плотностью геотекстиля 150 г/м<sup>2</sup> значение прочности практически не меняется (менее 5%) [27].

На рисунке 3.28 представлены фотографии трехслойных образцов после испытаний на срез при различной толщине геотекстиля: 500 г/м<sup>2</sup> без воздействий и после контакта с ремонтным составом; 150 г/м<sup>2</sup> без воздействий (при этом внешний вид образца после контакта с ремонтным составом не изменился) [27].



**Рис. 3.28. Образцы гидроизоляционных карт после испытаний на срез при различной толщине геотекстиля:**

*а* – 500 г/м<sup>2</sup> без воздействий; *б* – 500 г/м<sup>2</sup> после контакта с ремонтным составом;  
*в* – 150 г/м<sup>2</sup> без воздействий



Таким образом, судя по величине прочности при срезе, в конструкциях гидроизоляционных карт в качестве внутреннего дренажного слоя целесообразно применение геотекстиля с плотностью  $150 \text{ г/м}^2$  [27].

*Длительная прочность при срезе и оценка долговечности гидроизоляционной системы.* Оценку долговечности выполняли с позиции термофлуктуационной теории прочности твердых тел. Для этого при фиксированных параметрах механических напряжений  $[\sigma, \text{МПа}]$  и комнатной температуре испытывали по 6 образцов в одинаковых условиях и определяли время до разрушения  $[\text{lg}t, \text{с}]$  [27].

Для каждого вида образцов были построены графики зависимости времени до разрушения от напряжения в координатах  $\text{lg}t - \sigma$ . Полученные зависимости представлены на рис. 3.29.

Длительные испытания трехслойных образцов на срез проводились только для конструкции гидроизоляционной карты с геотекстилем плотностью  $150 \text{ г/м}^2$ , поскольку образцы с геотекстилем плотностью  $300$  и  $500 \text{ г/м}^2$  не прорезались пуансоном под нагрузкой, меньшей разрушающей. В этих образцах геотекстиль застревал в приспособлении для испытания [27].

Из рисунка 3.29, *a, б* видно, что для ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo наблюдается небольшое снижение длительной прочности после воздействия на материал внешней нагрузки и контакта с ремонтным составом. Изменение угла наклона прямых в обоих случаях после внешних воздействий свидетельствует о структурных изменениях в материале в результате уплотнения полимера. При этом ПВХ-мембрана полностью сохраняет свои эксплуатационные свойства [27].

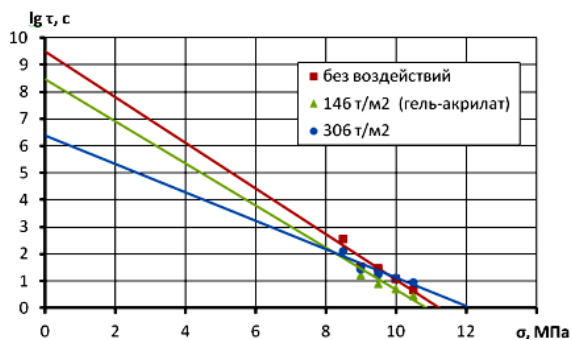
Из рисунка 3.29, *в* видно, что происходит более существенное снижение длительной прочности трехслойного образца с прослойкой из геотекстиля плотностью  $150 \text{ г/м}^2$  после воздействия на него давления  $146 \text{ т/м}^2$  и контакта с ремонтным составом. В данном случае также наблюдается резкое изменение угла наклона прямой, что обусловлено изменением характера разрушения внутреннего дренажного слоя (геотекстиля) в результате его отверждения из-за полимеризации ремонтного состава [27].

Универсальный характер временной зависимости прочности описывается формулами (3.3) [27]:

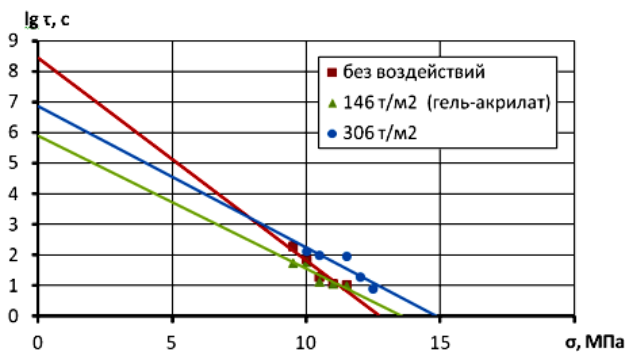
$$\sigma = \beta \text{lg}(\alpha / \tau); \quad \tau = A e^{-\beta \sigma}, \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные коэффициенты, определяющие зависимость долговечности ( $\tau$ ) от напряжения ( $\sigma$ ) при постоянной температуре испытания.

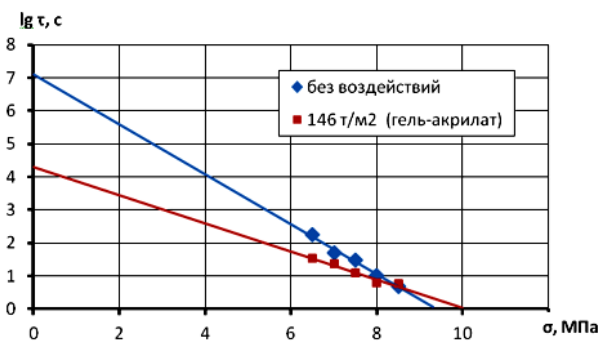
Полученные данные позволяют сделать лишь предварительную оценку долговечности ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo при их работе на срез без влияния внешних воздействий и после воздействия нагрузки  $146 \text{ т/м}^2$  и ремонтного состава, а также гидроизоляционной системы из ПВХ-мембран с дренажным слоем из геотекстиля плотностью  $150 \text{ г/м}^2$  (табл. 3.16) [27].



a)



б)



в)

**Рис. 3.29. Зависимость времени до разрушения образцов от напряжения при срезе [27]:**

*a* – ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo толщиной 1,5 мм;

*б* – ПВХ-мембраны PLASTFOIL® Geo толщиной 2 мм;

*в* – трехслойных гидроизоляционных карт с плотностью геотекстиля 150 г/м<sup>2</sup>

### 3.16. Расчетная долговечность ПВХ-мембраны и гидроизоляционной системы

№	Наименование образцов	Вид воздействия		
		без воздействий	146 т/м <sup>2</sup> гель-акрилат	306 т/м <sup>2</sup>
		τ, лет	τ, лет	τ, лет
1	Мембрана PLASTFOIL® Geo 1.5	Не менее 70	Не менее 50	Не менее 40
2	Мембрана PLASTFOIL® Geo 2.0	Не менее 70	Не менее 50	Не менее 40
3	Гидроизоляционная система из двух мембран и прослойки из геотекстиля плотностью 150 г/м <sup>2</sup>	Не менее 70	Не менее 50	–

Представленные в табл. 3.16 результаты являются приближенными. Для получения наиболее точных результатов прогнозирования долговечности необходимо провести ряд дополнительных испытаний при фиксированных повышенных температурах, что позволит определить величину физических констант. Только по величине констант возможно качественно оценить влияние нагрузки и ремонтного состава на структурные изменения полимера и механизм разрушения мембраны, а, следовательно, и на их долговечность.

### 3.3. ВЫВОДЫ

В ходе второго этапа научно-исследовательской работы проводилась оценка величины физико-механических показателей ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo после воздействия на них внешнего давления 146 т/м<sup>2</sup> (1,432 МПа) и контакта с ремонтным составом (гель-акрилат), а также после воздействия на них внешнего давления 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа).

Результаты проведенных физико-механических испытаний подтвердили высокую стойкость исследуемых ПВХ-мембран к механическим и химическим воздействиям. Изменение механических и деформационных свойств мембран после воздействия на них внешнего давления и ремонтного состава в большинстве случаев незначительно (до 10%) и не превышает величины статистической погрешности испытаний. При этом все показатели полностью удовлетворяют требованиям ТУ 23.99.12.110-012-54349294–2016.

Стоит отметить, что при оценке сопротивления разрыву мембран толщиной 2,0 мм после воздействия на них внешнего давления 306 т/м<sup>2</sup> наблюдается снижение прочностных характеристик на 15%. Тем не менее, показатель превышает на 50% значение, указанное в нормативной документации ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016.

Стойкость ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo к внешнему давлению и ремонтному составу также подтверждается результатами испытаний на кратковременный срез, согласно которым прочность при срезе мембран толщиной 2,0 мм незначительно снижается (до 10%), а в случае мембран толщиной 1,5 мм даже увеличивается на 7%.

Было исследовано влияние внешней нагрузки 146 т/м<sup>2</sup> (1,432 МПа) и ремонтного состава (гель-акрилат) на прочность при срезе трехслойных образцов с геотекстилем разной плотности. В результате установлено, что наибольшей стойкостью к срезу обладают образцы с геотекстилем меньшей плотности 150 г/м<sup>2</sup>.

В рамках исследования среза ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo сделана попытка оценить их долговечность и влияние на нее внешнего давления 146 т/м<sup>2</sup>, ремонтного состава (гель-акрилат) и внешнего давления 306 т/м<sup>2</sup>. Аналогично оценивалась долговечность трехслойных образцов с геотекстилем 150 г/м<sup>2</sup>.

Полученные в результате проведения длительных механических испытаний зависимости времени до разрушения от напряжения подтверждают гипотезу об изменении структуры полимера под действием внешней нагрузки, поскольку наблюдается изменение угла наклона прямых.

Рассчитанная долговечность ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo при работе на срез с учетом внешних механических и химических (ремонтный состав) воздействий составляет не менее 50 лет, однако требуется уточнение этого значения проведением дополнительных испытаний с учетом изменения механизма разрушения мембран.

## 4. ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ С МЕХАНИЧЕСКИ ЗАКРЕПЛЕННОЙ ПВХ-МЕМБРАНОЙ

---

---

Крепление современных ПВХ-мембран к железобетонным плитам покрытия осуществляется посредством механических связей, устанавливаемых в плиту специальным оборудованием. Таким образом изменяются расчетные сечения плиты (ослабляется сжатая зона бетона), что может сказаться на ее несущей способности. Перед авторами была поставлена задача оценить изменение несущей способности эксплуатируемой железобетонной ребристой плиты покрытия после размещения в ней механических креплений для тепло- и гидроизоляции с глубиной заделки креплений 25 мм и насквозь [28].

### 4.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

#### 4.1.1. Рабочие чертежи ребристой плиты покрытия

Объектом исследования выступает железобетонная ребристая плита покрытия по ГОСТ 21506–2013 «Плиты перекрытий железобетонные ребристые высотой 300 мм для зданий и сооружений. Технические условия» [28, 29].

Общий вид исследуемых ребристых плит представлен на рис. 4.1.

Поскольку требуется оценить несущую способность эксплуатируемых плит покрытия старых зданий, то нормативным документом для таких плит является Серия 1.042.1-5.94 «Сборные железобетонные ребристые плиты высотой 300 мм для перекрытий многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий», состоящая из Выпуска 1 и Выпуска 2 и разработанная ЦНИИпромзданий [28, 30, 31].

Согласно п. 2.1 Выпуска 1 плиты предназначены для использования в перекрытиях и покрытиях.

Выпуск 1 содержит рабочие чертежи плит длиной 5650 мм и шириной 2985, 1485, 935 мм.

Выпуск 2 содержит рабочие чертежи арматурных и закладных изделий.

Согласно Выпуску 1, п. 1.4, в качестве напрягаемой арматуры в плитах принимается арматура из классов стали Ат-V, Ат-IVC, Ат-IV, А-IV и А-III. Допускается применять арматурную сталь класса А-V вместо стали класса Ат-V без изменения диаметра и количества стержней.

Значения равномерно распределенных нагрузок, класса бетона, величины предварительного напряжения в арматуре, указанные в п. 1.8 Выпуска 1, приведены в табл. 4.1.

За объект исследования выбрана плита марки П2-1АтV, поскольку для нее применяется минимальный диаметр напрягаемой арматуры. Таким образом, расчет ведется в запас прочности.

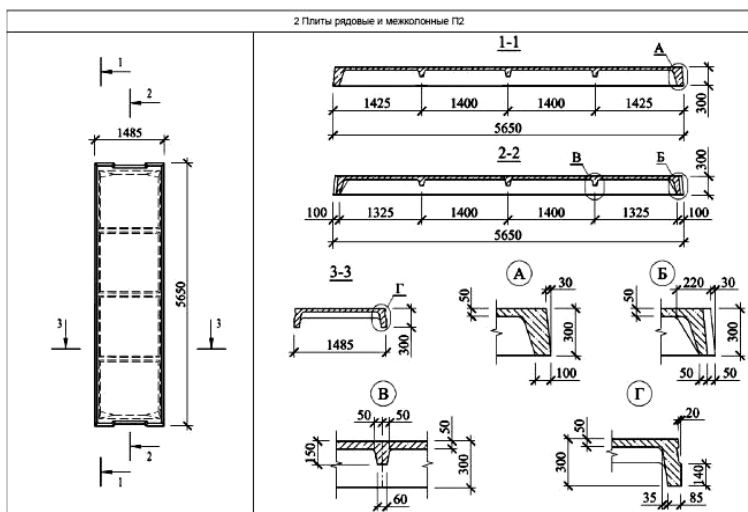


Рис. 4.1. Общий вид ребристой плиты по ГОСТ 21506–2013 [28]

#### 4.1. Марки плиты, класс бетона и напрягаемой арматуры, значения равномерно распределенной нагрузки на плиту [30]

Класс напрягаемой арматуры	Марка плиты	Класс бетона	Диаметр напрягаемой арматуры в продольном ребре, мм	Равномерно распределенная нагрузка при коэффициенте надежности по нагрузке, кПа		Предварительные напряжения $\sigma_{sp}$ перед бетонированием, МПа
				$\gamma_f = 1$	$\gamma_f > 1$	
АТ-V	П2-1 АтV	22,5	1Ø12	4,9	5,88	540

Согласно п. 3.2 Выпуска 1, плиты рассчитываются как шарнирно-опертые балки таврового сечения, третьей категории трещиностойкости. Расчетная схема полки плиты принята в виде плиты, опертой по контуру.

Согласно п. 3.3 Выпуска 1, равномерно распределенная нагрузка от собственного веса плит (с учетом заливки швов) принимается следующей:

– для плит из тяжелого бетона шириной 1,5 м – 2,4 кПа ( $\gamma_f = 1$ ), либо 2,7 кПа ( $\gamma_f > 1$ ).

Согласно п. 6.3 Выпуска 1, натяжение арматуры осуществляется электротермическим, либо механическим способами. В расчетах принимаем электротермический способ.

Согласно п. 6.6 Выпуска 1, передаточная прочность бетона  $R_{bp}$  принимается не менее 70% от проектного класса бетона.

Далее представлены рабочие чертежи плит размером 5650×1485 мм. (рис. 4.2 – 4.5) и спецификация арматурных изделий (рис. 4.6).

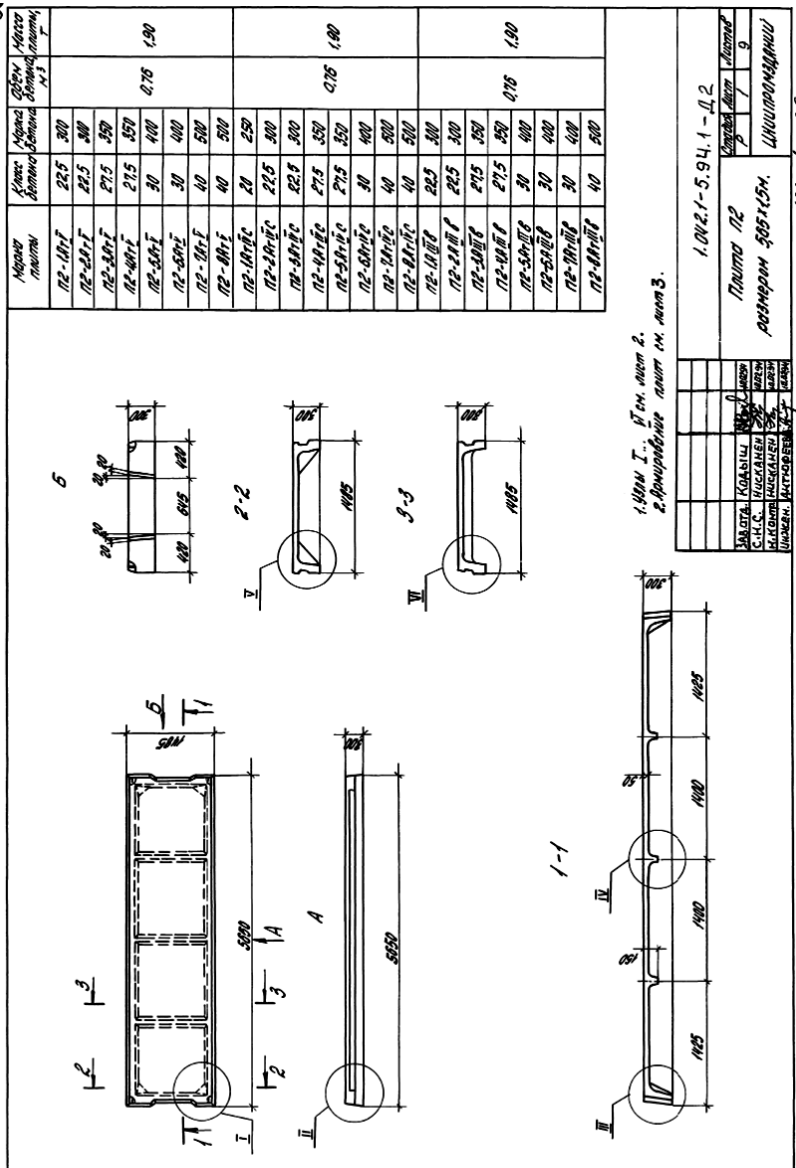


Рис. 4.2. Плита П2. Рабочие чертежи [30]

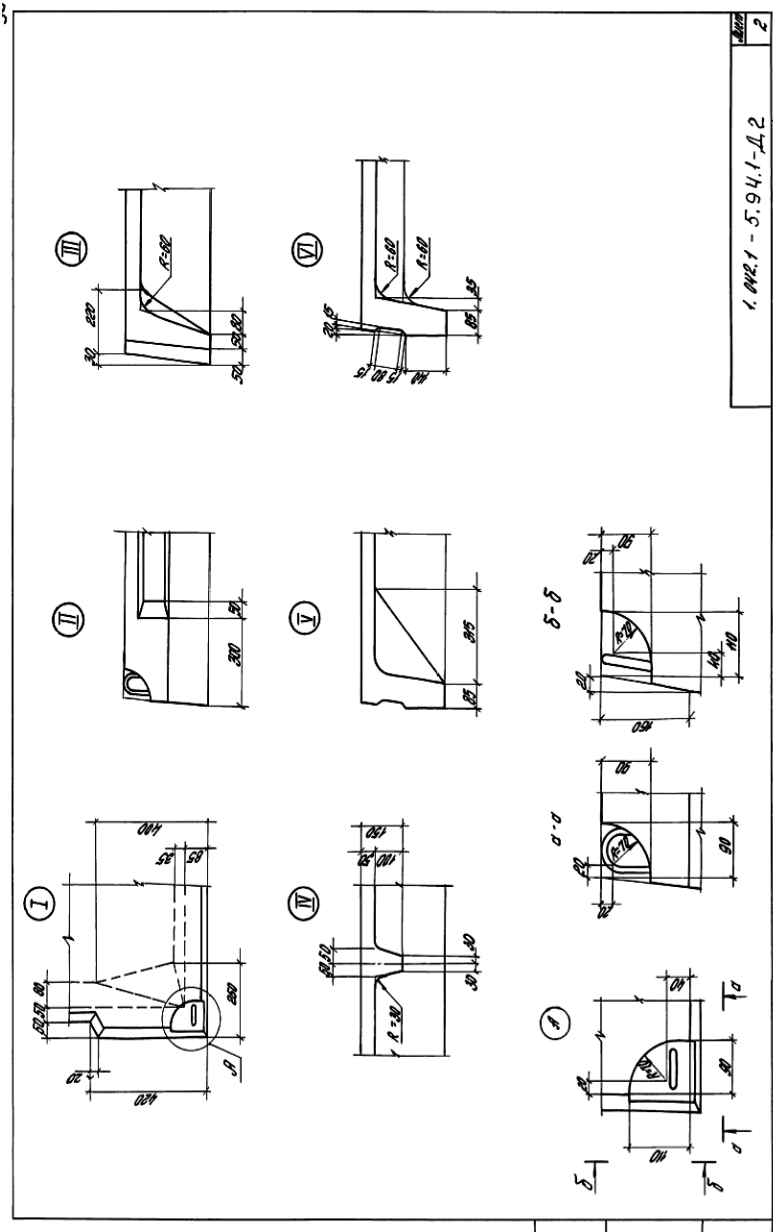


Рис. 4.3. Плита П2. Рабочие чертежи [30]



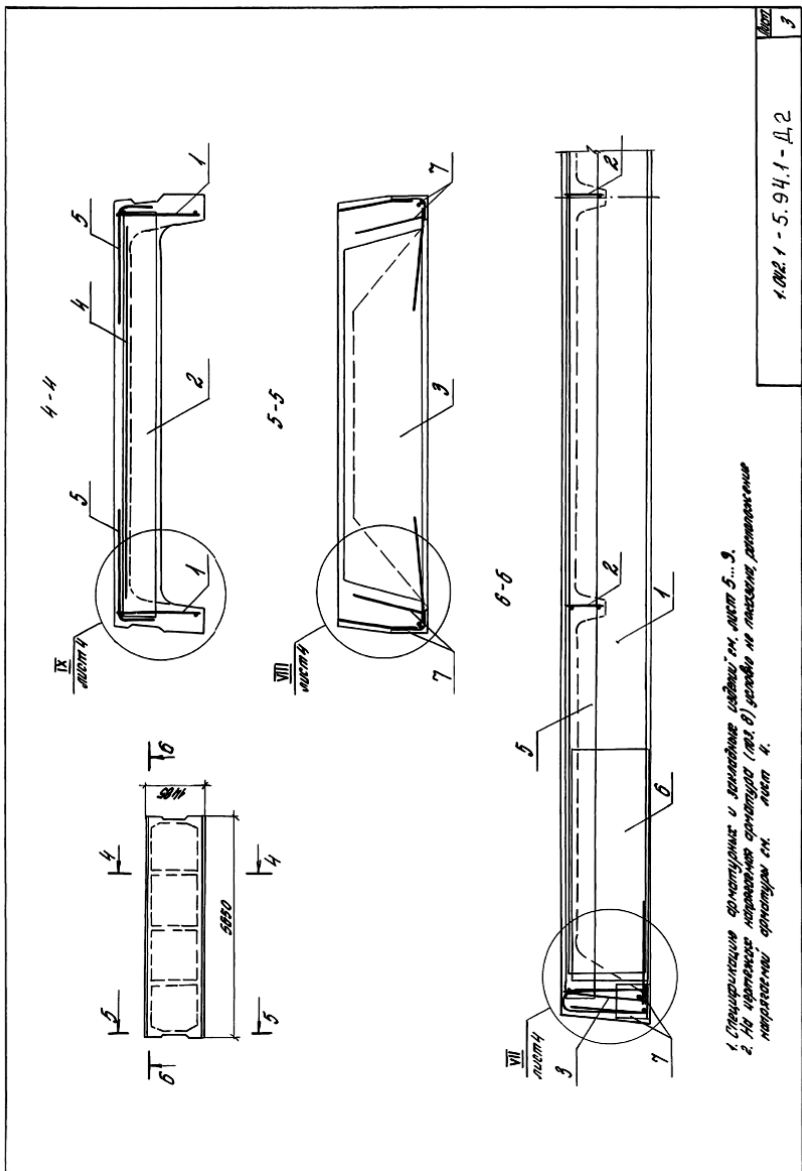


Рис. 4.4. Плита П2. Рабочие чертежи [30]

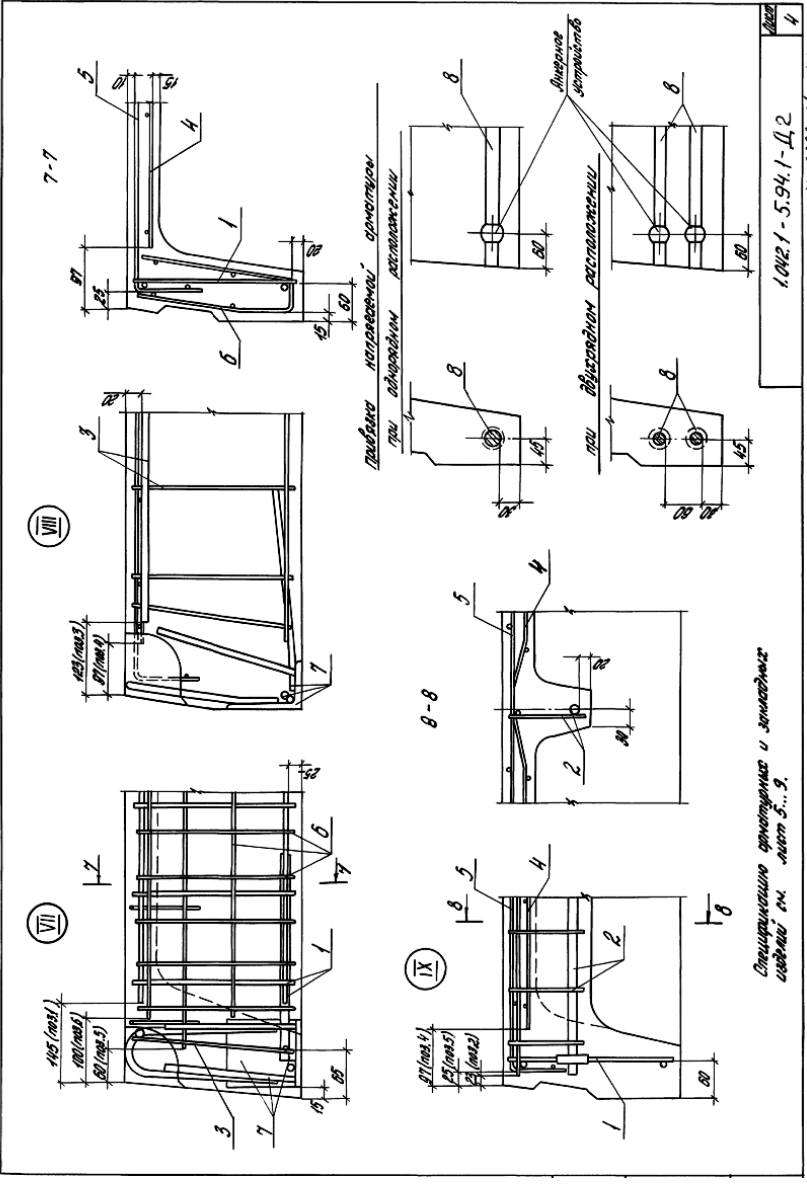


Рис. 4.5. Плита П2. Рабочие чертежи [30]

Специально арматурные и железобетонные  
содержат в листе 5...9.

№п.п.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	№п.п.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	1.042.1-5.94.1-10	Документация							
	-Д2	Техническое описание							
		Плита П2							
		размером 5,65 x 4,5 м							
		БЕДОМЕРЬ РАСКЛАД СТАНУ							
		СБОРНЫЕ ЕДИНИЦЫ							
7	1.042.1-5.94.2-Д21	ИЗДАНИЕ ЭЛЕМЕНТАЛЬНОЕ МН2-2	2						
	-Д21	МН2М	2						
6	-Д43	СЕТКА С1	4						
		ПЕРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ							
		ИСПОЛНЕНИЯ (МАРОК) ПЛИТ							
		П2-1 Ат V							
		СБОРНЫЕ ЕДИНИЦЫ							
1	1.042.1-5.94.2-Д1	КАРКАС КР1	2						
2	-Д3	КР7	3						
3	-Д7	КР16	2						
4	-Д9	СЕТКА С1	1						
5	-Д12	СТЕРЖЕНЬ НАПРЯГАЕМ.СН1	2						
8	-Д25	МАТЕРИАЛЫ							0,76м <sup>3</sup>
		БЕТОН КЛАССА В21,5							
		П2-2 Ат V							
		СБОРНЫЕ ЕДИНИЦЫ							
1	1.042.1-5.94.2-Д1	КАРКАС КР2	2						
2	-Д3	КР9	3						
3	-Д7	КР16	2						
4	-Д9	СЕТКА С1	1						
5	-Д12	СТЕРЖЕНЬ НАПРЯГАЕМ.СН1	2						
8	-Д25	МАТЕРИАЛЫ							0,76м <sup>3</sup>
		БЕТОН КЛАССА В30							
		П2-2 Ат V							
		СБОРНЫЕ ЕДИНИЦЫ							
1	1.042.1-5.94.2-Д1	КАРКАС КР1	2						
2	-Д3	КР8	3						
3	-Д7	КР16	2						
4	-Д9	СЕТКА С1	1						
5	-Д12	СТЕРЖЕНЬ НАПРЯГАЕМ.СН1	2						
8	-Д25	МАТЕРИАЛЫ							0,76м <sup>3</sup>
		БЕТОН КЛАССА В30							
		П2-5 Ат V							
		СБОРНЫЕ ЕДИНИЦЫ							
		1.042.1-5.94.1-Д2							
		МАТ							5

5.02.22-с1 43

Рис. 4.6. Спецификация арматурных изделий [30]

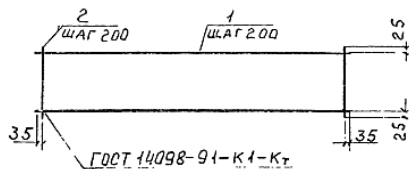
#### 4.1.2. Армирование элементов ребристой плиты покрытия

В соответствии со спецификацией полка плиты армируется сеткой С1 из проволочной арматуры  $\varnothing 4$  Вр I с шагом стержней 200 мм (рис. 4.7).

Армирование продольного ребра выполнено из напрягаемой арматуры 1 $\varnothing 12$  Ат-V. Поперечное армирование продольного ребра выполнено в виде каркаса КР1, который состоит из стержней  $\varnothing 4$  Вр I с шагом 150 мм и 300 мм, соответственно на приопорных и средних участках каркаса (рис. 4.8).

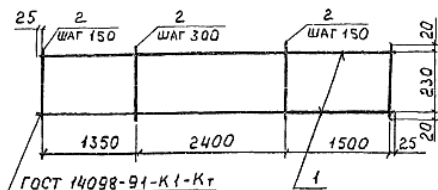
Армирование поперечного ребра осуществляется каркасом КР7, в котором продольный рабочий стержень выполнен из арматуры  $\varnothing 10$  АШ, а поперечные стержни –  $\varnothing 4$  Вр I с шагом 100 мм (рис. 4.9).

В связи с тем, что в работе требуется оценить несущую способность эксплуатируемой плиты покрытия, нормативные и расчетные значения прочностных показателей бетона и арматуры принимаем по СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции» [28, 32].



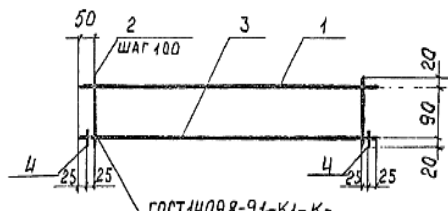
МАРКА СЕТКИ	Поз.	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ.	МАССА 1 ДЕТ., КГ	МАССА ИЗДЕЛИЯ, КГ
С1	1	$\varnothing 4$ Вр I, $l = 5470$	7	0,54	7,14
	2	$\varnothing 4$ Вр I, $l = 1250$	28	0,12	

Рис. 4.7. Армирование полки плиты. Сетка С1 [31]



МАРКА КАРКАСА	Поз.	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ.	МАССА 1 ДЕТ., КГ	МАССА ИЗДЕЛИЯ, КГ
КР1	1	$\varnothing 4$ Вр I, $l = 5300$	2	0,53	1,90
	2	$\varnothing 4$ Вр I, $l = 270$	28	0,03	

Рис. 4.8. Поперечное армирование продольного ребра. Каркас КР1 [31]



МАРКА КАРКАСА	ПОЗ	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ.	МАССА 1ДЕТ., КГ	МАССА ИЗДЕЛИЯ, КГ
КР7	1	φ4ВРТ, ℓ = 1400	1	0,14	1,21
	2	φ4ВРТ, ℓ = 130	14	0,01	
	3	φ10АШ, ℓ = 1400	1	0,87	
	4	φ10АШ, ℓ = 50	2	0,03	

Рис. 4.9. Армирование поперечного ребра. Каркас КР7 [31]

#### 4.1.3. Механические характеристики бетона и арматуры

Кроме того, по результатам обследования и оценки технического состояния плиты класс бетона по прочности на сжатие принимается не ниже В15 [28].

Нормативные и расчетные значения прочностных показателей бетона и арматуры представлены в табл. 4.2 [28].

#### 4.2. Расчетные значения прочностных показателей бетона и арматуры для предельных состояний первой и второй группы [28, 32]

Показатель	Значение	
<b>Бетон В15</b>		
Расчетное сопротивление бетона для предельных состояний первой группы	$R_b = 8,5$ МПа – сжатие	$R_{bt} = 0,75$ МПа – растяжение
Расчетное сопротивление бетона для предельных состояний второй группы	$R_{b,ser} = 11$ МПа – сжатие	$R_{bt,ser} = 1,15$ МПа – растяжение
Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении	$E_b = 20\ 500$ МПа	

Показатель	Значение	
<b>Арматура А-V (А800, напрягаемая)</b>		
Расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельных состояний первой группы	$R_s = 680$ МПа	
Расчетное сопротивление растяжению для предельных состояний второй группы	$R_{s, ser} = 788$ МПа	
Модуль упругости арматуры	$E_s = 190\ 000$ МПа	
<b>Арматура А-III (А400, ненапрягаемая)</b>		
Расчетное сопротивление арматуры для предельных состояний первой группы	$R_s = 355$ МПа, при диаметрах 6...8 мм	$R_s = 365$ МПа, при диаметрах 10...40 мм
<b>Арматура Вр-I (В500, ненапрягаемая)</b>		
Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы	$R_s = 410$ МПа	$R_{sw} = 290$ МПа, при расчете поперечной арматуры
Расчетные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы	$R_{s, ser} = 490$ МПа	
Модуль упругости арматуры	$E_s = 170\ 000$ МПа	

#### 4.1.4. Сбор фактических нагрузок на элементы ребристой плиты покрытия

По заданию требуется сопоставить несущую способность плиты без установки креплений с несущей способностью плиты после установки креплений с заделкой в плиту на глубину 25 и 50 мм. При этом несущая способность плиты должна быть не менее 4 кПа (400 кг/м<sup>2</sup>) [28].

Однако, с целью обобщения результатов работы и оценки несущей способности плиты по отношению к действующим эксплуатационным нагрузкам, произведем сбор нагрузок на полку, поперечное ребро и продольное ребро плиты (табл. 4.3 – 4.5) [28].

Расчеты по первой и второй группам предельных состояний проводим в соответствии с указаниями нормативной документации [28, 33, 34].

#### 4.3. Сбор нагрузок на полку плиты [28]

Вид нагрузки	Нормативное значение нагрузки, кПа	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	Расчетное значение нагрузки, кПа
Гидроизоляция из ПВХ-мембран	0,0135	1,2	0,0162
Теплоизоляция ПЕНОПЛЭКС® Кровля плотностью 30 кг/м <sup>3</sup> , толщиной 150 мм	0,045	1,2	0,054
Вес полки плиты плотностью 2500 кг/м <sup>3</sup> , толщиной 50 мм	1,25	1,1	1,375
Снеговая (III район)	1,5	1,4	2,1
<b>Полная</b>	<b>2,81</b>		<b>3,545</b>

#### 4.4. Сбор нагрузок на поперечное ребро [28]

Вид нагрузки	Нормативное значение нагрузки, кПа	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	Расчетное значение нагрузки, кПа
Конструкция кровли с теплоизоляцией	0,0585	1,2	0,0702
Вес ребра с полкой	1,321	1,1	1,453
Снеговая (III район)	1,5	1,4	2,1
<b>Полная</b>	<b>2,88</b>		<b>3,62</b>

#### 4.5. Сбор нагрузок на продольное ребро [28]

Вид нагрузки	Нормативное значение нагрузки, кПа	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	Расчетное значение нагрузки, кПа
Конструкция кровли с теплоизоляцией	0,0585	1,2	0,0702
Вес плиты с замоноличенными швами	2,7	1,1	2,97
Снеговая (III район)	1,5	1,4	2,1
<b>Полная</b>	<b>4,26</b>		<b>5,14</b>

### 4.2. РАСЧЕТ ПО ПЕРВОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

#### 4.2.1. Определение несущей способности из условия обеспечения прочности нормальных сечений

Целью расчета прочности нормальных сечений является подбор площади стержней рабочей арматуры.

##### 4.2.1.1. Полка плиты

*а) Для плиты без ослабления сечения.*

Полка представляет собой плиту, опертую по контуру (рис. 4.10).

Исходя из размеров сетки С1 (рис. 4.7), предполагаем, что в расчетное сечение полки попадает 7 стержней. Защитный слой бетона принимаем  $a = 15$  мм.

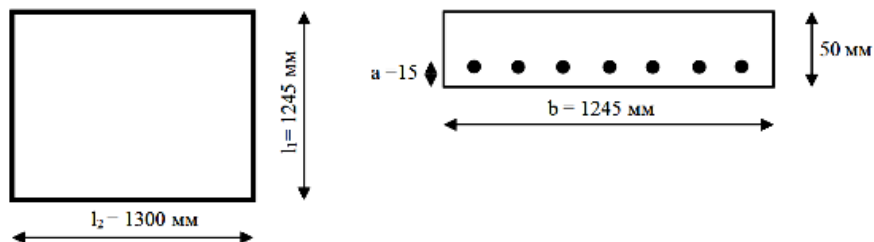


Рис. 4.10. Расчетная схема и расчетное сечение полки



Расчет прочности нормальных сечений изгибаемого прямоугольного элемента проводят из условия:

$$\begin{cases} M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x); \\ R_b b x = R_s A_s, \end{cases}$$

где  $x$  – высота сжатой зоны бетона;  $A_s = 87,9 \text{ мм}^2$  – площадь сечения 7 стержневой арматуры;

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{410 \cdot 87,9}{8,5 \cdot 1245} = 3,40 \text{ мм};$$

$$M = 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,245 \cdot 3,40 \cdot 10^{-3} (35 - 0,5 \cdot 3,40) \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Расчетное значение нагрузки выразим из условия:

$$M = \frac{\eta P l_1 l_2^2}{48},$$

значит несущая способность составит:

$$P = \frac{48M}{\eta l_1 l_2^2} = \frac{48 \cdot 1,2}{0,8 \cdot 1,3^2 \cdot 1,245} = 34,22 \text{ кН/м}^2.$$

б) Для плиты, с глубиной заделки креплений 25 мм.

Крепление гидроизоляции и теплоизоляции осуществляется из расчета 9 креплений на  $1 \text{ м}^2$ .

Площадь полки  $1,3 \cdot 1,245 = 1,62$ , значит число креплений 15 шт. Крепления размещаем самым невыгодным способом, чтобы как можно больше креплений попало в расчетное сечение. Диаметр отверстий под крепление 5 мм.

Схема креплений и расчетное сечение представлены на рис. 4.11.

Поскольку расчетное сечение представляет собой тавр с полкой в растянутой зоне, необходимо определить, где располагается сжатая зона бетона: в пределах стенки или в полке.

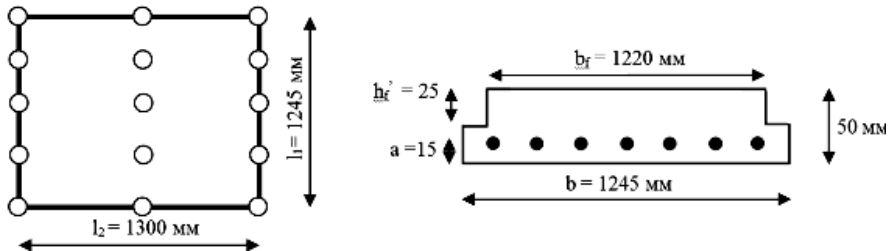


Рис. 4.11. Расчетная схема и расчетное сечение ослабленной полки [28]

Проверяем условие:

$$R_s A_s \leq R_b b_f h'_f;$$

$$410 \cdot 87,9 = 36\,039 \leq 8,5 \cdot 1220 \cdot 25 = 259\,250,$$

значит сжатая зона находится в пределах стенки

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{410 \cdot 87,9}{8,5 \cdot 1220} = 3,475 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} M &= R_b b x (h_0 - 0,5x) = \\ &= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,22 \cdot 3,475 \cdot 10^{-3} (35 - 0,5 \cdot 3,475) \cdot 10^{-3} = 1,198 \text{ кН}\cdot\text{м}, \end{aligned}$$

значит несущая способность составит:

$$P = \frac{48M}{\eta l_1 l_2^2} = \frac{48 \cdot 1,198}{0,8 \cdot 1,3^2 \cdot 1,245} = 34,16 \text{ кН/м}^2.$$

в) Для плиты с глубиной заделки креплений 50 мм.

В случае, когда отверстия для креплений устраиваются насквозь, расчетное сечение будет иметь вид прямоугольного, уменьшенного на величину  $5 \cdot 5 \text{ мм} = 25 \text{ мм}$ . При этом в работе этого сечения будут принимать участие все стержни сетки С1.

Схема креплений и расчетные сечения представлены на рис. 4.12.

Расчет для случая с двумя стержнями:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{410 \cdot 87,9}{8,5 \cdot 1220} = 3,475 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} M &= R_b b x (h_0 - 0,5x) = \\ &= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,22 \cdot 3,475 \cdot 10^{-3} (35 - 0,5 \cdot 3,475) \cdot 10^{-3} = 1,198 \text{ кН}\cdot\text{м}, \end{aligned}$$

значит несущая способность составит:

$$P = \frac{48M}{\eta l_1 l_2^2} = \frac{48 \cdot 1,198}{0,8 \cdot 1,3^2 \cdot 1,245} = 34,16 \text{ кН/м}^2.$$

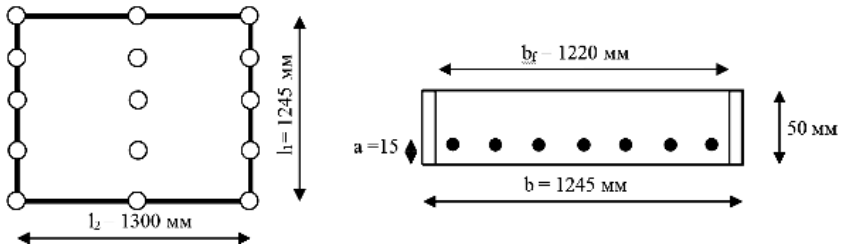


Рис. 4.12. Расчетная схема и расчетное сечение ослабленной полки с креплением насквозь

#### 4.6. Сводная таблица значений несущей способности полки плиты

Несущая способность сечения полки без ослабления, кПа	Несущая способность сечения полки при глубине креплений 25 мм, кПа	Несущая способность сечения полки при креплении насквозь, кПа	Требуемое значение несущей способности по заданию, кПа	Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на полку плиты (табл. 4.3), кПа
34,22	34,16	34,16	более 4	3,545

Представим сводную табл. 4.6 результатов определения несущей способности полки плиты.

*Вывод:* для всех случаев ослабления сечения полки ее несущая способность удовлетворяет требованиям задания.

##### 4.2.1.2. Поперечное ребро плиты

*а) Для плиты без ослабления сечения.*

Расчетная схема поперечного ребра – однопролетная шарнирно опертая балка. Расчетный пролет балки  $l = 1315$  мм.

Расчетное сечение поперечного ребра – тавровое с полкой в сжатой зоне (рис. 4.13).

Армирование поперечного ребра осуществляется рабочим стрежнем в составе каркаса КР7 диаметром 10 класса АIII с площадью  $A_s = 78,5$  мм<sup>2</sup>.

Находим расположение сжатой зоны бетона:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f;$$

$$365 \cdot 78,5 = 28653 \leq 8,5 \cdot 1400 \cdot 50 = 595000,$$

значит сжатая зона находится в пределах полки.

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b'_f} = \frac{365 \cdot 78,5}{8,5 \cdot 1400} = 2,408 \text{ мм};$$

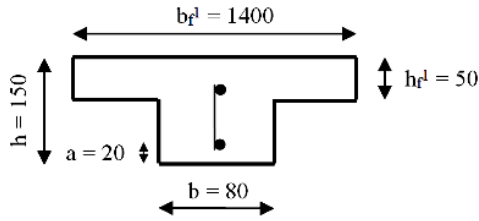
$$M = R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) =$$

$$= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,4 \cdot 2,408 \cdot 10^{-3} (130 - 0,5 \cdot 2,408) \cdot 10^{-3} = 3,69 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M = \frac{ql^2}{8} \Rightarrow q = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \cdot 3,69}{1,315^2} = 17,07 \text{ кН/м},$$

значит несущая способность при шаге ребер  $S = 1,4$  м

$$P = \frac{q}{S} = \frac{17,07}{1,4} = 12,19 \text{ кН/м}^2.$$



**Рис. 4.13. Расчетное сечение поперечного ребра**

б) Для плиты с глубиной заделки креплений 25 мм.

Из условия расстановки креплений для кровли (рис. 4.11) в расчетное сечение попадают 3 отверстия диаметром 5 мм, поэтому ширина полки будет меньше на 15 мм (рис. 4.14) [28].

Находим расположение сжатой зоны бетона:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h_3;$$

$$28\,653 \leq 8,5 \cdot 1385 \cdot 25 = 294\,313,$$

значит сжатая зона находится в пределах полки

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b'_f} = \frac{28\,653}{8,5 \cdot 1385} = 2,434 \text{ мм};$$

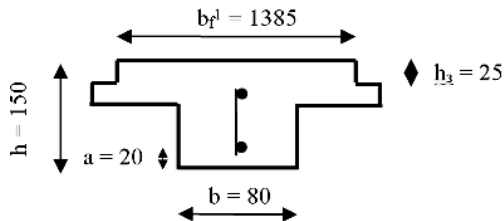
$$M = R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) =$$

$$= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,385 \cdot 2,434 \cdot 10^{-3} (130 - 0,5 \cdot 2,434) \cdot 10^{-3} = 3,69 \text{ кН·м};$$

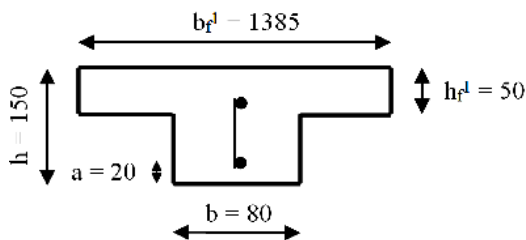
$$M = \frac{ql^2}{8} \Rightarrow q = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \cdot 3,69}{1,315^2} = 17,07 \text{ кН/м},$$

значит несущая способность при шаге ребер  $S = 1,4$  м

$$P = \frac{q}{S} = \frac{17,07}{1,4} = 12,19 \text{ кН/м}^2.$$



**Рис. 4.14. Расчетное сечение ослабленного поперечного ребра при заделке креплений на глубину 25 мм [28]**



**Рис. 4.15.** Расчетное сечение поперечного ребра, ослабленное тремя креплениями насквозь

в) Для плиты с глубиной заделки креплений 50 мм.

Расчетное сечение представлено на рис. 4.15.

Как видно, размеры расчетного сечения аналогичны предыдущему расчетному случаю, поэтому несущая способность при шаге ребер  $S = 1,4$  м

$$P = \frac{q}{S} = \frac{17,07}{1,4} = 12,19 \text{ кН/м}^2.$$

Представим сводную табл. 4.7 результатов определения несущей способности поперечного ребра плиты.

*Вывод:* для всех случаев ослабления сечения поперечного ребра его несущая способность удовлетворяет требованиям задания.

#### 4.2.1.3. Продольное ребро плиты

а) Для плиты без ослабления сечения.

Расчетное сечение продольного ребра ребристой плиты представляет собой тавровое сечение с полкой в сжатой зоне, образованное двумя продольными ребрами соседних плит покрытия (рис. 4.16).

Продольное ребро рассчитывается как шарнирно опертая однопролетная балка, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Длина пролета  $l = 5450$  мм.

### 4.7. Сводная таблица значений несущей способности поперечного ребра плиты

Несущая способность сечения ребра без ослабления, кПа	Несущая способность сечения ребра при глубине креплений 25 мм, кПа	Несущая способность сечения ребра при креплении насквозь, кПа	Требуемое значение несущей способности по заданию, кПа	Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на ребро плиты (табл. 4.4), кПа
12,19	12,19	12,19	более 4	3,62

Армирование продольного ребра осуществляется напрягаемой арматурой: 2 стержня  $\varnothing 12$  Ат-V с площадью  $A_{sp} = 226 \text{ мм}^2$ .

Поперечное армирование продольного ребра – каркас КР1 (рис. 4.8).  
Находим расположение сжатой зоны бетона:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f;$$

$$680 \cdot 226 = 153\,680 \leq 8,5 \cdot 1485 \cdot 50 = 631\,125,$$

значит сжатая зона находится в пределах полки.

$$x = \frac{R_s A_s \gamma_{s3}}{R_b b'_f} = \frac{680 \cdot 226 \cdot 1,1}{8,5 \cdot 1485} = 13,392 \text{ мм};$$

$$M = R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) =$$

$$= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,485 \cdot 13,392 \cdot 10^{-3} (270 - 0,5 \cdot 13,392) \cdot 10^{-3} = 44,51 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M = \frac{ql^2}{8} \Rightarrow q = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \cdot 44,51}{5,45^2} = 11,99 \text{ кН/м},$$

значит несущая способность

$$P = \frac{q}{b_{\text{плиты}}} = \frac{11,99}{1,485} = 8,074 \text{ кН/м}^2.$$

*б) Для плиты с глубиной заделки креплений 25 мм.*

Исходя из самого неблагоприятного расположения отверстий под крепления с учетом их количества 9 шт./м<sup>2</sup>, принимаем, что в расчетное сечение попадает 6 отверстий диаметром 5 мм.

Расчетное сечение представлено на рис. 4.17.

Находим расположение сжатой зоны бетона:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f;$$

$$680 \cdot 226 = 153\,680 \leq 8,5 \cdot 1455 \cdot 25 = 309\,187,$$

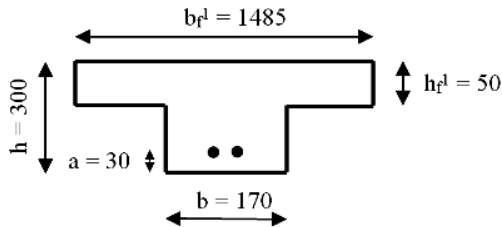


Рис. 4.16. Расчетное сечение продольного ребра

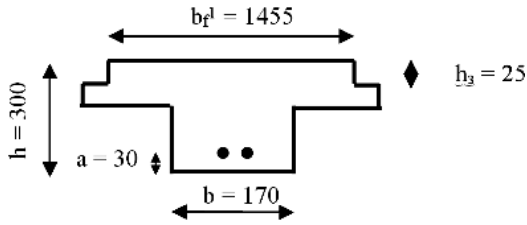


Рис. 4.17. Расчетное сечение ослабленного продольного ребра при заделке креплений на глубину 25 мм

значит сжатая зона находится в пределах глубины заделки крепления.

$$x = \frac{R_s A_s \gamma_{s3}}{R_b b'_f} = \frac{680 \cdot 226 \cdot 1,1}{8,5 \cdot 1455} = 13,668 \text{ мм};$$

$$M = R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) = \\ = 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,455 \cdot 13,668 \cdot 10^{-3} (270 - 0,5 \cdot 13,668) \cdot 10^{-3} = 44,48 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M = \frac{ql^2}{8} \Rightarrow q = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \cdot 44,48}{5,45^2} = 11,98 \text{ кН/м},$$

значит несущая способность

$$P = \frac{q}{b_{\text{плиты}}} = \frac{11,98}{1,485} = 8,067 \text{ кН/м}^2.$$

в) Для плиты с глубиной заделки креплений 50 мм.

Принцип формирования расчетного сечения продольного ребра и расчетное сечение, ослабленное отверстиями насквозь, представлены на рис. 4.18 [28].

Находим расположение сжатой зоны бетона:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f; \\ 680 \cdot 226 = 153\ 680 \leq 8,5 \cdot 770 \cdot 50 = 327\ 250,$$

значит сжатая зона находится в пределах полки.

$$x = \frac{R_s A_s \gamma_{s3}}{R_b b'_f} = \frac{680 \cdot 226 \cdot 1,1}{8,5 \cdot 770} = 25,83 \text{ мм};$$

$$M = R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) = \\ = 8,5 \cdot 10^3 \cdot 0,770 \cdot 25,83 \cdot 10^{-3} (270 - 0,5 \cdot 25,83) \cdot 10^{-3} = 43,462 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

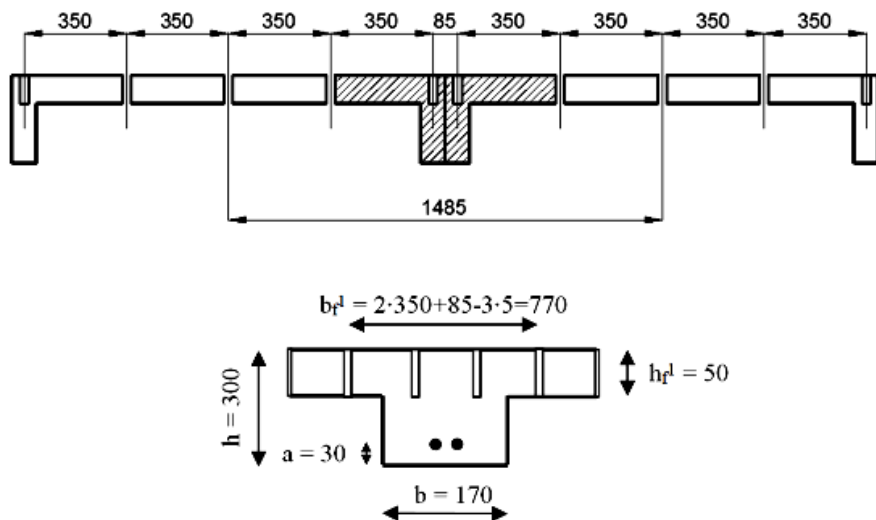


Рис. 4.18. Формирование расчетного сечения ослабленного продольного ребра при заделке креплений на глубину 50 мм [28]

$$M = \frac{ql^2}{8} \Rightarrow q = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \cdot 43,462}{5,45^2} = 11,70 \text{ кН/м},$$

значит несущая способность

$$P = \frac{q}{b_{\text{плиты}}} = \frac{11,70}{1,485} = 7,88 \text{ кН/м}^2.$$

Представим сводную табл. 4.8 результатов определения несущей способности продольного ребра плиты.

*Вывод:* для всех случаев ослабления сечения продольного ребра его несущая способность удовлетворяет требованиям задания.

#### 4.8. Сводная таблица значений несущей способности продольного ребра плиты

Несущая способность сечения ребра без ослабления, кПа	Несущая способность сечения ребра при глубине креплений 25 мм, кПа	Несущая способность сечения ребра при креплении насквозь, кПа	Требуемое значение несущей способности по заданию, кПа	Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на ребро плиты (табл. 4.5), кПа
8,074	8,067	7,88	более 4	5,14



## 4.2.2. Проверка прочности наклонных сечений продольного ребра

Прочность наклонных сечений обеспечивается постановкой поперечной арматуры в виде каркасов.

Проверка прочности наклонных сечений включает в себя:

- проверку прочности по бетонной полосе между наклонными сечениями;
- проверку прочности по наклонным сечениям на действие поперечных сил;
- проверку прочности по наклонным сечениям на действие изгибающего момента.

### 4.2.2.1. Проверка прочности по бетонной полосе между наклонными сечениями

Должно выполняться следующее условие:

$$Q_{\max} < 0,3R_b b h_0;$$

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} \text{ кН.}$$

Исходя из расчета по несущей способности, принимаем  $q = 11,99 \text{ кН/м}$ .

$$Q_{\max} = \frac{11,99 \cdot 5,45}{2} = 32,67 \text{ кН;}$$

$$Q_{\max} = 32,67 < 0,3 \cdot 8,5 \cdot 10^3 \cdot 0,17 \cdot 0,27 = 117 \text{ кН.}$$

Прочность бетонной полосы обеспечена.

### 4.2.2.2. Проверка прочности по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Должно выполняться следующее условие:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw},$$

где  $Q$  – поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции  $s$  от внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения;  $Q_b$  – поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;  $Q_{sw}$  – поперечная сила, воспринимаемая хомутами в наклонном сечении.

Продольное ребро армировано плоским каркасом КР1 с поперечными стержнями из арматуры класса ВрI диаметром 4 мм ( $2A_{sw} = 25,1 \text{ мм}^2$ ,  $R_{sw} = 290 \text{ МПа}$ ) с шагом  $s_w = 150 \text{ мм}$ .

Определим усилие в хомутах на единице длины элемента:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w} = \frac{290 \cdot 10^3 \cdot 25,1 \cdot 10^{-6}}{0,15} = 48,53 \text{ кН/м.}$$

Хомуты учитываются в расчете, если соблюдается условие:

$$q_{sw} \geq 0,25\varphi_n R_{bt} b = 0,25 \cdot 1,31 \cdot 0,75 \cdot 0,17 \cdot 10^3 = 41,76 \text{ кН/м},$$

значит необходимо в расчетах учитывать хомуты.

$$\varphi_n = 1 + 1,6 \frac{P}{R_b A_1} - 1,16 \left( \frac{P}{R_b A_1} \right)^2 = 1 + 1,6 \frac{99\,440}{8,5 \cdot 51\,000} - 1,16 \left( \frac{99\,440}{8,5 \cdot 51\,000} \right)^2 = 1,31;$$

где  $P$  – усилие обжатия от напрягаемой арматуры, расположенной в растянутой зоне

$$P = A_{sp} (\sigma_{sp} - \sum \Delta \sigma_{spi}) = 226 \cdot (540 - 100) = 99\,440 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^2;$$

$\sigma_{sp} = 540 \text{ МПа}$  – предварительное напряжение в напрягаемой арматуре с учетом первых потерь;  $\sum \Delta \sigma_{spi}$  – суммарные потери предварительных напряжений. Принимаются не меньше 100 МПа;  $A_1 = 170 \cdot 300 = 51\,000 \text{ мм}^2$  – площадь бетонного сечения без сжатых свесов полок.

$$Q_{sw} = 0,75 q_{sw} c_0,$$

где  $c_0$  – длина проекции наклонной трещины, принимаемая равной  $c$ , но не более  $2h_0$ .

$$2h_0 = 2 \cdot 0,27 = 0,54 \text{ м};$$

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1}} = \sqrt{\frac{18,26}{10,43}} = 1,32 \text{ м, принимаем } c_0 = 0,54 \text{ м};$$

$$M_b = 1,5 \varphi_n R_{bt} b h_0^2 = 1,5 \cdot 1,31 \cdot 0,75 \cdot 1000 \cdot 0,17 \cdot 0,27^2 = 18,26 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Если нагрузка включает в себя временную нагрузку, которая приводится к эквивалентной по моменту равномерно распределенной нагрузке  $q_v$ , то

$$q_1 = q - 0,5 q_v = 11,99 - 0,5 \cdot 2,1 \cdot 1,485 = 10,43 \text{ кН/м};$$

$$Q_{sw} = 0,75 q_{sw} c_0 = 0,75 \cdot 48,53 \cdot 0,54 = 19,65 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{18,26}{1,32} = 13,83 \text{ кН}.$$

Поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции  $c$ :

$$Q \leq Q_{\max} - q_1 c = 32,67 - 10,43 \cdot 1,32 = 18,9 \text{ кН}.$$

Проверяем условие прочности:

$$Q = 18,9 \leq Q_b + Q_{sw} = 13,83 + 19,65 = 33,48 \text{ кН}.$$

Прочность наклонных сечений на действие поперечной силы обеспечена для всех случаев ослабления, поскольку в расчетах не участвует сжатая зона бетона.

#### 4.2.2.3. Проверка прочности по наклонным сечениям на действие изгибающего момента

В этом расчете участвует сжатая зона бетона, поэтому для проверки прочности выбираем случай с наибольшим ослаблением сечения продольного ребра, т.е. при отверстиях насквозь.

Требуется проверить условие:

$$M \leq M_s + M_{sw},$$

где  $M$  – момент в наклонном сечении с длиной проекции  $c$  на продольную ось элемента, определяемый от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения;  $M_s$  – момент, воспринимаемый продольной арматурой, пересекающей наклонное сечение, относительно противоположного конца наклонного сечения;  $M_{sw}$  – момент, воспринимаемый поперечной арматурой, пересекающей наклонное сечение, относительно противоположного конца наклонного сечения.

$$M = Q_{\max} y - \frac{q y^2}{2} = \frac{11,7 \cdot 5,45}{2} \cdot 0,59 - \frac{11,7 \cdot 0,59^2}{2} = 16,77 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$y = c + 50 = 2h_0 + 50 = 2 \cdot 270 + 50 = 590 \text{ мм};$$

$$M_s = N_s z_s = 164 \cdot 0,26 = 42,64 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$N_s = R_{sp} A_{sp} + R_s A_s = 680 \cdot 10^3 \cdot 226 \cdot 10^{-6} + 410 \cdot 10^3 \cdot 25,1 \cdot 10^{-6} = 164 \text{ кН};$$

$$z_s = h_0 - \frac{N_s}{2R_b b' f} = 0,27 - \frac{164}{2 \cdot 8,5 \cdot 0,975 \cdot 10^3} = 0,26 \text{ м};$$

$$M_{sw} = 0,5 q_{sw} c^2 = 0,5 \cdot 48,53 \cdot 0,54^2 = 7,07 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M = 16,77 \leq M_s + M_{sw} = 7,07 + 42,64 = 49,71, \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Прочность наклонных сечений на действие изгибающего момента обеспечена.

### 4.3. РАСЧЕТ ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

#### 4.3.1. Определение величины потерь предварительных напряжений

При расчете предварительно напряженных конструкций следует учитывать снижение предварительных напряжений вследствие потерь предварительного напряжения – до передачи усилий натяжения на бетон (первые потери) и после передачи усилия на бетон (вторые потери).

Первые потери предварительного напряжения включают потери от релаксации предварительных напряжений в арматуре, потери от температурного перепада при термической обработке конструкций, потери от деформации анкеров и деформации формы.

Вторые потери предварительного напряжения включают потери от усадки и ползучести бетона.

Потери от релаксации напряжений арматуры определяют по формулам:

– для арматуры классов А600, А800 и А1000 при электротермическом способе натяжения:

$$\Delta\sigma_{sp1} = 0,03\sigma_{sp} = 0,03 \cdot 540 = 16,2 \text{ МПа.}$$

Потери от температурного перепада  $\Delta t$ , определяемого как разность температур натянутой арматуры в зоне нагрева и устройства, воспринимающего усилия натяжения, °С, принимаются равными:

$$\Delta\sigma_{sp2} = 1,25\Delta t = 1,25 \cdot 65 = 81,25 \text{ МПа.}$$

$\Delta\sigma_{sp3} = 0$  – от деформации стальной формы;

$\Delta\sigma_{sp4} = 0$  – от деформации анкеров натягивающих устройств.

Сумма первых потерь составляет 97,45 Мпа.

Усилие предварительного обжатия после первых потерь:

$$P_1 = (540 - 97,45) \cdot 2,26 = 1000 \text{ МПа}\cdot\text{см}^2.$$

Потери от усадки бетона:

$$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh} E_s = 0,0002 \cdot 190\,000 = 38 \text{ МПа.}$$

Потери в арматуре от ползучести бетона.

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{sp6} &= \frac{0,8\phi_{b,cr} \alpha \sigma'_{bp}}{1 + \alpha \mu_{sp} \left( 1 \pm \frac{e_{0p1} y_s A}{I_{red}} \right) (1 + 0,8\phi_{b,cr})} = \\ &= \frac{0,8 \cdot 2,4 \cdot 9,27 \cdot 1,53}{1 + 9,27 \cdot 0,00193 \cdot \left( 1 + \frac{18,5 \cdot 18,5 \cdot 1192,61}{92\,941} \right) (1 + 0,8 \cdot 2,4)} = 21,25 \text{ МПа,} \end{aligned}$$

где  $\phi_{b,cr} = 2,4$  – коэффициент ползучести;  $\alpha = \frac{190\,000}{20\,500} = 9,27$ ;

$$\begin{aligned} \Delta\sigma'_{bp} &= \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{op} y_s}{I_{red}} - \frac{M_{g,ser} y_s}{I_{red}} = \\ &= \left( \frac{1000}{1192,61} + \frac{1000 \cdot 18,5 \cdot 18,5}{92\,941} - \frac{1500 \cdot 185}{92\,941} \right) = 1,53 \text{ МПа;} \end{aligned}$$

$$\mu_{sp} = \frac{A_{sp}^{\text{табл}}}{A} = \frac{226}{1485 \cdot 50 + 170 \cdot 250} = 0,00193.$$

Момент от собственного веса плиты:

$$M_g = \frac{2,7 \cdot 1,485 \cdot 5,45^2}{8} = 15 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\sum \sigma_{sp} = (97,45 + 59,25) = 156,7 \text{ МПа} > 100 \text{ МПа},$$

$$\sum \sigma_{sp} = 156,7 \text{ МПа}.$$

Усилие предварительного обжатия после всех потерь:

$$P_2 = \sigma_{sp2} A_{sp} - \sigma_s A_s - \sigma'_s A'_s =$$

$$= (540 - 97,45 - 59,25) \cdot 2,26 - 59,25 \cdot 2 \cdot 25,1 \cdot 10^{-2} = 836,5 \text{ МПа}\cdot\text{см}^2.$$

Эксцентриситет приложения усилия предварительного обжатия после всех потерь:

$$e_{0p} = \frac{\sigma_{sp2} A_{sp} y_{sp} + \sigma'_s A'_s y'_s - \sigma_s A_s y_s}{P} =$$

$$= \frac{383,3 \cdot 2,26 \cdot 18,5 + 59,25 \cdot 0,251 \cdot 7 - 59,25 \cdot 0,251 \cdot 20}{836,5} = 18,9 \text{ см}.$$

#### 4.3.2. Определение несущей способности плиты из условия трещиностойкости

а) Для плиты без ослабления сечения.

Момент образования трещин в стадии эксплуатации высчитывается по формуле:

$$M_{crc} = \gamma R_{bt,ser} W_{red} + P_2 (e_{0p} + r).$$

Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = A_b + \alpha_1 A_{sp} + \alpha_2 A_s + \alpha_2 A'_s;$$

$$\alpha_1 = \frac{E_{sp}}{E_b} = \frac{190\,000}{20\,500} = 9,27;$$

$$\alpha_2 = \frac{E_s}{E_b} = \frac{170\,000}{20\,500} = 8,29;$$

$$A_{red} = 1485 \cdot 50 + 170 \cdot 250 + 9,27 \cdot 226 + 2 \cdot 8,29 \cdot 25,1 = 119\,261 \text{ мм}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно растянутой грани:

$$S = 148,5 \cdot 50 \cdot 27,5 + 17 \cdot 25 \cdot 12,5 = 25\,731 \text{ см}^3.$$

Расстояние от нижней растянутой грани до центра тяжести приведенного сечения:

$$y = \frac{\sum S}{A_{red}} = \frac{S + \alpha_1 A_{sp} a_p + \alpha_2 A_s a_s + \alpha_2 A'_s (h - a'_s)}{A_{red}} =$$

$$= \frac{25 \cdot 731 + 9,27 \cdot 2,26 \cdot 3 + 8,29 \cdot 0,251 \cdot 1,5 + 8,29 \cdot 0,251 \cdot (30 - 1,5)}{0,12 \cdot 10^{-4}} = 21,5 \text{ см.}$$

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести:

$$J_{red} = J_b + \alpha_1 A_{sp} y_{sp}^2 + \alpha_2 A_s y_s^2 + \alpha_2 A'_s y_s'^2;$$

$$J_b = \frac{148,5 \cdot 5^3}{12} + 148,5 \cdot 5 \cdot (30 - 2,5 - 21,5)^2 + \frac{17 \cdot 25^3}{12} +$$

$$+ 17 \cdot 25 \cdot (21,5 - 12,5)^2 = 84 \, 837 \text{ см}^4;$$

$$J_{red} = 84 \, 837 + 9,27 \cdot 2,26 \cdot (21,5 - 3)^2 + 8,29 \cdot 0,251 \cdot (21,5 - 1,5)^2 +$$

$$+ 8,29 \cdot 0,251 \cdot (30 - 21,5 - 1,5)^2 = 92 \, 941 \text{ см}^4;$$

Момент сопротивления сечения:

$$W_{red} = \frac{J_{red}}{y} = \frac{92 \, 941}{21,5} = 4323 \text{ см}^3;$$

Ядровое расстояние:

$$r = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{4323}{0,12 \cdot 10^4} = 3,6 \text{ см};$$

$$e_{0p} = 21,5 - 3 = 18,5 \text{ см};$$

$\gamma = 1,3$  – коэффициент для таврового сечения;

$$M_{crc} = 1,3 \cdot 1,15 \cdot 4323 \cdot 10^{-4} + 836,5 \cdot 10^{-4} \cdot (18,5 + 3,6) = 24,95 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Условием необразования трещин является следующее выражение:

$$M < M_{crc}.$$

Исходя из этого, найдем несущую способность, при которой трещины не образуются:

$$q < \frac{8M_{crc}}{l^2} = \frac{8 \cdot 24,95}{5,45^2} = 6,72 \text{ кН/м},$$

тогда несущая способность составит

$$P = \frac{q}{b_{плиты}} = \frac{6,72}{1,485} = 4,53 \text{ кН/м}^2.$$

б) Для плиты с глубиной заделки креплений 25 мм.

Расчет ведется по тем же формулам, но для сечения, представленного на рис. 4.14.

Площадь приведенного сечения:  $A_{red} = 0,118511 \text{ м}^2$ .

Статический момент бетонного сечения относительно растянутой грани:  $S = 25\,516 \text{ см}^3$ .

Расстояние от нижней растянутой грани до центра тяжести приведенного сечения:  $y = 21,53 \text{ см}$ .

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести:  $J_{red} = 84\,406 \text{ см}^4$ .

Момент сопротивления сечения:  $W_{red} = 3920 \text{ см}^3$ .

Ядровое расстояние:  $r = 3,31 \text{ см}$ .

$$e_{0p} = 21,53 - 3 = 18,53 \text{ см.}$$

$$M_{crc} = 1,3 \cdot 1,15 \cdot 3920 \cdot 10^{-4} + 836,5 \cdot 10^{-4} \cdot (18,5 + 3,31) = 24,13 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Исходя из этого, найдем несущую способность, при которой трещины не образуются:

$$q < \frac{8M_{crc}}{l^2} = \frac{8 \cdot 24,13}{5,45^2} = 6,49 \text{ кН}\cdot\text{м,}$$

тогда несущая способность составит

$$P = \frac{q}{b_{плиты}} = \frac{6,49}{1,485} = 4,37 \text{ кН/м}^2.$$

в) Для плиты с глубиной заделки креплений 50 мм.

Расчет ведется по тем же формулам, но для сечения, представленного на рис. 4.15.

Площадь приведенного сечения:  $A_{red} = 0,084 \text{ м}^2$ .

Статический момент бетонного сечения относительно растянутой грани:  $S = 15\,900 \text{ см}^3$ .

Расстояние от нижней растянутой грани до центра тяжести приведенного сечения:  $y = 19,1 \text{ см}$ .

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести:  $J_{red} = 74\,875 \text{ см}^4$ .

Момент сопротивления сечения:  $W_{red} = 3920 \text{ см}^3$ .

Ядровое расстояние:  $r = 4,67 \text{ см}$ .

$$e_{0p} = 19,1 - 3 = 16,1 \text{ см.}$$

$$M_{crc} = 1,3 \cdot 1,15 \cdot 3920 \cdot 10^{-4} + 836,5 \cdot 10^{-4} \cdot (16,1 + 4,67) = 23,23 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

#### 4.9. Сводная таблица значений несущей способности плиты по расчету на трещиностойкость

Несущая способность плиты без ослабления, кПа	Несущая способность плиты при креплении насквозь, кПа	Требуемое значение несущей способности по заданию, кПа	Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на продольное ребро плиты (табл. 5), кПа	Нормативное значение эксплуатационной нагрузки на продольное ребро плиты (табл. 4.5), кПа
4,53	4,22	более 4	5,14	4,26

Исходя из этого, найдем несущую способность, при которой трещины не образуются:

$$q < \frac{8M_{crc}}{l^2} = \frac{8 \cdot 23,23}{5,45^2} = 6,26 \text{ кН·м},$$

тогда несущая способность составит

$$P = \frac{q}{b_{\text{плиты}}} = \frac{6,26}{1,485} = 4,22 \text{ кН/м}^2.$$

Представим сводную табл. 4.9 результатов определения несущей способности продольного ребра плиты.

*Вывод:* для всех случаев ослабления сечения плиты ее несущая способность удовлетворяет требованиям задания.

Следует учитывать, что при действии расчетного значения эксплуатационной нагрузки 5,14 кПа в неповрежденной и поврежденной плите будут образовываться трещины.

При действии нормативного значения нагрузки 4,26 кПа трещины будут образовываться лишь в плите с ослабленным насквозь сечением.

#### 4.3.3. Определение прогиба плиты

*а) Для плиты без ослабления сечения.*

Расчет изгибаемых элементов по прогибам производят из условия:

$$f \leq f_{ult},$$

где  $f$  – прогиб элемента от действия внешней нагрузки;  $f_{ult}$  – значение предельно допустимого прогиба.

$$f_{ult} = \frac{l}{200} = \frac{5450}{200} = 27,25 \text{ мм}; \quad f = \frac{5}{48} \left( \frac{1}{r} \right) l_0^2,$$

где  $\left( \frac{1}{r} \right)$  – полная кривизна изгибаемого элемента.



Для расчета плиты по деформациям принимаем наихудший случай, когда в плите в растянутой от эксплуатационной нагрузки зоне образуются трещины.

Полную кривизну изгибаемых элементов для участков с трещинами в растянутой зоне определяют по формуле:

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3,$$

где  $\left(\frac{1}{r}\right)_1$  – кривизна от непродолжительного действия всех нагрузок;  $\left(\frac{1}{r}\right)_2$  – кривизна от непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок;  $\left(\frac{1}{r}\right)_3$  – кривизна от продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок.

Принимаем в запас, что полная кривизна равна кривизне от непродолжительного действия всех нагрузок.

Кривизну допускается определять по формуле:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{\varphi_c b h_0^3 E_{b,red}}.$$

Момент от полной нормативной нагрузки  $q = 4,26$  кПа (табл. 4.5):

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{4,26 \cdot 1,485 \cdot 5,45^2}{8} = 23,49 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона принимается равным:

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{11}{0,0015} = 7333 \text{ МПа}.$$

Коэффициент приведения площади арматуры сжатой зоны:

$$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{170\,000}{7333} = 23,18.$$

Коэффициент приведения площади арматуры растянутой зоны:

$$\alpha_{s2} = \frac{E_s}{\psi_s E_{b,red}} = \frac{190\,000}{1 \cdot 7333} = 25,91.$$

Коэффициент  $\varphi_c = 0,44$  (по табл. 4.5 в зависимости от  $\varphi_f$ ,  $\mu\alpha_{s2}$ ,  $e_s/h_0$ ) [33]:

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f - (A'_{sp} + A_s)\alpha_{s1}}{bh_0} = \frac{(1485 - 170) \cdot 50 - 25,1 \cdot 23,18}{170 \cdot 270} = 1,42;$$

$$\mu\alpha_{s2} = \frac{A_{sp} + A_s}{bh_0} \alpha_{s2} = \frac{226 + 25,1}{170 \cdot 270} \cdot 25,91 = 0,14;$$

$$\frac{e_s}{h_0} = \frac{M_s}{Ph_0} = \frac{23,16}{836,5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,27} = 1,02;$$

$$M_s = M - Pe_{sp} = 23,49 - 836,5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,004 = 23,16 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Полная кривизна:

$$\frac{1}{r} = \frac{23,49}{0,44 \cdot 0,17 \cdot 0,27^3 \cdot 7333 \cdot 10^3} = 0,0022 \text{ 1/м}.$$

Прогиб плиты:

$$f = \frac{5}{48} \cdot 0,0022 \cdot 5,45^2 = 0,0068 \text{ м} = 6,8 \text{ мм} < f_{ult} = 27 \text{ мм}.$$

Жесткость плиты обеспечена.

*б) Для плиты с глубиной заделки креплений 50 мм.*

Момент от полной нормативной нагрузки  $q = 4,26$  кПа (табл. 4.5):

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{4,26 \cdot 1,485 \cdot 5,45^2}{8} = 23,49 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Приведенный модуль деформации сжатого бетона принимается равным:

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{11}{0,0015} = 7333 \text{ МПа}.$$

Коэффициент приведения площади арматуры сжатой зоны:

$$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{170\,000}{7333} = 23,18.$$

Коэффициент приведения площади арматуры растянутой зоны:

$$\alpha_{s2} = \frac{E_s}{\psi_s E_{b,red}} = \frac{190\,000}{1 \cdot 7333} = 25,91.$$

Коэффициент  $\varphi_c = 0,363$  (по табл. 4.5 в зависимости от  $\varphi_f$ ,  $\mu_{s2}$ ,  $e_s / h_0$ ) [33, 34]:

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f - (A'_{sp} + A_s)\alpha_{s1}}{bh_0} = \frac{(770 - 170) \cdot 50 - 25,1 \cdot 23,18}{170 \cdot 270} = 0,64;$$

$$\mu_{s2} = \frac{A_{sp} + A_s}{bh_0} \alpha_{s2} = \frac{226 + 25,1}{170 \cdot 270} \cdot 25,91 = 0,14;$$

$$\frac{e_s}{h_0} = \frac{M_s}{Ph_0} = \frac{23,16}{836,5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,27} = 1,02;$$

$$M_s = M - Pe_{sp} = 23,49 - 836,5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,004 = 23,16 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Полная кривизна:

$$\frac{1}{r} = \frac{23,49}{0,363 \cdot 0,17 \cdot 0,27^3 \cdot 7333 \cdot 10^3} = 0,0026 \text{ 1/м.}$$

Прогиб плиты:

$$f = \frac{5}{48} \cdot 0,0026 \cdot 5,45^2 = 0,0082 \text{ м} = 8,2 \text{ мм} < f_{ult} = 27 \text{ мм.}$$

Жесткость плиты обеспечена.

*Вывод:* для всех случаев ослабления сечения ребристой плиты при фактической нормативной нагрузке 4,26 кПа величина прогиба не превышает предельного значения.

#### 4.4. ВЫВОДЫ

В работе проводилась оценка изменения несущей способности железобетонной ребристой плиты покрытия типовой серии 1.042.1-5.94 в результате пробуривания в теле бетона отверстий под механические крепления (саморезы по бетону) для гидро- и теплоизоляции.

Теоретические расчеты выполнялись для двух случаев крепления саморезов: с глубиной заделки 25 и 50 мм, т.е. насквозь.

Результаты расчетов сравнивались с несущей способностью плиты без ослабления бетонного сечения отверстиями под саморезы.

Обобщенные результаты теоретических расчетов представлены в сводной табл. 4.10 [28].

Расчетный метод показал, что несущая способность ребристой плиты при бурении отверстий насквозь снижается на 6,8%, а при бурении на глубину не более 25 мм – на 3,5%.

Таким образом, исходя из условий обеспечения надежной эксплуатации ребристых плит, глубину отверстий под саморезы рекомендуется принимать не более 25 мм [28].

Стоит учесть, что все расчеты проводились в предположении, что в пробуренные отверстия не установлены саморезы.

В действительности, после заполнения отверстий саморезами фактические значения величины снижения несущей способности будут несколько меньше, так как установленные крепления автоматически включатся в работу конструкции.

#### **4.10. Сводная таблица результатов определения несущей способности элементов ребристой плиты [28]**

Несущая способность плиты без ослабления, кПа	Несущая способность плиты при заделке крепления на глубину 25 мм, кПа	Снижение несущей способности, %	Несущая способность плиты при креплении насквозь, кПа	Снижение несущей способности, %
<b>Расчет прочности нормальных сечений полки плиты</b>				
34,22	34,16	менее 1	34,16	менее 1
<b>Расчет прочности нормальных сечений поперечного ребра</b>				
12,19	12,19	менее 1	12,19	менее 1
<b>Расчет прочности нормальных сечений продольного ребра</b>				
8,074	8,067	менее 1	7,88	2,4
<b>Расчет по терциностойкости продольного ребра</b>				
4,53	4,37	3,5	4,22	6,8

#### **Результаты расчета прогиба плиты:**

а) для плиты без ослабления сечения прогиб составил 6,8 мм, что меньше предельного значения 27 мм;

б) для плиты со сквозными отверстиями под крепление прогиб составил 8,2 мм, что меньше предельного значения 27 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Совершенствование существующих и разработка новых гидроизоляционных систем, отличающихся долговечностью, низкой стоимостью и трудоемкостью их изготовления и обеспечивающих эксплуатационную надежность ограждающих конструкций наземной и подземной частей здания, комфортность пребывания в них людей при энергоэффективной работе систем вентиляции и кондиционирования воздуха, является важнейшей задачей.

При выборе гидроизоляционных систем необходимо учитывать требования к квалификации рабочих и безопасности выполняемых гидроизоляционных работ.

Современные системы из ПВХ-мембран в полной мере отвечают озвученным требованиям, однако широкая область их применения, сопровождающегося большим спектром эксплуатационных воздействий силового и несилового характера, поднимает ряд вопросов, требующих научно-технического сопровождения и дополнительного исследования.

В монографии авторами раскрыто понятие гидроизоляции, приведены общие сведения о существующих гидроизоляционных материалах и системах, условиях их выбора и применения, технологии устройства, их достоинствах и недостатках.

Показаны результаты исследования процесса закачки инъекционного ремонтного состава в двухслойные гидроизоляционные системы из ПВХ-мембран при их непосредственном сжатии. Испытания систем с прослойкой из геотекстиля различной плотности и систем с применением профилированных мембран показали, что инъектирование нагруженных гидроизоляционных карт возможно. В первом случае проницаемость системы определяется толщиной и плотностью геотекстильной прослойки. Величина сжимающей нагрузки, при которой сохраняется проницаемость карт, достаточно велика. Во втором случае система является менее проницаемой для инъекционного состава. Это объясняется смятием выступающих элементов-профилей мембраны, либо их вмятием в поверхность соседней мембраны, что зависит от соотношения твердостей контактирующих материалов. Во всех случаях, безусловно, проникающая способность ремонтного состава определяется его вязкостью.

Описаны исследования и подтверждена высокая степень стойкости ПВХ-мембран к действию механического нагружения и самого инъекционного ремонтного состава. Повышенный интерес представляют результаты кратковременных и длительных испытаний на прочность при срезе трехслойных образцов с геотекстилем различной плотности. Показано, что плотность средней геотекстильной прослойки влияет на характер процесса раз-

рушения. Наибольшее сопротивление срезу наблюдается у образцов с геотекстилем меньшей плотности.

Оценка с позиции термофлуктуационной теории разрушения долговечности при длительной работе системы из мембран на срез, имитирующий ее возможное прокалывание при монтаже и эксплуатации, также отражена в третьей главе монографии и заслуживает особого внимания и дальнейшего исследования.

Рассмотрена задача по определению несущей способности железобетонной ребристой плиты покрытия с учетом ослабления ее сечения отверстиями под элементы механического крепления ПВХ-мембран. Расчеты по двум группам предельных состояний, включающие проверку прочности нормальных и наклонных сечений полки, поперечного и продольного ребра плиты, трещиностойкости и жесткости плиты, выполнялись для двух случаев крепления элементов: с глубиной заделки 25 и 50 мм, т.е. насквозь. Показано, что устройство сквозных отверстий при их заданной численности и глубине незначительно снижает несущую способность ребристой плиты.

Представленные в монографии результаты будут полезны научно-техническим работникам, проектировщикам, аспирантам и студентам технических и строительных вузов. Они помогут специалистам проектировать надежные гидроизоляционные системы, обеспечивающие долговечность строительных объектов в целом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

---

---

1. **Полимерная мембрана ПЛАСТФОЙЛ®** – гидроизоляционный материал нового поколения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 12(191). – С. 19 – 21.
2. **Беляков, В.** Полимерная гидроизоляция ПЛАСТФОЙЛ® vs битумной / В. Беляков // Кровельные и изоляционные материалы. – 2015. – № 2. – С. 15 – 17.
3. **Чубинишвили, А. Т.** Применение специализированных гидроизоляционных мембран в подземном строительстве / А. Т. Чубинишвили // Метро и тоннели. – 2015. – № 6. – С. 31 – 33. – EDN VDCWIX.
4. **Серов, А. Д.** Традиционные и современные методы восстановления гидроизоляции подземной части зданий при реконструкции / А. Д. Серов, И. В. Аксенова // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 5. – С. 62 – 67.
5. **Далинчук, В. С.** Ремонтпригодные гидроизоляционные системы / В. С. Далинчук, М. С. Ильмендеров, Д. В. Поленов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 7(34). – С. 71 – 84.
6. **Мембраны LOGICBASE** успешно прошли испытания по определению прочности при долговременном сжатии (точка доступа: [https://www.tn.ru/about/press/news/membranu\\_logicbase\\_usheshno\\_proshli\\_ispytaniya/](https://www.tn.ru/about/press/news/membranu_logicbase_usheshno_proshli_ispytaniya/))
7. **Юркевич, П.** Гидроизоляция подземных сооружений с использованием геосинтетиков. Два подхода к обеспечению надежности гидроизоляции / П. Юркевич. – М. : Информационно-издательский центр «ТИМР». – 1999. – 37 с.
8. **Гидроизоляция** подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте : учебное пособие / А. А. Шилин, М. В. Зайцев, И. А. Золотарев, О. Б. Ляпидевская. – Тверь : Изд-во «Русская торговая марка», 2003.
9. **Румянцев, Б. М.** Системы изоляции строительных конструкций : учебное пособие / Б. М. Румянцев, О. Б. Ляпидевская, А. Д. Жуков. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. – 596 с.
10. **Леденев, В. В.** Повышение надежности и долговечности зданий и сооружений / В. В. Леденев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 983 – 987. – EDN KASVIN.
11. **Римшин, В. И.** Большая строительная энциклопедия / В. И. Римшин, Е. С. Кецко, П. С. Трунтов. – URL : <https://stroj.gov.ru/encyclopedia/?ysclid=ln4mbhfmo9459185242>

12. **ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020.** Здания и сооружения. Общие термины.
13. **Езерский, В. А.** Расчет и проектирование пароизоляции наружных стен в условиях воздействия солей / В. А. Езерский, Н. В. Кузнецова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 704 – 712. – EDN PWWUZF.
14. **Долженкова, М. В.** Мягкая кровля: подбор материала, выполнение / М. В. Долженкова, А. В. Горюшинский // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 28 – 33. – EDN OYUXXZ.
15. **Ярцев, В. П.** Влияние эксплуатационных факторов на долговечность кровельных битумных материалов / В. П. Ярцев, М. В. Долженкова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2004. – Т. 10, № 4-2. – С. 1088 – 1093. – EDN PWWXED.
16. **Загородникова, М. А.** Оценка долговечности и химической стойкости ПВХ-мембран в конструкциях животноводческих комплексов / М. А. Загородникова, В. П. Ярцев, П. В. Монастырев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 657 – 665. – DOI : 10.17277/vestnik.2016.04.pp.657-665. – EDN XCQYNL.
17. **Zagorodnikova, M. A.** Strength and Durability of Roofing PVC Membranes in the Conditions of Climate Impacts / M. A. Zagorodnikova, V. P. Yartsev, V. G. Rupyshev // Advanced Materials and Technologies. – 2019. – No. 2. – P. 41 – 47. – DOI : 10.17277/amt.2019.02. pp. 041-047. – EDN IQLTQK.
18. **Загородникова, М. А.** Работоспособность гидроизоляционных ПВХ-мембран в конструкциях различного назначения : монография / М. А. Загородникова, В. П. Ярцев. – Тамбов : ТГТУ, 2018. – 84 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/319598> (дата обращения: 05.10.2023).
19. **Где применить гидроизоляцию PLASTFOIL** (Официальный сайт: <https://plastfoil.ru/primenenie/>).
20. **Цыбенко, А. В.** Исследование: стойкость гидроизоляционных материалов к воздействию давления на неровной поверхности / А. В. Цыбенко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 4(273). – С. 67 – 71. – EDN TJGYWR.
21. **Косыгина, Н. Н.** Анализ причин отказа защиты заглубленного сооружения от грунтовых вод на практическом примере / Н. Н. Косыгина, К. А. Косыгина, Р. А. Белов // Молодой ученый. – 2022. – № 12(407). – С. 41 – 48. – URL : <https://moluch.ru/archive/407/89771/> (дата обращения: 29.09.2023).
22. **Далинчук, В. С.** Ремонтпригодные гидроизоляционные системы / В. С. Далинчук, М. С. Ильмендеров, Д. В. Поленов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 7(34). – С. 71 – 84. – EDN UKTMSP.



23. **Работа** полимерного рулонного гидроизоляционного материала LOGICBASE™ на многоосное растяжение / А. В. Цыбенко, В. Н. Шалимов, И. Н. Гоглев, С. А. Логинова // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 3. – С. 74 – 79. – DOI : 10.33622/0869-7019.2023.03.74-79. – EDN XCANYN.

24. **Исследование** работы ПВХ-мембран для инженерной гидроизоляции в условиях повышенной сейсмичности / В. Н. Шалимов, А. В. Цыбенко, И. Н. Гоглев, С. А. Логинова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – Т. 50, № 1. – С. 229 – 237. – DOI : 10.21822/2073-6185-2023-50-1-229-237. – EDN VKEXTY.

25. **Цыбенко, А. В.** Исследование водонепроницаемости герметичных секций гидроизоляции из полимерных мембран и гидрошпонок / А. В. Цыбенко // Фундаменты. – 2021. – № 1(3). – С. 72 – 75. – EDN MZSEOW.

26. **Оценка** ремонтпригодности гидроизоляционных систем, выполненных из ПВХ-мембран / С. А. Мамонтов, М. А. Загородникова, В. П. Ярцев, А. С. Погорелов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы 6 Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ, Тамбов, 22 – 25 мая 2019 года. – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2019. – С. 277 – 281. – EDN LDCVAB.

27. **Zagorodnikova, M. A.** Assessment of maintainability and resistance to external influences of PVC waterproofing membrane systems / M. A. Zagorodnikova, S. A. Mamontov, V. P. Yartsev // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety – 2. Building Materials and Products, Chelyabinsk, 25 – 27 сентября 2019 года. Vol. 687, 2. – Chelyabinsk : Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 022012. – DOI : 10.1088/1757-899X/687/2/022012. – EDN MYFWGA.

28. **Мамонтов, С. А.** Оценка несущей способности железобетонной ребристой плиты покрытия с отверстиями под механические крепления для тепло- и гидроизоляции / С. А. Мамонтов, А. А. Мамонтов, В. П. Ярцев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 23 – 25 сентября 2020 года. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 218 – 223. – EDN UDOOYU.

29. **ГОСТ 21506–2013.** Плиты перекрытий железобетонные ребристые высотой 300 мм для зданий и сооружений. Технические условия.

30. **Серия 1.042.1-5.94.** Сборные железобетонные ребристые плиты высотой 300 мм для перекрытий многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий. – Выпуск 1.

31. **Серия 1.042.1-5.94.** Сборные железобетонные ребристые плиты высотой 300 мм для перекрытий многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий. – Выпуск 2.

32. **СНиП 2.03.01–84.** Бетонные и железобетонные конструкции.

33. **Пособие** по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СП 52-102-2004).

34. **СП 63.13330.2018.** Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003.

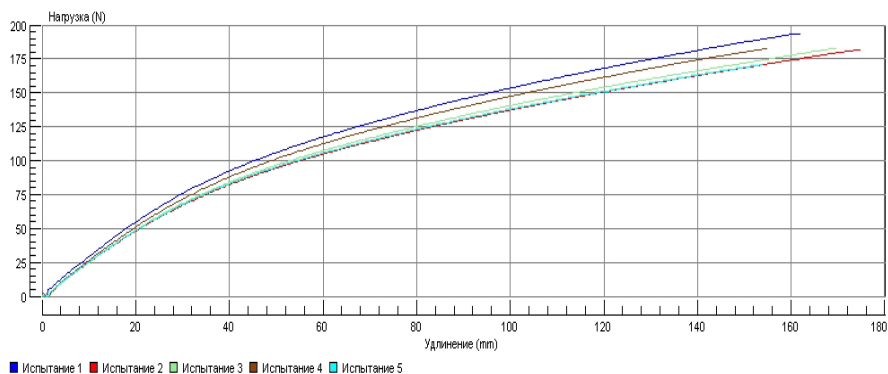
## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

### ДИАГРАММЫ «СИЛА–УДЛИНЕНИЕ» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ПВХ-МЕМБРАН PLASTFOIL® Geo

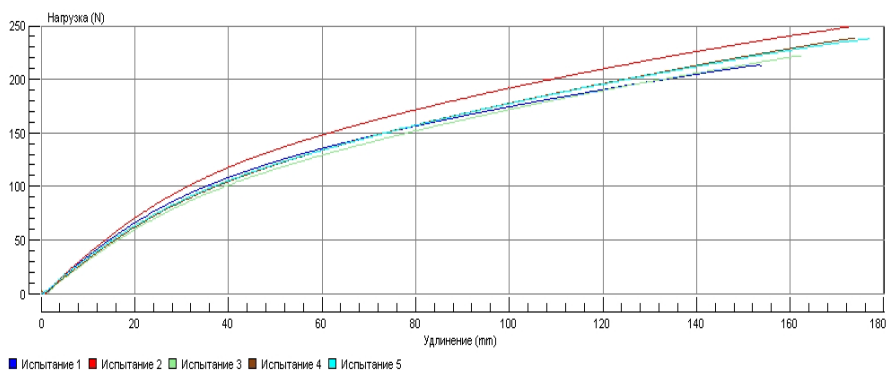
1. Определение условной прочности и относительного удлинения при разрыве образцов-лопаток (ГОСТ 31899–2011, Метод В)

1.1. Без воздействий; Толщина образца – 1,5 мм.



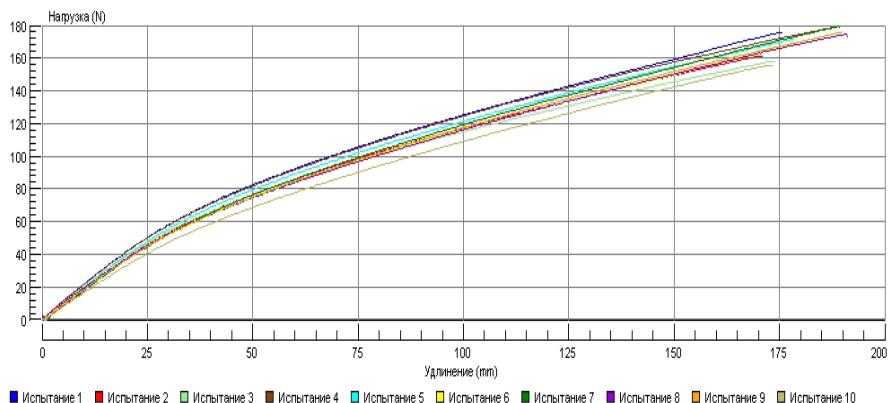
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	193,710	9,114	21,523	489,529	161,624	161,867
2	181,800	8,333	20,200	528,979	174,656	174,656
3	182,670	8,704	20,297	513,042	169,304	169,544
4	182,270	8,772	20,252	467,657	154,352	154,834
5	170,500	8,469	18,944	455,938	153,313	153,793
Мин.	170,500	8,333	18,944	455,938	153,313	153,793
Среднее	182,190	8,678	20,243	491,029	162,650	162,939
Макс.	193,710	9,114	21,523	528,979	174,656	174,656
Станд. отклонение	8,212	0,301	0,912	30,433	9,294	9,102
Козфф. вариации	4,507	3,468	4,507	6,198	5,714	5,586
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	182,190	8,678	20,243	491,029	162,650	162,939
В.Д.П. (верх. довер. предел)	182,190	8,678	20,243	491,029	162,650	162,939

## 1.2. Без воздействий; Толщина образца – 2,0 мм.



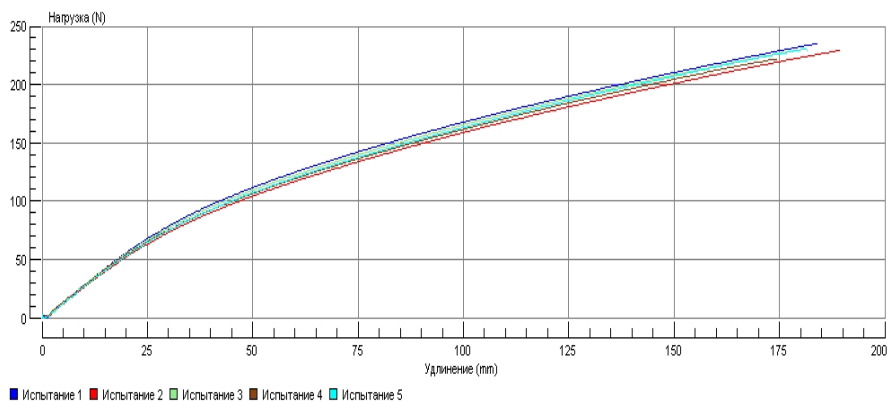
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	213.070	8.593	17.756	456.333	153.300	153.783
2	248.710	9.229	20.726	522.328	172.446	172.446
3	221.670	7.595	18.472	490.400	161.858	162.344
4	238.660	7.907	19.888	526.670	173.830	173.830
5	237.890	8.173	19.824	526.076	176.790	176.790
Мин.	213.070	7.595	17.756	456.333	153.300	153.783
Среднее	232.000	8.299	19.333	504.361	167.645	167.839
Макс.	248.710	9.229	20.726	526.670	176.790	176.790
Станд. отклонение	14.347	0.636	1.196	30.796	9.801	9.553
Козфф. вариации	6.184	7.659	6.184	6.106	5.846	5.691
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	214.186	7.510	17.849	466.124	155.476	155.978
В.Д.П. (верх. довер. предел)	249.814	9.088	20.818	542.599	179.814	179.699

1.3. Внешнее давление  $146 \text{ т/м}^2$  ( $1,432 \text{ МПа}$ ) после контакта с ремонтным составом; Толщина образца –  $1,5 \text{ мм}$ .



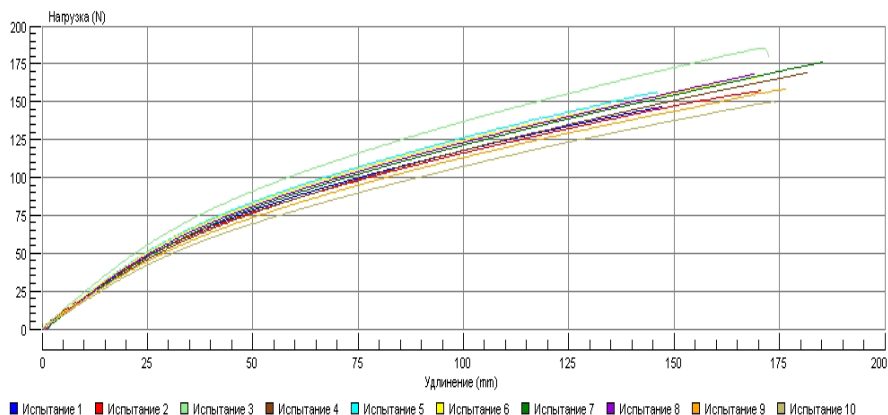
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформ. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	175.620	6.731	19.513	531.750	175.507	175.507
2	161.410	6.422	17.934	517.690	170.866	170.866
3	158.160	6.488	17.573	517.068	173.840	173.840
4	178.960	6.814	19.884	559.875	188.163	188.163
5	171.550	6.515	19.061	530.158	178.276	178.276
6	169.890	5.968	18.877	544.750	179.797	179.797
7	179.230	5.934	19.914	572.246	188.920	189.159
8	174.640	5.708	19.404	578.357	190.888	191.128
9	176.000	6.009	19.556	564.739	189.797	189.797
10	155.780	5.495	17.309	515.405	173.268	173.268
Мин.	155.780	5.495	17.309	515.405	170.866	170.866
Среднее	170.124	6.209	18.903	543.204	180.932	180.980
Макс.	179.230	6.814	19.914	578.357	190.888	191.128
Станд. отклонение Коэфф. вариации	8.648	0.446	0.961	24.110	7.760	7.822
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	163.938	5.889	18.215	525.957	175.381	175.385
В.Д.П. (верх. довер. предел)	176.310	6.528	19.590	560.451	186.483	186.576

1.4. Внешнее давление  $146 \text{ т/м}^2$  ( $1,432 \text{ МПа}$ ) после контакта с ремонтным составом; Толщина образца –  $2,0 \text{ мм}$ .



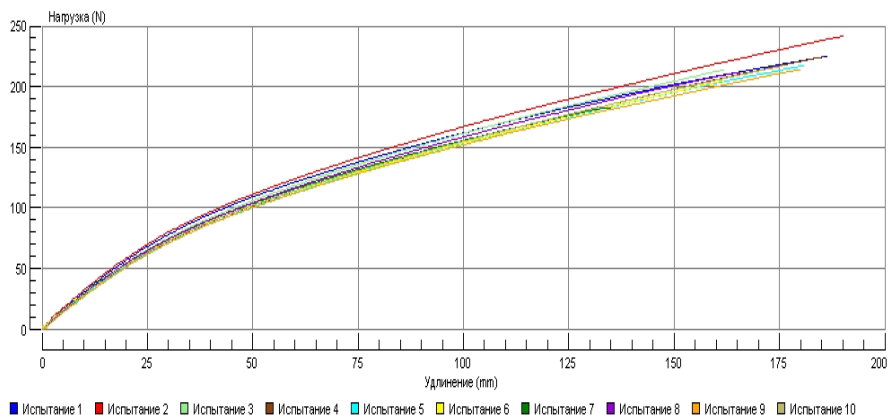
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформ. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	234.970	7.122	19.581	557.144	183.888	183.888
2	229.240	6.489	19.103	573.040	189.174	189.174
3	229.270	6.809	19.106	541.731	178.837	178.837
4	221.950	6.885	18.496	518.594	174.257	174.257
5	230.230	6.911	19.186	548.494	181.003	181.487
Мин.	221.950	6.489	18.496	518.594	174.257	174.257
Среднее	229.132	6.843	19.094	547.801	181.432	181.529
Макс.	234.970	7.122	19.581	573.040	189.174	189.174
Станд. отклонение	4.661	0.229	0.388	20.091	5.576	5.571
Кoeff. вариации	2.034	3.353	2.034	3.668	3.073	3.069
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	223.345	6.558	18.612	522.854	174.509	174.612
В.Д.П. (верх. довер. предел)	234.919	7.128	19.577	572.747	188.355	188.446

### 1.5. Внешнее давление 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа); Толщина образца – 1,5 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	146.330	6.788	16.259	437.239	147.012	147.255
2	157.120	6.330	17.458	515.544	170.155	170.396
3	185.480	7.671	20.609	509.057	171.066	172.516
4	169.020	6.149	18.780	550.060	181.549	181.549
5	156.170	7.410	17.352	441.698	145.784	146.027
6	166.480	6.966	18.498	514.998	170.029	170.270
7	176.060	6.387	19.562	560.879	185.121	185.121
8	168.150	6.803	18.683	512.306	169.061	169.061
9	158.370	5.985	17.597	524.478	176.252	176.496
10	149.980	5.701	16.664	515.888	173.434	173.918
Мин.	146.330	5.701	16.259	437.239	145.784	146.027
Среднее	163.316	6.619	18.146	508.215	168.946	169.261
Макс.	185.480	7.671	20.609	560.879	185.121	185.121
Станд. отклонение	12.018	0.625	1.335	40.038	12.990	12.968
Кэфф. вариации	7.359	9.446	7.359	7.878	7.689	7.662
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	154.719	6.172	17.191	479.573	159.653	159.984
В.Д.П. (верх. довер. предел)	171.913	7.066	19.101	536.856	178.239	178.538

## 1.6. Внешнее давление 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа); Толщина образца – 2,0 мм.



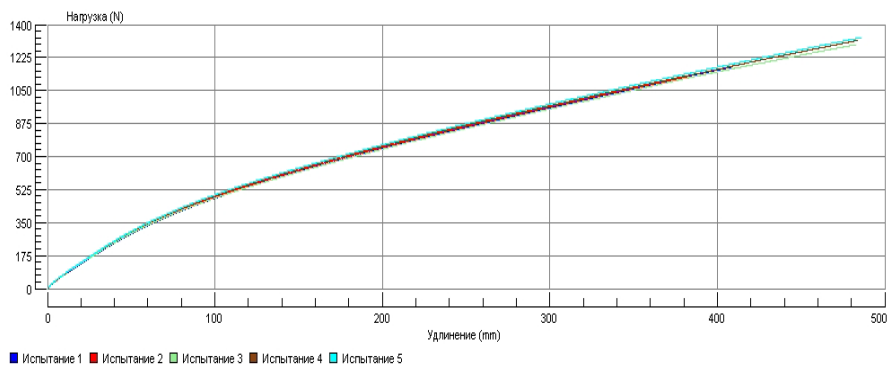
■ Испытание 1 ■ Испытание 2 ■ Испытание 3 ■ Испытание 4 ■ Испытание 5 ■ Испытание 6 ■ Испытание 7 ■ Испытание 8 ■ Испытание 9 ■ Испытание 10

№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	224.840	6.857	18.737	563.952	186.191	186.191
2	241.310	6.877	20.109	570.873	190.035	190.035
3	213.460	6.608	17.788	489.131	161.440	161.682
4	224.630	6.244	18.719	561.751	185.409	185.409
5	217.140	6.055	18.095	547.602	180.738	180.738
6	204.730	6.491	17.061	482.867	161.867	161.867
7	182.410	6.777	15.201	405.715	133.886	134.852
8	211.480	6.670	17.623	499.215	164.803	165.768
9	213.490	6.219	17.791	543.994	179.547	179.790
10	216.630	6.579	18.053	530.782	175.186	175.670
Мин.	182.410	6.055	15.201	405.715	133.886	134.852
Среднее	215.012	6.538	17.918	519.588	171.910	172.200
Макс.	241.310	6.877	20.109	570.873	190.035	190.035
Станд. отклонение	15.179	0.283	1.265	51.142	16.893	16.615
Козф. вариации	7.060	4.331	7.060	9.843	9.827	9.649
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	204.153	6.335	17.013	483.002	159.825	160.314
В.Д.П. (верх. довер. предел)	225.871	6.740	18.823	556.174	183.995	184.086



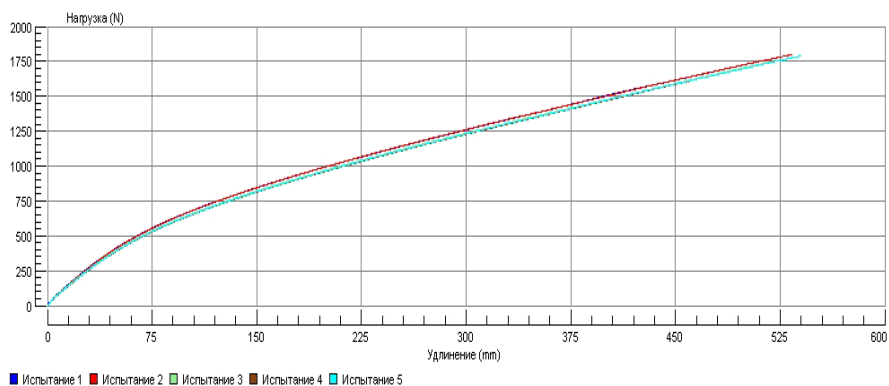
2. Определение максимальной силы растяжения и относительного удлинения при максимальной силе растяжения образцов-полосок (ГОСТ 31899–2011, Метод А)

2.1. Без воздействий; Толщина образца – 1,5 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	1172.700	8.151	15.636	339.430	407.644	407.980
2	1123.700	8.510	14.983	318.206	381.847	381.896
3	1293.000	7.853	17.240	402.007	482.428	482.669
4	1316.000	8.155	17.547	402.794	483.403	483.500
5	1330.100	8.142	17.735	404.570	485.537	485.780
Мин.	1123.700	7.853	14.983	318.206	381.847	381.896
Среднее	1247.100	8.162	16.628	373.401	448.172	448.365
Макс.	1330.100	8.510	17.735	404.570	485.537	485.780
Станд. отклонение	92.879	0.233	1.238	41.395	49.629	49.649
Кэфф. вариации	7.448	2.854	7.448	11.086	11.074	11.073
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	1131.777	7.873	15.090	322.003	386.550	386.718
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1362.422	8.452	18.166	424.800	509.794	510.012

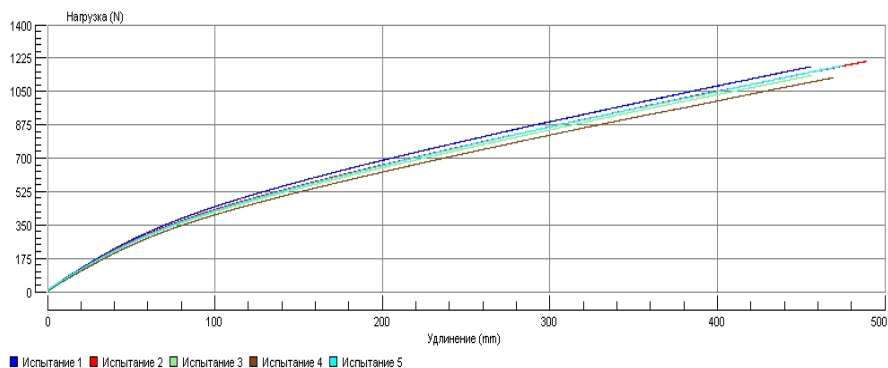
## 2.2. Без воздействий; Толщина образца – 2,0 мм.



■ Испытание 1 ■ Испытание 2 ■ Испытание 3 ■ Испытание 4 ■ Испытание 5

№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	1749.400	8.273	17.494	424.890	509.868	509.868
2	1800.100	8.217	18.001	444.514	533.497	533.497
3	1741.200	7.765	17.412	430.336	516.499	516.594
4	1608.000	8.048	16.080	382.715	459.369	459.760
5	1788.700	7.708	17.887	449.598	539.517	539.711
Мин.	1608.000	7.708	16.080	382.715	459.369	459.760
Среднее	1737.480	8.002	17.375	426.411	511.750	511.886
Макс.	1800.100	8.273	18.001	449.598	539.517	539.711
Станд. отклонение	76.593	0.257	0.766	26.421	31.677	31.562
Кэфф. вариации	4.408	3.212	4.408	6.196	6.190	6.166
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	1642.379	7.683	16.424	393.605	472.418	472.697
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1832.581	8.321	18.326	459.216	551.082	551.075

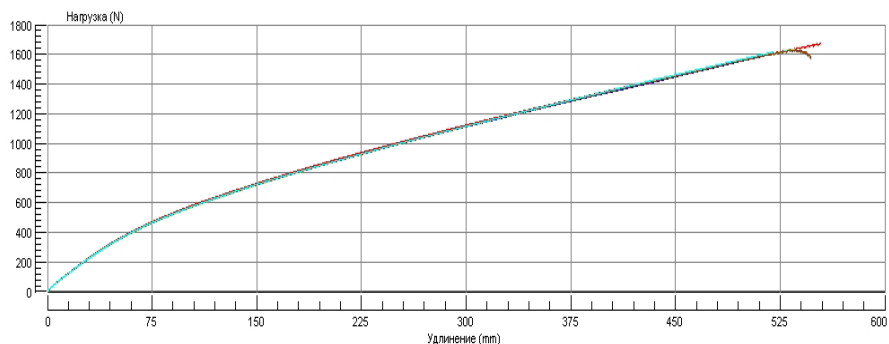
2.3. Внешнее давление  $146 \text{ т/м}^2$  ( $1,432 \text{ МПа}$ ) после контакта с ремонтным составом; Толщина образца –  $1,5 \text{ мм}$ .



■ Испытание 1 ■ Испытание 2 ■ Испытание 3 ■ Испытание 4 ■ Испытание 5

№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	1178.400	7.330	15.712	379.419	455.353	455.546
2	1207.500	6.906	16.100	407.199	488.661	488.855
3	1133.700	6.869	15.116	380.306	456.412	456.557
4	1121.800	6.519	14.957	390.688	469.242	469.387
5	1183.400	6.843	15.779	395.008	474.009	474.107
Мин.	1121.800	6.519	14.957	379.419	455.353	455.546
Среднее	1164.960	6.894	15.533	390.524	468.735	468.890
Макс.	1207.500	7.330	16.100	407.199	488.661	488.855
Станд. отклонение	35.952	0.289	0.479	11.466	13.748	13.750
Кэфф. вариации	3.086	4.191	3.086	2.936	2.933	2.932
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	1120.320	6.535	14.938	376.287	451.665	451.818
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1209.600	7.252	16.128	404.761	485.806	485.963

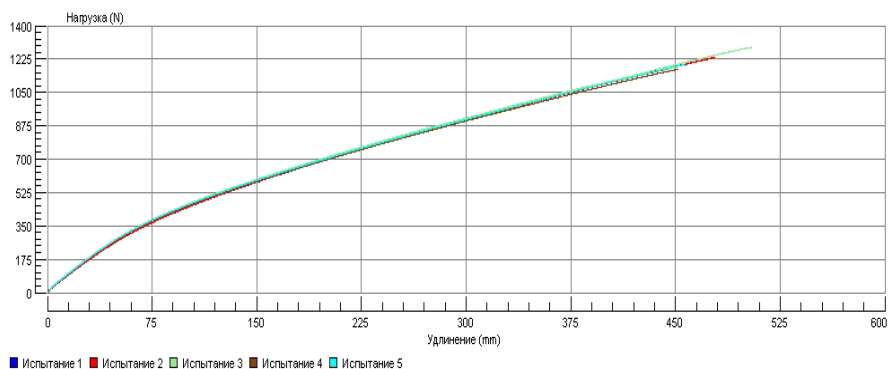
2.4. Внешнее давление 146 т/м<sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом; Толщина образца – 2,0 мм.



■ Испытание 1 ■ Испытание 2 ■ Испытание 3 ■ Испытание 4 ■ Испытание 5

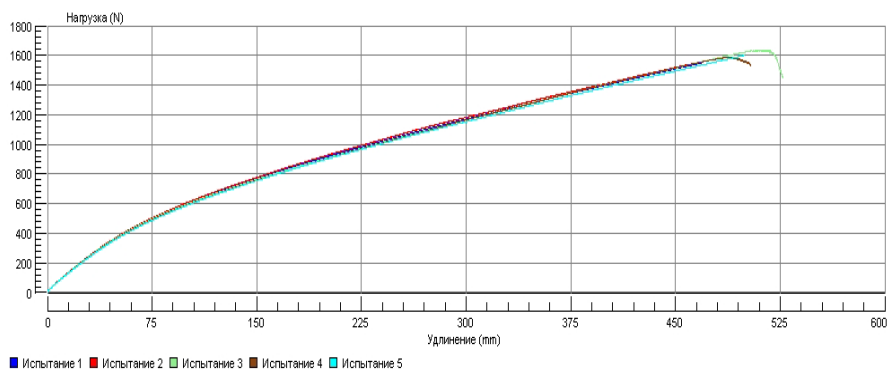
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	1581.000	6.822	15.810	424.778	509.761	510.150
2	1674.300	6.546	16.743	461.779	554.158	554.158
3	1636.800	6.414	16.368	445.098	534.163	535.228
4	1629.600	6.491	16.296	445.900	535.114	547.230
5	1615.800	6.523	16.158	433.313	520.003	520.198
Мин.	1581.000	6.414	15.810	424.778	509.761	510.150
Среднее	1627.500	6.559	16.275	442.174	530.640	533.393
Макс.	1674.300	6.822	16.743	461.779	554.158	554.158
Станд. отклонение	33.839	0.155	0.338	14.035	16.842	18.305
Козф. вариации	2.079	2.363	2.079	3.174	3.174	3.432
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	1585.484	6.367	15.855	424.747	509.728	510.664
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1669.516	6.752	16.695	459.600	551.551	556.122

## 2.5. Внешнее давление 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа); Толщина образца – 1,5 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	1217.400	7.263	16.232	389.379	467.630	467.823
2	1234.500	7.197	16.460	398.232	477.932	478.172
3	1287.000	7.458	17.160	420.199	504.262	504.405
4	1171.200	7.588	15.616	376.245	451.526	451.719
5	1194.400	7.746	15.925	379.322	455.230	456.247
Мин.	1171.200	7.197	15.616	376.245	451.526	451.719
Среднее	1220.900	7.450	16.279	392.675	471.316	471.673
Макс.	1287.000	7.746	17.160	420.199	504.262	504.405
Станд. отклонение	43.985	0.227	0.586	17.660	21.173	21.004
Кэфф. вариации	3.603	3.044	3.603	4.497	4.492	4.453
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	1166.286	7.169	15.550	370.747	445.026	445.594
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1275.514	7.732	17.007	414.603	497.606	497.752

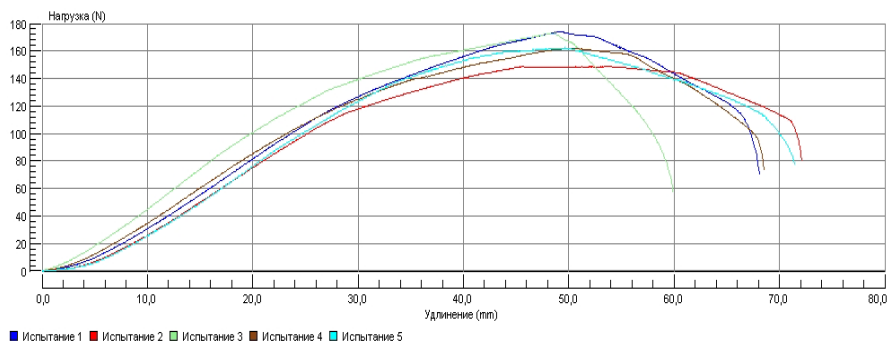
## 2.6. Внешнее давление 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа); Толщина образца – 2,0 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформ. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	1548.400	7.519	15.484	390.399	468.526	468.722
2	1589.500	7.513	15.895	405.246	486.342	486.734
3	1637.900	7.213	16.379	427.923	513.549	526.887
4	1587.400	7.243	15.874	407.986	489.606	503.836
5	1599.700	7.125	15.997	415.900	499.103	499.201
Мин.	1548.400	7.125	15.484	390.399	468.526	468.722
Среднее	1592.580	7.323	15.926	409.491	491.425	497.076
Макс.	1637.900	7.519	16.379	427.923	513.549	526.887
Станд. отклонение	31.987	0.182	0.320	13.835	16.598	21.505
Коэфф. вариации	2.009	2.483	2.009	3.379	3.377	4.326
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	1552.863	7.097	15.529	392.313	470.817	470.375
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1632.297	7.548	16.323	426.669	512.034	523.778

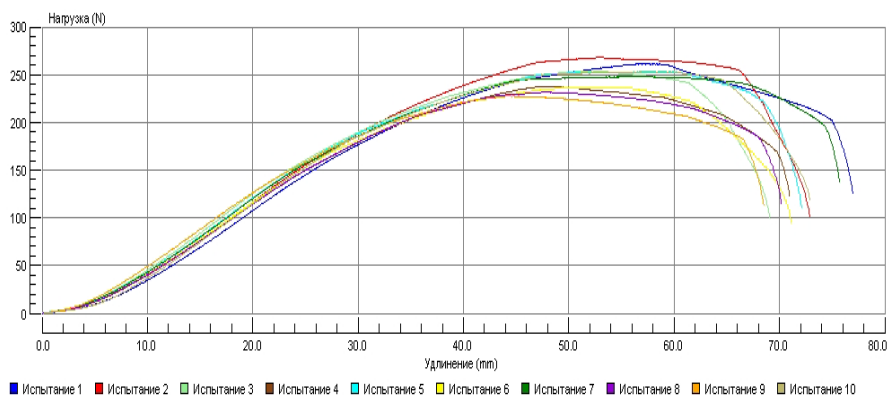
### 3. Определение сопротивления разрыву образцов-трапеций (ГОСТ Р 56583–2015; EN 12310-2:2000)

#### 3.1. Без воздействий; Толщина образца – 1,5 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформ. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	173,810	8,252	2,317	41,016	49,221	68,079
2	148,660	7,967	1,982	44,826	53,794	72,120
3	172,690	9,324	2,303	40,288	48,369	59,880
4	162,110	8,327	2,161	41,060	50,182	68,528
5	162,350	7,583	2,165	41,301	49,594	71,422
Мин.	148,660	7,583	1,982	40,288	48,369	59,880
Среднее	163,924	8,291	2,186	41,698	50,232	68,006
Макс.	173,810	9,324	2,317	44,826	53,794	72,120
Станд. отклонение	10,165	0,647	0,136	1,789	2,097	4,871
Кэфф. вариации	6,201	7,808	6,201	4,290	4,174	7,163
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	163,924	8,291	2,186	41,698	50,232	68,006
В.Д.П. (верх. довер. предел)	163,924	8,291	2,186	41,698	50,232	68,006

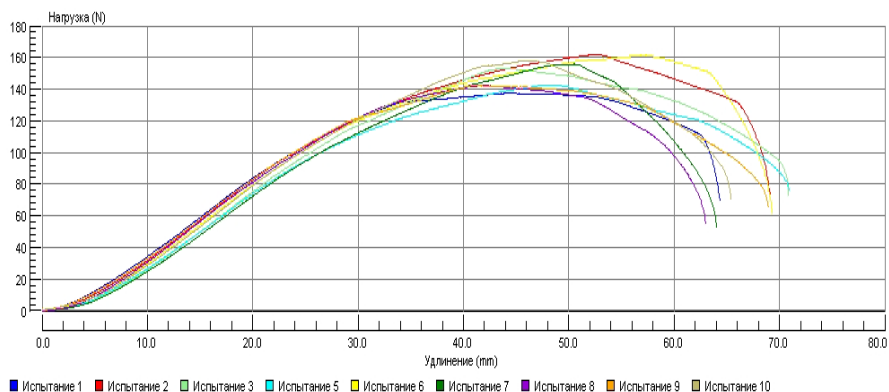
### 3.2. Без воздействий; Толщина образца – 2,0 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	261.180	8.605	2.612	47.517	57.020	76.953
2	267.970	8.949	2.680	44.041	52.849	72.864
3	254.270	9.354	2.543	43.547	52.259	69.075
4	237.640	8.446	2.376	39.524	47.445	70.955
5	253.410	8.780	2.534	47.233	56.680	72.107
6	236.440	9.241	2.364	43.883	52.660	71.134
7	247.840	8.691	2.478	47.348	56.865	75.702
8	231.670	8.427	2.317	39.722	47.672	70.183
9	227.610	9.411	2.276	36.819	44.185	68.509
10	253.020	9.599	2.530	47.365	56.895	72.876
Мин.	227.610	8.427	2.276	36.819	44.185	68.509
Среднее	247.105	8.950	2.471	43.700	52.453	72.036
Макс.	267.970	9.599	2.680	47.517	57.020	76.953
Станд. отклонение	13.257	0.425	0.133	3.867	4.648	2.700
Козфф. вариации	5.365	4.746	5.365	8.849	8.862	3.749
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	237.621	8.646	2.376	40.934	49.128	70.104
В.Д.П. (верх. довер. предел)	256.589	9.254	2.566	46.466	55.778	73.968

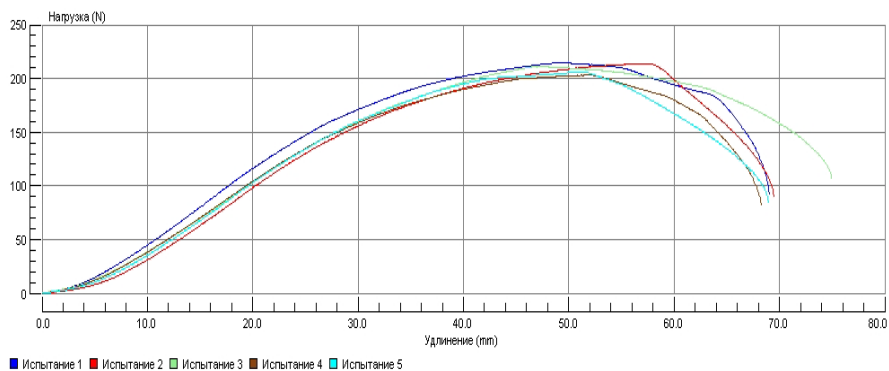


3.3. Внешнее давление 146 т/м<sup>2</sup> (1,432 МПа) после контакта с ремонтным составом; Толщина образца – 1,5 мм.



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	137.350	7.961	1.831	36.827	44.192	64.324
2	162.010	8.363	2.160	43.328	52.556	69.102
3	153.090	8.025	2.041	36.501	43.804	70.871
4	182.300	8.002	2.431	57.470	68.974	80.879
5	142.380	7.664	1.898	39.545	47.454	70.916
6	161.500	8.090	2.153	47.819	57.383	69.283
7	155.800	7.799	2.077	42.038	50.496	64.034
8	142.380	8.070	1.898	34.699	41.644	62.987
9	142.350	8.061	1.898	34.223	41.068	68.969
10	158.020	7.706	2.107	38.053	45.664	65.396
Мин.	137.350	7.664	1.831	34.223	41.068	62.987
Среднее	150.542	7.971	2.007	39.226	47.140	67.320
Макс.	162.010	8.363	2.160	47.819	57.383	70.916
Станд. отклонение	9.461	0.219	0.126	4.455	5.416	3.113
Кэфф. вариации	6.284	2.745	6.284	11.356	11.490	4.625
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	143.270	7.803	1.910	35.802	42.977	64.927
В.Д.П. (верх. довер. предел)	157.814	8.139	2.104	42.650	51.303	69.713

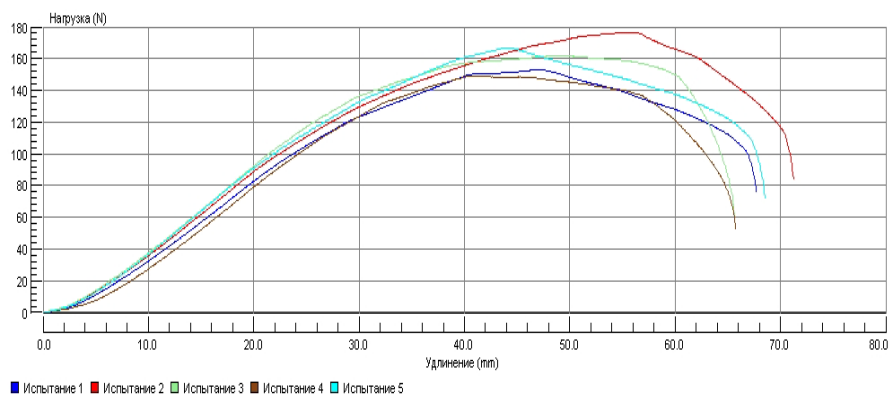
3.4. Внешнее давление  $146 \text{ т/м}^2$  ( $1,432 \text{ МПа}$ ) после контакта с ремонтным составом; Толщина образца –  $2,0 \text{ мм}$ .



■ Испытание 1 ■ Испытание 2 ■ Испытание 3 ■ Испытание 4 ■ Испытание 5

№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	214.630	8.767	2.146	40.576	49.243	69.052
2	213.960	7.883	2.140	47.679	57.236	69.457
3	211.860	7.345	2.119	39.091	46.923	74.939
4	203.070	7.563	2.031	43.365	52.040	68.259
5	206.230	7.532	2.062	42.562	51.074	68.936
Мин.	203.070	7.345	2.031	39.091	46.923	68.259
Среднее	209.950	7.818	2.100	42.655	51.303	70.128
Макс.	214.630	8.767	2.146	47.679	57.236	74.939
Станд. отклонение	5.070	0.565	0.051	3.270	3.848	2.723
Коэфф. вариации	2.415	7.221	2.415	7.667	7.500	3.883
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	203.655	7.117	2.037	38.594	46.525	66.747
В.Д.П. (верх. довер. предел)	216.245	8.519	2.162	46.715	56.081	73.510

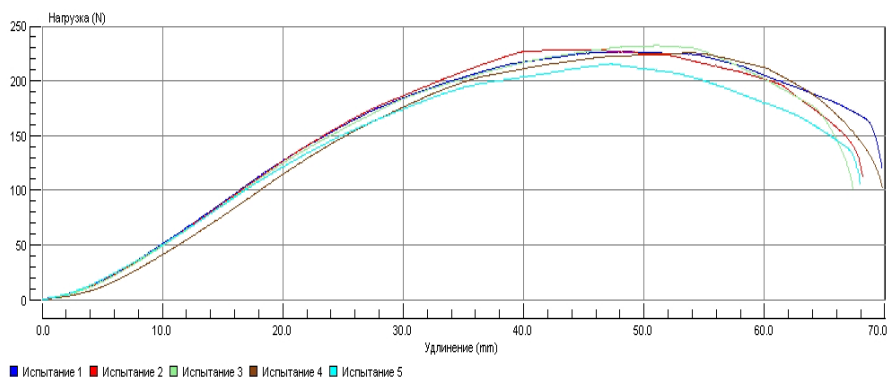
### 3.5. Внешнее давление 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа); Толщина образца – 1,5 мм.



■ Испытание 1 ■ Испытание 2 ■ Испытание 3 ■ Испытание 4 ■ Испытание 5

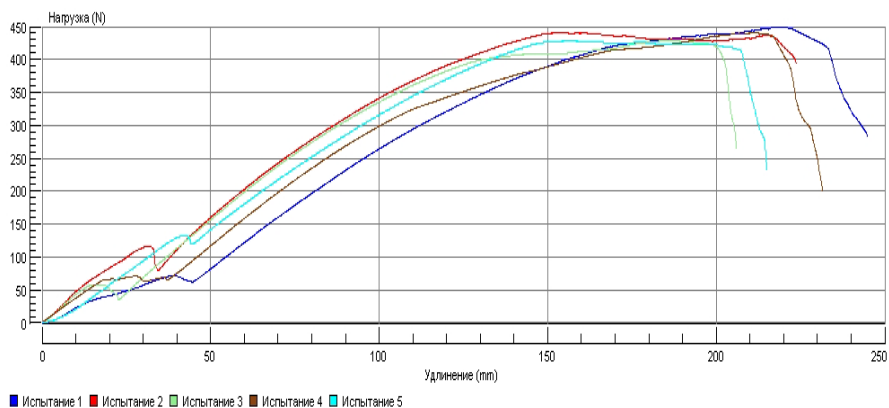
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	153.130	8.099	2.042	39.186	47.026	67.716
2	176.690	8.529	2.356	46.286	55.543	71.231
3	161.940	8.779	2.159	40.553	48.664	65.673
4	149.010	7.896	1.987	33.981	40.777	65.730
5	166.910	8.828	2.225	36.687	44.028	68.523
Мин.	149.010	7.896	1.987	33.981	40.777	65.673
Среднее	161.536	8.426	2.154	39.339	47.208	67.775
Макс.	176.690	8.828	2.356	46.286	55.543	71.231
Станд. отклонение	11.026	0.414	0.147	4.623	5.547	2.297
Козфф. вариации	6.825	4.912	6.825	11.752	11.751	3.389
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	147.846	7.912	1.971	33.598	40.320	64.922
В.Д.П. (верх. довер. предел)	175.226	8.940	2.336	45.079	54.096	70.627

### 3.6. Внешнее давление 306 т/м<sup>2</sup> (3 МПа); Толщина образца – 2,0 мм.



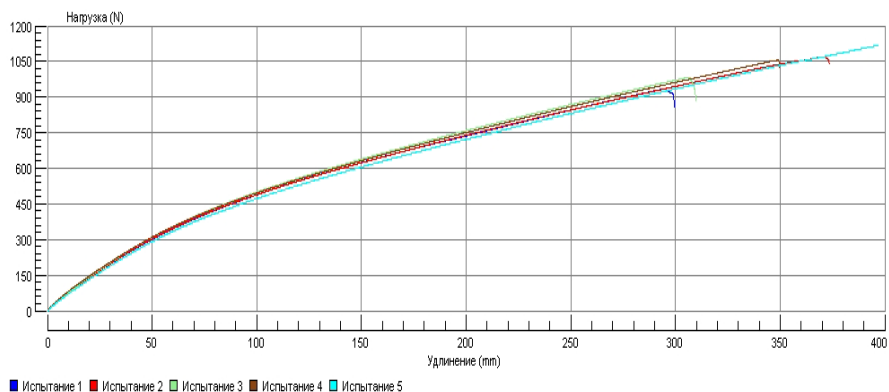
№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	226.800	8.854	2.268	40.572	48.705	69.763
2	228.190	9.005	2.282	37.692	45.233	68.146
3	232.160	8.969	2.322	42.639	51.169	67.351
4	225.650	8.945	2.256	44.822	53.793	69.809
5	215.370	8.296	2.154	39.433	47.339	67.959
Мин.	215.370	8.296	2.154	37.692	45.233	67.351
Среднее	225.634	8.814	2.256	41.032	49.248	68.606
Макс.	232.160	9.005	2.322	44.822	53.793	69.809
Станд. отклонение	6.242	0.295	0.062	2.778	3.332	1.117
Коефф. вариации	2.766	3.346	2.766	6.771	6.765	1.628
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	217.884	8.448	2.179	37.582	45.111	67.219
В.Д.П. (верх. довер. предел)	233.384	9.180	2.334	44.481	53.384	69.993

#### 4. Определение сопротивления раздиру сварного соединения по ГОСТ Р 56584–2015 (EN12316-2:2013)



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	449.740	6.364	5.997	182.133	218.560	244.878
2	440.340	5.002	5.871	117.117	153.277	223.723
3	429.260	7.415	5.723	144.480	185.974	205.984
4	440.200	6.742	5.869	176.042	211.272	231.541
5	428.400	6.079	5.712	130.034	156.226	215.005
Мин.	428.400	5.002	5.712	117.117	153.277	205.984
Среднее	437.588	6.321	5.835	149.961	185.062	224.226
Макс.	449.740	7.415	5.997	182.133	218.560	244.878
Станд. отклонение	8.886	0.891	0.118	28.378	30.215	14.984
Козфф. вариации	2.031	14.094	2.031	18.923	16.327	6.683
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	426.555	5.214	5.687	114.726	147.546	205.621
В.Д.П. (верх. довер. предел)	448.621	7.427	5.982	185.196	222.578	242.831

5. Определение прочности на сдвиг сварного соединения (прочности сварного шва на разрыв) по ГОСТ Р 56911–2016/EN 12317-2:2010



№ испытания	Нагрузка макс. (N)	Юнга (N/mm <sup>2</sup> )	Напряж. макс. (N/mm <sup>2</sup> )	Отн. деформац. @ макс. (%)	Удлинение @ макс. (mm)	Удлинение @ разруш. (mm)
1	935.000	8.870	12.467	245.640	294.795	299.316
2	1069.900	8.835	14.265	309.034	370.861	373.421
3	983.000	9.222	13.107	255.348	306.437	309.758
4	1055.700	8.923	14.076	290.739	348.913	349.685
5	1117.100	8.238	14.895	330.323	396.436	396.580
Мин.	935.000	8.238	12.467	245.640	294.795	299.316
Среднее	1032.140	8.818	13.762	286.217	343.488	345.752
Макс.	1117.100	9.222	14.895	330.323	396.436	396.580
Станд. отклонение	72.543	0.359	0.967	35.657	42.796	41.281
Кэфф. вариации	7.028	4.067	7.028	12.458	12.459	11.939
Н.Д.П. (нижн. доверит. предел)	942.067	8.372	12.561	241.943	290.351	294.496
В.Д.П. (верх. довер. предел)	1122.213	9.263	14.963	330.490	396.626	397.008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОИТЕЛЬНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ .....	5
1.1. Понятие гидроизоляции .....	5
1.2. Классификация влаги, влияющей на строительные конструкции .....	6
1.3. Мероприятия по защите строительных конструкций от увлажнения .....	9
1.4. Поливинилхлоридные мембраны и гидроизоляционные системы на их основе .....	17
1.5. Выводы .....	22
2. ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ИЗ ПВХ-МЕМБРАН .....	23
2.1. Материалы и оборудование .....	23
2.1.1. Исходные материалы .....	23
2.1.2. Приборы и приспособления для проведения испытаний ...	30
2.2. Изготовление макетов гидроизоляционных карт .....	34
2.3. Проведение испытаний .....	35
2.3.1. Проверка вакуумом воздухонепроницаемости макетов гидроизоляционных карт, находящихся под нагрузкой .....	35
2.3.2. Закачка инъекционного ремонтного состава в макеты гидроизоляционных карт, находящиеся под нагрузкой .....	37
2.4. Результаты испытаний .....	38
2.5. Выводы .....	40
3. ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ПВХ-МЕМБРАН К ДЕЙСТВИЮ МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ И ИНЪЕКЦИОННОГО РЕМОНТНОГО СОСТАВА .....	41
3.1. Материалы и оборудование .....	42
3.1.1. Подготовка образцов .....	42
3.1.2. Приборы и приспособления для проведения испытаний ...	48
3.2. Проведение испытаний и обработка результатов .....	55
3.3. Выводы .....	74
4. ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ С МЕХАНИЧЕСКИ ЗАКРЕПЛЕННОЙ ПВХ-МЕМБРАНОЙ .....	76
4.1. Исходные данные .....	76
4.1.1. Рабочие чертежи ребристой плиты покрытия .....	76
4.1.2. Армирование элементов ребристой плиты покрытия .....	83
4.1.3. Механические характеристики бетона и арматуры .....	84
4.1.4. Сбор фактических нагрузок на элементы ребристой плиты покрытия .....	85

4.2. Расчет по первой группе предельных состояний .....	87
4.2.1. Определение несущей способности из условия обеспечения прочности нормальных сечений .....	87
4.2.1.1. Полка плиты .....	87
4.2.1.2. Поперечное ребро плиты .....	90
4.2.1.3. Продольное ребро плиты .....	92
4.2.2. Проверка прочности наклонных сечений продольного ребра .....	96
4.2.2.1. Проверка прочности по бетонной полосе между наклонными сечениями .....	96
4.2.2.2. Проверка прочности по наклонным сечениям на действие поперечных сил .....	96
4.2.2.3. Проверка прочности по наклонным сечениям на действие изгибающего момента .....	98
4.3. Расчет по второй группе предельных состояний .....	98
4.3.1. Определение величины потерь предварительных напряжений .....	98
4.3.2. Определение несущей способности плиты из условия трещиностойкости .....	100
4.3.3. Определение прогиба плиты .....	103
4.4. Выводы .....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Диаграммы «сила–удлинение» по результатам механических испытаний образцов ПВХ-мембран PLASTFOIL® Geo ....	114



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

**Ярцев Виктор Петрович** – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

**Монастырев Павел Владиславович** – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, директор Института архитектуры, строительства и транспорта ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

**Мамонтов Семен Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

**Мамонтов Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

**Загородникова Мария Александровна** – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Научное электронное издание

ЯРЦЕВ Виктор Петрович  
МОНАСТЫРЕВ Павел Владиславович  
МАМОНТОВ Семен Александрович  
МАМОНТОВ Александр Александрович  
ЗАГОРОДНИКОВА Мария Александровна

# ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕМОНТОПРИГОДНЫХ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ИЗ ПВХ-МЕМБРАН

Монография

Редактирование Е. С. Мордасовой  
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова  
Обложка, упаковка, тиражирование Е. С. Мордасовой

ISBN 978-5-8265-2652-1



Подписано к использованию 09.10.2023.  
Тираж 50 шт. Заказ № 117

Издательский центр ФГБОУ ВО «ПГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Тел./факс (4752) 63-81-08.  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru