
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«БиоспейсСтрой»



Испытание на биостойкость образцов плит полистирольных вспененных экструзионных "Пеноплэкс" (ТУ 5767-006-54349294-2014) и образцов минеральной ваты (ГОСТ 32314-2012 (EN 13162) «Изделия из минеральной ваты теплоизоляционные промышленного производства, применяемые в строительстве. Общие технические условия»)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2017 год

ЗАКАЗЧИК: ООО "ПЕНОПЛЭКС СПб"
191014, Санкт-Петербург, Сапёрный переулок, д.1 лит."А"
ИНН 7825133660
КПП 783450001

ИСПОЛНИТЕЛЬ: ООО "БиоспейсСтрой"
191023, Санкт-Петербург, ул. Караванная, д. 1
ИНН 7805443061
КПП 780501001

Отчёт по договору № 01/17/БС от 20 февраля 2017

Испытание на биостойкость образцов плит полистирольных вспененных экструзионных "Пеноплэкс" (ТУ 5767-006-54349294-2014) и образцов минеральной ваты (ГОСТ 32314-2012 (EN 13162) «Изделия из минеральной ваты теплоизоляционные промышленного производства, применяемые в строительстве. Общие технические условия»)

Генеральный директор ООО БиоспейсСтрой"



/Старцев С.А./

Список основных исполнителей:

1. Старцев С.А., генеральный директор (обследование объекта, отбор проб, организация аналитических исследований)
2. Власов Д.Ю., доктор биологических наук, профессор, зам. генерального директора по научной работе (анализ полученных данных и подготовка отчетной документации)
3. Зеленская М.С., старший научный сотрудник лаб. микологии СПбГУ,
кандидат биологических наук (микологические исследования)
4. Рябушева Ю. В., научный сотрудник лаб. микологии СПбГУ
(микологические исследования)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Методика проведения испытаний	5
Условия проведения испытаний.....	9
Получение инокулюма для проведения испытаний.....	10
Оценка результатов испытаний.....	12
Испытания материала "Пеноплэкс", помещенного на поверхность питательной среды и во влажную камеру	13
Испытания материала "Пеноплэкс" на стойкость к микроорганизмам-биодеструкторам в жидкой среде.	19
Испытания минеральной ваты "Роквул" на стойкость в отношении микроорганизмов-деструкторов.....	22
Общее заключение	27
Использованные нормативные документы	28

ВВЕДЕНИЕ

Биоповреждение материалов представляет собой эколого-технологическую проблему, имеющую важнейшее значение для народного хозяйства РФ. В условиях роста и изменения техногенной среды заметно возрастает интенсивность процессов биодеструкции, что приводит к существенному повреждению строительных материалов и конструкций, снижению долговечности зданий и сооружений различного назначения, возникновению аварийных ситуаций. Возрастающая роль биоповреждений в современных экосистемах признается во всем мире, а потери от биодеструкции достигают колоссальных цифр. Во всех экономически развитых странах этой проблеме уделяется большое внимание, разработаны соответствующие нормативные документы и методики эффективного противодействия биоповреждению строительных конструкций.

В России предпринимается немало усилий для решения данной проблемы. В частности разработаны отдельные нормативные документы, регламентирующие параметры биостойкости материалов и изделий, экспонирующихся в условиях агрессивных сред. Так, в СП 28.13330.2012 охарактеризованы различные типы агрессивности сред, даны общие указания о способах защиты материалов от биоповреждений, но не приведены соответствующие методики. Единственным документом, посвященным защите строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных биологических воздействий окружающей среды, с развернутым рассмотрением методик определения степени биостойкости строительных материалов является РВСН 20-01-2006 (ТСН 20-303-2006), принятый правительством Санкт-Петербурга в 2006 году. Этот документ носит рекомендательный характер, однако его значение трудно переоценить как

первую попытку системного решения задач в области защиты материалов от биоповреждений. При его разработке авторы опирались на накопленный мировой опыт, известные ГОСТы и СНиПы. Вместе с тем, экологическая ситуация в последние годы быстро меняется, а тенденция к возрастанию роли биоповреждений становится все более угрожающей. Кроме того, с момента введения РВСН 20-01-2006 уже накоплен практический опыт работы, разработаны новые методики исследования повреждённых материалов, испытания их на биостойкость. В настоящее время многие специалисты приходят к пониманию того, что при проведении испытаний необходимо расширять круг тест-объектов (микроорганизмов-деструкторов), причем включать в анализ те виды микробов, которые реально развиваются на данном материале в конкретных условиях среды; использовать различные сочетания микроорганизмов, встречающиеся в природе в виде биопленок и обладающих высокой устойчивостью к внешним воздействиям; менять условия проведения испытаний, максимально приближая их к естественной агрессивной среде; проводить наблюдения за развитием процессов биоповреждений в динамике (от начального этапа заражения материала до видимых изменений под воздействием микроорганизмов-деструкторов).

Исходя из всего сказанного, была спланирована данная работа, в которой испытания проводились различными приемами (как известными и описанными в нормативных документах, так и принципиально новыми, отвечающими новым подходам и взглядам на испытания материалов на биостойкость).

Цель работы. Проведение всесторонних испытаний на биостойкость образцов плит полистирольных вспененных экструзионных "Пеноплэкс" (ТУ 5767-006-54349294-2014) и образцов минеральной ваты (ГОСТ 32314-2012 (EN 13162) «Изделия из минеральной ваты теплоизоляционные промышленного производства, применяемые в строительстве. Общие технические условия»).

Методика проведения испытаний

Тест-культуры микроорганизмов

В качестве тест-культур для проведения испытаний использовались виды микромицетов и бактерий, рекомендованные РВСН 20-01-2006 и в основных ГОСТах: ГОСТ 9.048-89 (Единая система защиты от коррозии и старения – ЕСЗКС, Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов), ГОСТ 9.052-88 (ЕСЗКС, Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. Масла и смазки), ГОСТ 9-049-91 (ЕСЗКС, Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. Материалы полимерные и их компоненты), СП 28.13330.2012 (Защита строительных конструкций от коррозии). При этом предпочтение отдавалось тем микроорганизмам, которые регулярно отмечаются на гидроизоляционных и строительных материалах в различных условиях эксплуатации, а также представляют собой наиболее агрессивные (биохимическое и биофизическое воздействие на материал) и устойчивые формы. Отметим, что ранее нами была изучена кислотопродукция широкого круга грибов-биодеструкторов (Барина К.В., Власов Д.Ю., Шипарев С.М. Органические кислоты микромицетов-биодеструкторов. Экологическое значение, метаболизм, зависимость от факторов среды. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010, 80с), что также было учтено при выборе тест объектов для проведения испытаний материала "Пеноплэкс" и минваты. На основании проанализированных данных в испытание были включены следующие виды микромицетов:

Aspergillus niger

A. terreus

A. versicolor

Aurobasidium pullulans

Penicillium funiculosum

P. chrysogenum

Paecilomyces variotii

Trichoderma viride

Перечисленные виды поддерживаются в коллекции чистых культур микромицетов в СПбГУ и регулярно проходят испытания на агрессивность в отношении материалов и изделий.

Из числа бактерий в испытания были включены виды рода *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. thuringiensis*), выделенные из твердых поврежденных материалов, бактерии рода *Pseudomonas*, изолированные из загрязненных грунтов и поврежденных материалов, а также бактерии родов *Actinomyces* (актиномицеты), *Nitrosomonas* (нитрифицирующие бактерии), *Thiobacillus ferrooxidans* (тионовые бактерии), *Gallionella ferruginea* (железобактерии), *Desulfovibrio desulfuricans* (сульфатредуцирующие бактерии).

При подготовке к проведению испытаний мы учитывали тот факт, что в природе (в естественной и техногенной среде) микроорганизмы практически не встречаются в виде чистых культур. В грунтах и на материалах микробы существуют в виде различных ассоциаций (сообществ), что доказано многочисленными исследованиями последних лет. Такое объединение обеспечивает микроорганизмам повышенную устойчивость к внешним воздействиям, успешное освоение (колонизацию и разрушение) различных материалов, а также максимальное потребление доступных питательных веществ, содержащихся в материале. Данные ассоциации (сообщества) микроорганизмов принято называть «био пленками». Их состав может быть разным, но, как правило, есть группа доминирующих видов, которые во

многим определяют свойства биопленок и их агрессивность в отношении материалов.

Исходя из сказанного, в испытаниях использовали биопленки различной сложности, которые были перенесены с естественного субстрата в условия культуры.

Так, в качестве источника заражения материала Пеноплэкс и минваты использовались:

- биопленка с доминированием темноцветных микроскопических грибов и бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas*;
- биопленка с различными видами микромицетов;
- биопленка высокой бактериальной насыщенности сложного состава в водной среде.

Учитывая сложность полимикробного сообщества, формирующегося в основании сооружений, где применяется материал "Пеноплэкс", использовали агрессивную водную среду, бактериальный состав которой был определен молекулярно-генетическими методами (метагеномный анализ). Приводим результаты этого анализа.

Всего в результате метагеномного анализа агрессивной водной среды выявлены представители нескольких бактериальных фил. При этом зафиксировано явное доминирование протеобактерий (таблица 1).

Таблица 1.

Основные филы бактерий, выявленные в агрессивной водной среде, использованной в испытаниях материала "Пеноплэкс" и минваты.

Филы бактерий	Доля (%)
Actinobacteria	1.8
Bacteroidetes	2.6
Firmicutes	21.6
Proteobacteria	70.1

Группа протеобактерий включает как облигатно, так и факультативно аэробные и анаэробные бактерии. Это означает, что протеобактерии способны развиваться в условиях переменной аэрации (поступления кислорода), а также в его отсутствие. Протеобактерии представлены тремя группами (альфа, бета и гамма). В класс Бета-протеобактерий, на долю которого приходится 37,5% всего разнообразия бактерий из агрессивной воды, входят аэробные и факультативно-анаэробные бактерии, причем среди них есть как хемоорганогетеротрофы, так и хемолитоавтотрофы (в т.ч. нитрифицирующие и тионовые бактерии). Этот факт свидетельствует о том, что в используемой для испытаний водной среде содержатся агрессивные в отношении материалов формы бактерий, способные инициировать коррозионные процессы (особенно тионовые и нитрифицирующие бактерии, выделяющие неорганические кислоты – серную и азотную, соответственно). Кроме того, значительную часть микробиоты агрессивной воды составляют микроорганизмы, способные вызывать коррозию в анаэробных условиях. Микробное сообщество, использованное в испытаниях материала Пеноплэкс, способно играть особую роль в транзитных зонах (на границе раздела сред), а входящие в него микроорганизмы рассматриваются как активные участники коррозионных процессов. Отметим высокое содержание в используемой агрессивной воде бактерий рода *Pseudomonas*, которые хорошо известны

своими коррозионными свойствами. Виды этого рода в грунтах мегаполиса чаще всего отмечались нами ранее в техногенных местообитаниях. Таким образом, выявленное с помощью метагеномного анализа микробное сообщество обладает значительным разнообразием и высоким метаболическим потенциалом (биохимической активностью). По своим свойствам такое сообщество способно оказывать модифицирующее воздействие как на грунты, так и на материалы и конструкции, погруженные в грунт. Оно охватывает все группы бактерий, рекомендованные РВСН 20-01-2006 для испытаний биостойкости материалов в условиях агрессивной среды.

Условия проведения испытаний

При подборе условий испытаний мы исходили из того, что тестируемый материал эксплуатируется в условиях высокой влажности (в грунтах, на границе фундаментов и грунта с различным содержанием органического и минерального вещества, в условиях переменной или постоянной влажности и температуры и др.).

По этой причине испытания были проведены в разных вариантах.

- В жидкой среде Чапека (органо-минеральная среда, в которой хорошо развиваются как грибы, так и бактерии), куда вносился инокулюм микроорганизмов
- На полноценной агаризованной среде Чапека (содержащей сахар - глюкозу), на которую помещался материал и проводилась его инокуляция (заражение) водной суспензией спор (поверхностное нанесение, 5-кратная повторность)
- На полноценной агаризованной среде Чапека со сформировавшимся газоном плесневых грибов (материал помещали непосредственно на поверхность газона) с последующим переносом на чистый агар Чапека

- Во влажной камере с добавлением минимального количества питательных веществ (компоненты среды Чапека, голодный агар) на поверхность испытуемого материала
- Во влажной камере без добавления источника питания (только испытуемый материал инокулированный водной суспензией микромицетов при поддержании постоянной влажности)
- В жидкой среде Чапека без сахара (только минеральные компоненты)
- В агрессивной водной среде с насыщенным микробным сообществом, состав которого определялся в результате метагеномного анализа.

В каждом случае условия эксперимента контролировались, а продолжительность составляла от 28 до 84 дней.

Получение инокулюма для проведения испытаний

Для искусственного заражения (испытания на биостойкость) материала Пеноплэкс использовали свежеприготовленную водную суспензию из спор грибов и/или клеток бактерий. Концентрация определялась непосредственно перед проведением испытаний. В испытаниях с микробными сообществами учитывали общее содержание клеток в суспензии. Концентрацию исходной суспензии определяли в камере Горяева.

Aspergillus niger – $1,8 \times 10^5$

A. terreus – $2,1 \times 10^5$

A. versicolor – $1,9 \times 10^5$

Aurobasidium pullulans – $2,5 \times 10^5$

Penicillium funiculosum – $2,0 \times 10^5$

P. chrysogenum – $1,5 \times 10^5$

Paecilomyces variotii – $2,6 \times 10^5$

Trichoderma viride – $2,8 \times 10^5$

Численность бактериальных клеток в водной суспензии во всех вариантах испытаний превышала 10^6 на 1 мл. суспензии.

Материал хранили не более 3-х часов.

Методы инокуляции образцов

На поверхность материала наносили каплю суспензии клеток отдельных видов или их ассоциаций (повторность не менее 5 раз) в вариантах:

- материал на питательной среде;
- материал во влажной камере без добавления источника питания;
- материал во влажной камере с добавлением источника питания.

Объем капли составлял 100 микролитров.

Сразу после нанесения инокулюма на материал тест-систему помещали в термостат и экспонировали при температуре 25°C (что оптимально для большинства используемых тест-объектов).

Заражение материала в жидкой среде производили путем внесения инокулюма в жидкую среду с последующим внесением в нее тестируемого материала.

После инокуляции тест-систему с жидкой средой также помещали в термостат и экспонировали при температуре 25°C .

При инокуляции материала культурами микроскопических грибов дополнительно использовали метод сухого переноса спор грибов на поверхность материала с использованием ватной палочки.

Оценка результатов испытаний

Наблюдения проводили в динамике (начиная с 3-х суток после заражения до 3-х месяцев). Фиксировали признаки роста колоний микроорганизмов, проявление гидрофобности материала, видоизменения биопленок или отдельных микроорганизмов, проводили макро- и микросъемку происходящих изменений.

Интенсивность развития грибов на тестируемом материале оценивалась по рекомендованной бальной шкале (таблица 2).

Таблица 2

Бальная оценка обрастаний грибами тестируемых материалов
(по ГОСТ 9.048-89)

Балл	Характеристика балла
0	Под микроскопом прорастания спор и конидий не обнаружено
1	Под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий
2	Под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение
3	Невооруженным глазом мицелий и (или) спороношение едва видны, но отчетливо видны под микроскопом
4	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих менее 25 % испытываемой поверхности
5	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих более 25 % испытываемой поверхности

В ходе работы на всех этапах производилась фотофиксация результатов.

Полученные результаты были соотнесены с возможными условиями эксплуатации материала "Пеноплэкс" и минеральной ваты, и сделано заключение о стойкости материалов к биопоражению в агрессивной среде.

Испытания материала "Пеноплэкс", помещенного на поверхность питательной среды и во влажную камеру

В данном разделе приведены результаты испытаний биостойкости материала "Пеноплэкс" при внесении на его поверхность микроскопических грибов – биодеструкторов в разных вариантах (таблица 3).

Таблица 3.

Результаты испытаний материала "Пеноплэкс" на грибостойкость (в отношении плесневых грибов – деструкторов) с использованием питательной среды Чапека

Вариант испытаний	Балл	Оценка грибостойкости	Описание результатов испытаний
Инокуляция поверхности блоков "Пеноплэкса", помещенных, на агар Чапека, суспензией спор грибов разных видов	0	Материал не является питательной средой для микромицетов (нейтрален), обладает грибостойкостью	Проявление гидрофобных свойств материал (капля суспензии не впитывается в материал), пропагулы грибов остались неактивными и локализованными в зоне капли на поверхности материала (рис. 1, 2), рост и развитие грибов не отмечено ни на материале, ни на питательной среде вокруг блока материала.
Блоки "Пеноплэкса" помещались на газон плесневых грибов (на 1 неделю) после	0-1	Материал не является питательной средой для микромицетов (нейтрален), обладает грибостойкостью, возможно проявление антифунгального действия	Микромицеты в течение недели находились в прямом контакте с поверхностью Пеноплэкса, однако после переноса материала с поверхности грибного газона на чистую питательную среду их

чего были перенесены на агар Чапека			дальнейшее развитие практически не наблюдалось (рис. 3, 4).
---	--	--	--

В первом случае зараженные блоки материала находились на поверхности агаризованной среды Чапека и в случае проявления роста и спороношения грибов, нанесенных на поверхность материала, рост грибов отмечался бы и на этой среде. Однако, полученные данные указывают на то, что в материале "Пеноплэкс" отсутствуют питательные вещества, которые могли бы способствовать росту плесневых грибов на его поверхности. Кроме того, гидрофобные свойства материала препятствуют впитыванию влаги (суспензия со спорами). При этом картина практически не менялась на протяжении всего срока испытаний (споры микромицетов оставались неактивными). Очевидно, что в естественных условиях эксплуатации материала "Пеноплэкс" попадание на его поверхность влаги, загрязненной спорами микромицетов, не приведет к развитию биопоражения, а, наоборот, будет сдерживаться благодаря свойствам материала.

В случае помещения материала "Пеноплэкс" на газон плесневых грибов (прямой контакт с активно растущими колониями) происходит локальное прикрепление клеток к поверхности материала (за счет свойств питательной среды). Однако после удаления загрязненного материала с газона плесневых грибов размножение микромицетов на его поверхности не происходит. Об этом свидетельствует тот факт, что грибы не переходят с загрязненной поверхности на чистую питательную среду. Данная ситуация может складываться в природных условиях, когда материал "Пеноплэкс" окажется в зоне интенсивного роста биодеструкторов на других субстратах (в непосредственном контакте с ними). При этом "Пеноплэкс" фактически останавливает распространение микромицетов (создается защитный барьер).

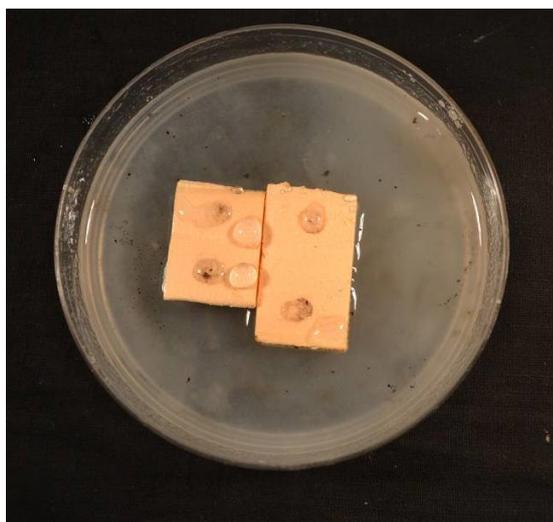


Рис. 1. Блоки материала "Пеноплэкс", инокулированные плесневыми грибами (помещены на питательную среду Чапека).



Рис. 2. Инокулюм плесневого гриба на поверхности материала "Пеноплэкс" (рост по поверхности материала не наблюдается)



Рис. 3. Блок материала "Пеноплэкс" после продолжительного контакта с газоном плесневых грибов, перенесенный на чистую среду Чапека (переход грибов с загрязненной поверхности материала на питательную среду не происходит).

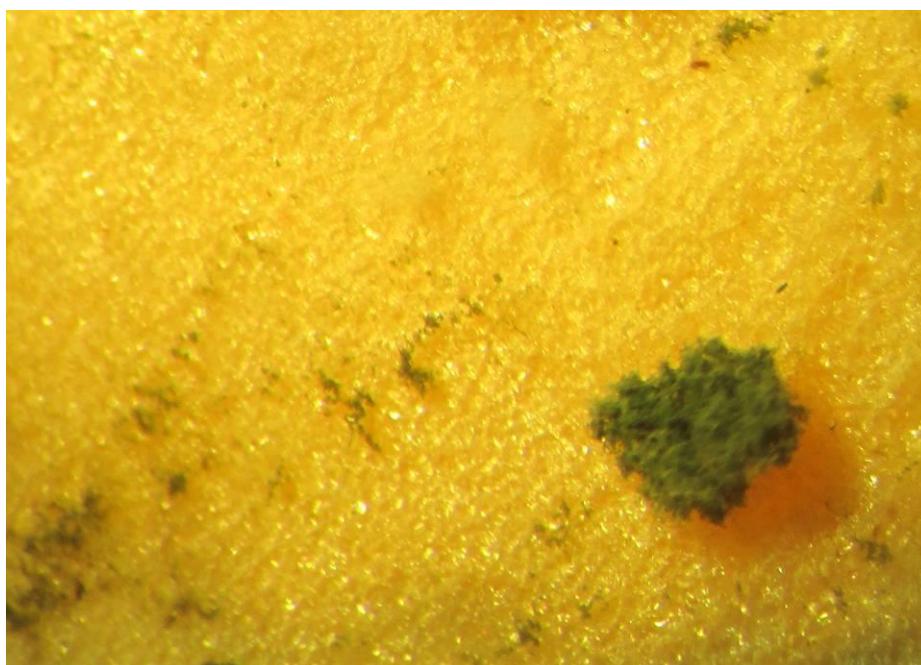


Рис. 4. Перенесенные колонии и структуры плесневых грибов с поверхностного газона на материал "Пеноплэкс" (без признаков распространения по поверхности материала)

При сухом посеве микромицетов на поверхность материала (перенос спор грибов из активной культуры на поверхность материала с использованием ватной палочки) развитие грибов также практически отсутствует (балл 0-1) (рис. 5). Микромицеты не выходят за пределы микроуглублений на поверхности материала, которые возникают при инокуляции ватной палочкой.



Рис. 5. Блок материала "Пеноплэкс", инокулированный плесневыми грибами (сухой посев). Локализация микромицетов не меняется (споры и клетки грибов остаются в зоне инокуляции).

Инокуляция образцов материала "Пеноплэкс" в условиях влажной камеры в трех вариантах (водная суспензия спор без добавления питательной среды, добавление компонентов среды Чапека и голодного агара на поверхность материала) подтвердила результаты, описанные выше (таблица 4). Во всех вариантах экспериментов развитие микромицетов практически не отмечалось.

Таблица 4.

Результаты испытаний материала "Пеноплэкс" на грибостойкость (в отношении плесневых грибов – деструкторов) во влажной камере

Вариант испытаний	Балл	Оценка грибостойкости	Описание результатов испытаний
Инокуляция поверхности блоков "Пеноплэкса" водной суспензией спор грибов разных видов	0	Материал не является питательной средой для микромицетов (нейтрален), обладает грибостойкостью	Проявление гидрофобных свойств материал (капля суспензии не впитывается в материал), пропагулы грибов остались неактивными и локализованными в зоне капли на поверхности материала.
Инокуляция поверхности блоков "Пеноплэкса" суспензией спор грибов с добавлением компонентов среды Чапека	0-1	Материал не является питательной средой для микромицетов (нейтрален), обладает грибостойкостью, возможно проявление антифунгального действия	Слабый рост одиночных гиф наблюдался в течение первых 4-х суток после инокуляции (за счет потребления компонентов питательной среды), но быстро прекращался и не возобновлялся на протяжении всего срока наблюдений
Инокуляция поверхности блоков "Пеноплэкса" суспензией спор грибов с добавлением водного агара	0-1	Материал не является питательной средой для микромицетов (нейтрален), обладает грибостойкостью, возможно проявление антифунгального действия	Слабый рост одиночных гиф наблюдался между поверхностью материала и водным агаром в первые несколько суток после инокуляции, после чего полностью прекращался.

При сухой инокуляции блоков "Пеноплэкса", помещенных во влажную камеру, развитие грибов на поверхности материала не наблюдалось.

Таким образом, проведенные испытания (с использованием питательных сред и влажной камеры) показали, что материал "Пеноплэкс" обладает

устойчивостью к биопоражению плесневыми грибами разных видов. Развитие микромицетов может происходить поверхностно только в случаях прямого контакта со средой, являющейся питательным субстратом для плесневых грибов (на границе раздела сред). При этом биодеструкторы не проникают в материал, а локальный рост одиночных гиф происходит кратковременно и прекращается по истощении внешнего источника питания. Наличие канавок на поверхности материала может способствовать временной задержке пропагул микромицетов, однако существенно не влияет на их развитие и накопление.

Испытания материала "Пеноплэкс" на стойкость к микроорганизмам-биодеструкторам в жидкой среде.

Учитывая назначение и возможные условия использования материала "Пеноплэкс", испытания данного материала на стойкость в отношении микробного сообщества проводились в жидкой среде. Испытания проводились в двух вариантах:

- жидкая среда Чапека без сахара (источником органического питания для микроорганизмов мог служить только материал), содержащая клетки бактерий и микромицетов, куда помещался материал Пеноплэкс;

- водная среда высокой агрессивности, содержащая микроорганизмы с повышенной деструктивной активностью, в которую вносился материал Пеноплэкс.

Отметим, что такой подход является новым и использован в оценке биостойкости материала "Пеноплэкс" впервые для воспроизведения реальных условий агрессивной обводненной среды, в которой может эксплуатироваться данный материал. При этом в составе микробного сообщества, установленном с помощью молекулярно-генетического анализа, оказались все группы бактерий, рекомендованные для испытаний материалов

на биостойкость (по РВСН 20-01-2006). Анализ материалов на развитие биопленок и повреждение поверхности производился на протяжении всего периода наблюдений (в течение 3-х месяцев). Результаты испытаний отражены в таблице 5 и рис. 6, 7.

Таблица 5.

Результаты испытаний материала "Пеноплэкс" на стойкость к микроорганизмам-биодеструкторам в жидкой среде

Вариант испытаний	Балл	Оценка грибостойкости	Описание результатов испытаний
Блоки "Пеноплэкса" помещены в жидкую среду Чапека (без сахара), содержащую агрессивное микробное сообщество (бактерии и микромицеты)	0-1	Материал не является питательной средой для микроорганизмов (нейтрален), обладает биостойкостью.	На верхней и нижней поверхности материала "Пеноплэкс" не отмечено роста и развития биопленок или колоний отдельных микроорганизмов. Слабое развитие биопленки наблюдается на границе раздела сред (водной среды, край блока материала и воздушной среды).
Блоки "Пеноплэкса" помещены в агрессивную водную среду, содержащую агрессивное микробное сообщество (бактерии различных видов, способные вызвать микробную коррозию материалов)	0-1	Материал не является питательной средой для микроорганизмов (нейтрален), обладает биостойкостью.	На верхней и нижней поверхности материала "Пеноплэкс" не отмечено роста и развития биопленок или колоний отдельных микроорганизмов. Слабое развитие биопленки наблюдается на границе раздела сред (водной среды и края блока материала). Основная часть бактериальной биопленки сформировалась на дне бьюкса с агрессивной водой и не перешла на материал.

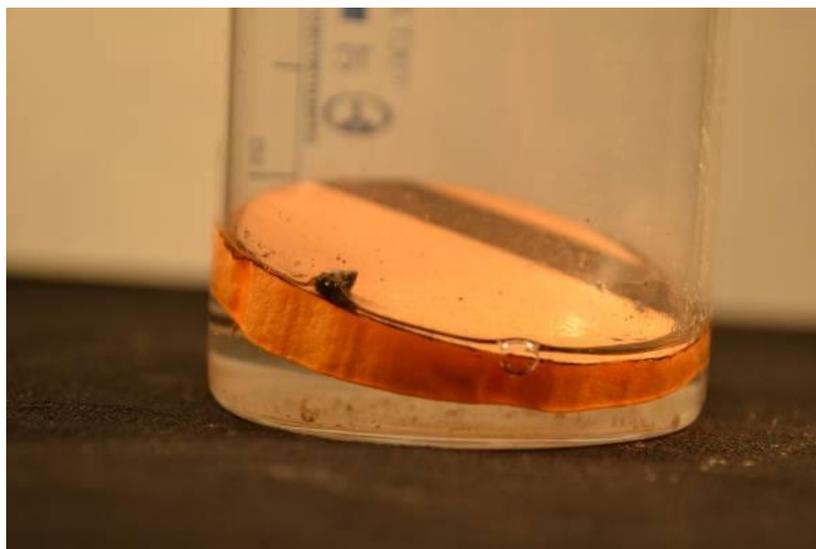


Рис. 6. Блок материала "Пеноплэкс", инокулированный микробным сообществом в жидкой среде Чапека без добавления сахара. Локализация микроорганизмов (одиночные микроколонии) формируются на границе раздела сред, тогда как поверхность материала оказалась чистой. Биопленка образуется на дне сосуда, но не на поверхности материала.



Рис. 7. Поверхность материала "Пеноплэкс", извлеченного из агрессивной жидкой среды после 3-х месяцев испытаний (присутствие биопленок и рост микроорганизмов на поверхности материала не отмечено).

Таким образом, полученные результаты испытаний материала "Пеноплэкс" в жидкой среде полностью согласуются с результатами,

полученными на твердых средах и во влажной камере и свидетельствуют о биостойкости материала "Пеноплэкс".

Испытания минеральной ваты на стойкость в отношении микроорганизмов-деструкторов

В данном разделе приведены результаты испытаний биостойкости минеральной ваты при внесении в нее микроорганизмов – биодеструкторов в разных вариантах (таблица 6, рис. 8). При этом суспензию микроорганизмов вносили в минвату в чистом виде (водная суспензия без добавления питательных веществ), с добавлением минеральных компонентов среды Чапека, а также с добавлением компонентов полной среды Чапека (минеральные компоненты + глюкоза). Инокулированные фрагменты минеральной (каменной) ваты были помещены во влажную камеру и на питательную среду и экспонировались в термостате, как описано выше.

Полученные данные указывают на то, что в самой минеральной вате могут находиться незначительные количества питательных веществ, которые способствуют слабому росту плесневых грибов (преимущественно в толще материала). Этому благоприятствует его волокнистая слоистая структура. В проведенных испытаниях поверхность минваты практически всегда оставалась чистой, однако грибы локально формировали биопленки внутри материала (там, где происходило накопление влаги). Картина мало изменялась на протяжении всего срока испытаний (рост был плохо заметен из-за особенностей материала). При раскрытии минваты в зоне инокуляции отмечено формирование биопленки из микроорганизмов (наиболее активное развитие происходило при добавлении полной среды Чапека). Такая картина наблюдалась как в вариантах с микромицетами, так и в вариантах с бактериями.



Рис. 8. Минеральная вата на питательной среде Чапека после инокуляции микробным сообществом (клетки и споры микроорганизмов находятся внутри материала, между волокнами).

Таблица 6.

Результаты испытаний минваты на устойчивость к микроорганизмам-деструкторам

Вариант испытаний	Балл	Оценка грибостойкости	Описание результатов испытаний
Инокуляция минваты суспензией спор грибов разных видов (без добавления в суспензию питательной среды)	1-2	Материал является слабой питательной средой для микромицетов (содержит незначительное количество источников питания)	Инокулюм, внесенный в минвату, переходит к слабому развитию (наблюдение затруднено по причине волокнистой структуры материала). На поверхности рост грибов практически не заметен, однако внутри него поддерживается устойчивая влажная среда и наблюдается слабый рост мицелия.
Инокуляция минваты грибами разных видов (с	2-3	Добавление минеральных компонентов среды Чапека слабо активизирует рост плесневых грибов, который	Получив дополнительно только минеральное питание, микромицеты развиваются внутри материала неактивно

добавкой минеральных веществ)		происходит между волокон	(между волокон), рост умеренный.
Инокуляция минваты грибами разных видов (с добавкой питательной среды Чапека)	4-5	Добавление питательной среды активирует рост мицелия грибов, который происходит между волокон и может локально проявляться на поверхности.	Получив дополнительное питание, в т.ч. органическое вещество (среда Чапека с глюкозой) микромицеты активно развиваются внутри материала (между волокон). Волокнистое строение не позволяет удалять микроорганизмы из материала. Грибостойкость минваты не выявлена.

Очевидно, что в естественных условиях эксплуатации в минвате из-за особенностей ее структуры могут накапливаться загрязнения (особенно при механических повреждениях материала), пылевые частицы, что может способствовать аккумуляции там и микроорганизмов, для которых загрязнения служат дополнительным источником питания. При повышенном увлажнении такого материала (в результате попадания внешней влаги, при образовании конденсата) могут формироваться микробные биопленки, которые наиболее эффективно используют даже минимальные количества влаги и органического вещества для начала роста и дальнейшего развития. Вероятно, слабым источником питания могут служить клеевые компоненты. При этом росту биопленки может способствовать структура материала. В минвате имеются пространства между волокнами (микрзоны), что благоприятствует закреплению и локальному развитию биодеструкторов. Питательные вещества задерживаются и распределяются между волокнами минваты, что способствует разрастанию мицелия внутри материала. Несмотря на отмеченный рост биодеструкторов в ходе испытаний, явного биологического повреждения минеральной (каменной) ваты за период наблюдений нами не отмечено. Возможно, продолжительность испытаний следует увеличивать. Следует отметить, что практический опыт

исследований строительных материалов свидетельствует о низкой биостойкости минеральной ваты в сэндвич-панелях (Рис. 9,10) и отдельных образцов (Рис.11).



Рис.9. Биоповреждение сэндвич-панелей складированных на открытом воздухе.



Рис.10. Биоповреждение сэндвич-панели с базальтовым волокном, через полтора года с момента установки



Рис.11 Биоповреждение каменной ваты плесневыми грибами через две недели просушки после проведения эксперимента на водопоглощение.

В целом, полученные результаты испытаний свидетельствуют о том, что при внесении суспензии спор микроорганизмов (капель) в данный материал может происходить постепенное накопление биодеструкторов между волокнами. При этом минеральная (каменная) вата способна поддерживать лишь незначительное развитие плесневых грибов. Однако при добавлении питательных веществ в область инокуляции наблюдается активный рост грибов в зоне дополнительного питания. В этом отношении преимуществом обладает материал "Пеноплэкс", с поверхности которого (на границе раздела сред) могут быть легко удалены биогенные загрязнения, в том числе и микробные биопленки. При этом развитие микромицетов и микробных биопленок на материале "Пеноплэкс" практически не наблюдается.

Общее заключение

1. Результаты испытаний плит "Пеноплэкс" показали, что данный материал является химически и физически нейтральным, не впитывает влагу, не подвергается биохимическому и биофизическому воздействию микроорганизмов из различных таксономических и экологических групп, т.е. обладает биостойкостью в условиях воздушной и водной среды.
2. Эксплуатация данного материала в транзитных зонах грунта, в основании зданий и сооружений, где формируется агрессивная водонасыщенная среда, не вызывает опасений, так как "Пеноплэкс" проявил практически полную устойчивость к широкому кругу биодеструкторов в условиях, моделирующих разные среды экспонирования материала.
3. Специфическая структура поверхности материала, наличие канавок, а также способность образовывать ямки (вдавления) при физическом воздействии, может способствовать локальному накоплению

незначительного количества биогенных загрязнений и начальному росту мицелия грибов, особенно в условиях прямого контакта с субстратами, зараженными микроорганизмами (на границе раздела сред). Такой рост может быть только поверхностным и непродолжительным. Свойства материала в дальнейшем не позволяют развиваться биопленкам и приводить к каким-либо изменениям характеристик материала Пеноплэкс.

4. Материал "Пеноплэкс" (ТУ 5767-006-54349294-2014) обладает необходимой биостойкостью в условиях агрессивной среды и может быть в полной мере использован в соответствии с рекомендациями по применению.

5. "Пеноплэкс" имеет определенные преимущества в сравнении с минеральной (каменной) ватой, которые установлены в ходе проведенных испытаний. Очевидно, что структура минеральной ваты может служить фактором накопления и развития биодеструкторов, особенно при повышенном увлажнении и загрязнении материала. Удалить биопленки из зон локализации не представляется возможным из-за волокнистости минваты.

Использованные нормативные документы

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии.
Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85

РВСН 20-01-2006 Санкт-Петербург (ТСН-20-303-2006 Санкт-Петербург)
Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды

ГОСТ 9.048-89. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС).
Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к
воздействию плесневых грибов

ГОСТ 9.052-88. ЕСЗКС. Методы лабораторных испытаний на стойкость к
воздействию плесневых грибов. Масла и смазки

ГОСТ 9-049-91. ЕСЗКС. Методы лабораторных испытаний на стойкость к
воздействию плесневых грибов. Материалы полимерные и их компоненты.