



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное
учреждение высшего образования
«ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ АРХИТЕКТУРЫ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ТРАНСПОРТА

ОТЧЁТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

К договору подряда № 2024 от «18» мая 2016 года.

Отчетный период с «19» мая 2016 года по «30» июня 2016 года

Исполнитель: д.т.н., профессор

Ярцев В.П.

Тамбов 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Литературный обзор	3
1.1 Специфика трения и истирания. Виды трения	3
1.2 Физический смысл силы трения. Коэффициент трения	5
1.3 Влияние температуры и скорости скольжения на коэффициент трения	6
1.4 Зависимость коэффициента трения от химического строения полимеров и от их наполнения	6
1.5 Интенсивность истирания полимеров	8
1.6 Поливинилхлорид: основные свойства, область применения	9
1.7 Применение ПВХ-мембран при гидроизоляции фундаментов	12
2. Методические вопросы	14
2.1 Исходные материалы, подготовка образцов	14
2.2 Приборы и приспособления для проведения испытаний	16
2.3 Методика проведения испытаний, обработка экспериментальных данных	17
2.3.1 Методика определения коэффициента трения с помощью дисковой машины МИ-2	17
2.3.2 Методика определения статического коэффициента трения	18
3. Экспериментальная часть	19
3.1 Определение коэффициента трения с помощью дисковой машины МИ-2	19
3.2 Определение статического коэффициента трения	21
Выводы	24
Список литературы	25

ВВЕДЕНИЕ

Данный отчет содержит в себе результаты научно-исследовательской работы по определению коэффициента трения между железобетонным фундаментом, пакетом гидроизоляции (ПВХ-мембраной ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (PLASTFOIL® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016) с прокладкой геотекстиля с двух сторон) и надфундаментной железобетонной конструкцией, при давлении на опорную поверхность 0,4 МПа. Исполнителем выполнены следующие работы:

- проведение литературно-патентного поиска;
- проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью получения достаточных теоретических и достоверных экспериментальных результатов исследований для решения поставленных перед НИР задач;
- обобщение и оценка результатов исследований;
- подготовка на основании полученных результатов отчета по определению коэффициента трения ПВХ-мембраны ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (PLASTFOIL® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016) в заданной конструкции.

Отчет представлен на 25 страницах машинописного текста и включает в себя 7 рисунков и 3 таблицы.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Специфика трения и истирания. Виды трения

Среди механических явлений и свойств полимеров особое место занимают трение (внешнее) и истирание (износ, изнашивание).

Трение всегда сопутствует движению и влияет на его характер. Молекулярное движение и взаимодействие в самом теле относится к внутреннему трению. Внешнее трение – это сопротивление относительному перемещению двух твердых тел, прижатых друг к другу.

Общее между обоими видами трения — необратимые потери

механической энергии — ее превращение в тепловую, химическую, электрическую, акустическую.

Истирание — это разрушение рассматриваемого тела при его трении по контртелу. Трение и истирание — это разные явления, хотя и сопутствующие друг другу.

Виды трения различаются по критериям кинематики движения истираемого тела, динамики перемещения контртела, а также условий контакта между ними. В аспекте кинематики имеются три разновидности трения — *скольжение, качение и верчение*. Последний вид встречается очень редко и после небольшого истирания характерное для верчения касание в одной «точке» переходит в многократное скольжение по прежнему следу. Что же касается качения, то вследствие неабсолютной упругости, оно сопровождается скольжением, и реализуется комбинация качения с проскальзыванием [1].

В аспекте динамики перемещения тел при трении также различают три вида: *трение покоя* (статическое), *движения* (кинетическое) и *косого удара* (динамическое), поскольку при нормальном ударе нет касательного перемещения.

Виды трения и износа различаются и по характеру контртела — представляет ли оно массу свободных частиц или последние закреплены на поверхности контртела или целостное тело является практически гладким.

При всех видах трения решающее значение имеет нормальная нагрузка N . Создаваемая при перемещении касательная сила трения равна по значению и противоположна по знаку силе тяги F , вызывающей движение тела из состояния покоя, или поддерживающей его равномерное движение [1-3].

Сила трения имеет молекулярно-механическую природу, она состоит из двух компонентов: адгезионной F_a (молекулярной) и деформационной (механической) F_m :

$$F = F_a + F_m \quad (1.1)$$

1.2 Физический смысл силы трения. Коэффициент трения

Если брусок тянуть с помощью динамометра с постоянной скоростью, то динамометр показывает модуль силы трения скольжения ($F_{тр}$). Здесь сила упругости пружины динамометра уравнивает силу трения скольжения.

С другой стороны, сила трения скольжения зависит от силы нормальной реакции опоры (N), которая возникает в следствие действия веса тела. Чем вес больше, тем больше сила нормальной реакции. И чем больше сила нормальной реакции, тем больше сила трения. Между этими силами существует прямая пропорциональная зависимость, которую можно выразить формулой:

$$F_{тр} = \mu N \quad (1.2)$$

Здесь μ – коэффициент трения. Он показывает, как именно сила трения скольжения зависит от силы нормальной реакции (или, можно сказать, от веса тела), какую долю от нее составляет. Коэффициент трения — безразмерная величина. Для разных пар поверхностей μ имеет разное значение.

Так, например, деревянные предметы трутся друг о друга с коэффициентом от 0,2 до 0,5 (в зависимости от вида деревянных поверхностей). Это значит, что если сила нормальной реакции опоры 1 Н, то при движении сила трения скольжения может составить значение, лежащее в промежутке от 0,2 Н до 0,5 Н.

Из формулы 1.2 следует, что зная силы трения и нормальной реакции, можно определить коэффициент трения для любых поверхностей:

$$\mu = F_{тр}/N \quad (1.3)$$

Сила нормальной реакции опоры зависит от веса тела. Она равна ему по модулю, но противоположна по направлению. Вес тела (P) можно вычислить, зная массу тела. Таким образом, если не учитывать векторность величин, можно записать, что $N = P = mg$. Тогда коэффициент трения находится по формуле:

$$\mu = F_{тр}/(mg) \quad (1.4)$$

Коэффициент трения – отношение силы трения к силе (обычно силе тяжести), действующей перпендикулярно поверхностям, находящимся в контакте. Этот коэффициент является мерой относительного усилия, с которым поверхность одного материала скользит по соприкасающейся поверхности такого же или другого материала.

Статический или начальный коэффициент трения связан с измеренной силой, необходимой для начала движения одной поверхности по другой.

Кинетический коэффициент трения или коэффициент трения скольжения связан с силой, необходимой для поддержания такого движения.

1.3 Влияние температуры и скорости скольжения на коэффициент трения

Поскольку сила трения зависит от площади контакта, то повышение температуры, размягчающей полимерный материал, вызывает увеличение силы трения в области температуры размягчения (стеклования) твердых полимеров.

Пока полимер застеклован, изменение его твердости незначительно, поэтому сила трения почти не меняется. Небольшой температурный максимум в этом состоянии связан с деформационными механическими потерями в объеме полимера при его скольжении по немного шероховатой поверхности. Резкое увеличение силы трения в области, переходной от стеклообразного к высокоэластическому состоянию, связано с размягчением и увеличением площади контакта [1; 3].

1.4 Зависимость коэффициента трения от химического строения полимеров и от их наполнения

При скольжении полимеров по гладкой стали коэффициент трения связан в основном с адгезионной компонентой силы трения, т.е. с

молекулярным взаимодействием контактирующих тел. Это взаимодействие характеризуется плотностью энергии когезии E_k : установлено, что чем она выше, тем больше коэффициент трения.

Для карбоцепных и гетероцепных полимеров линейного строения, не имеющих крупных боковых групп или большого числа ответвлений (политетрафторэтилена, полиэтилена низкой плотности, полиэтилентерефталата и др.), коэффициент трения существенно зависит от плотности энергии когезии.

На коэффициент трения полимеров с крупными боковыми группами или с большой разветвленностью (полиэтилена низкой плотности, полиметилметакрилата и др.) эта характеристика влияет в меньшей степени. В данном случае определяющим фактором является размер боковых групп и число ответвлений.

Полимеры, имеющие «гладкий молекулярный профиль» и небольшую плотность энергии когезии (политетрафторэтилен, полиэтилен высокой плотности), обладают самым низким коэффициентом трения.

Введение дисперсных наполнителей понижает коэффициент трения вследствие повышения твердости и уменьшения адгезии к контртелу.

Пути снижения трения композиционных материалов с абразивными наполнителями существенны в связи с тем, что многие детали пар трения (уплотнительные кольца, направляющие и др.) кроме антифрикционных свойств должны обладать повышенной жесткостью для предотвращения смятия. Такие детали часто изготавливают из композитов с твердыми (абразивными) наполнителями, например со стекловолокном. При трении такого композита по стальному контртелу возникают контакты двух видов: полимер — сталь и стекло — сталь. Вклад последних в суммарную силу трения особенно велик из-за микрорезания. Снижение трения для таких композитов возможно за счет создания полимером на фрикционных поверхностях композита и контртела защитных пленок, экранирующих абразивный наполнитель [2; 3].

Таким образом, для снижения трения полимерных композиционных материалов с абразивными наполнителями в состав композитов нужно включать добавки, способные формировать твердые смазочные пленки, экранирующие абразивные включения. Возможность реализации этой способности в значительной мере зависит от конструктивных особенностей и условий работы конкретного узла трения; она повышается с ростом давления и коэффициента перекрытия и с уменьшением скорости перемещения трущихся поверхностей.

1.5 Интенсивность истирания полимеров

Процесс истирания — это совокупность ряда явлений, приводящих к удалению поверхностного слоя вследствие трения. Сюда входят: вид взаимодействия трущихся поверхностей, изменение поверхностного слоя во время фрикционно-контактного воздействия, разрушение этого слоя и способ отделения частиц.

Интенсивность истирания I целесообразно, как и интенсивность трения, измерять безразмерной величиной:

$$I = \Delta h/L \quad (5)$$

где Δh — потеря высоты образца на пути трения L .

Удобно увеличивать I в 10^9 раз, чтобы манипулировать с не очень малыми числами. При этом $I = 1$, когда образец уменьшается на 1 мм на пути 1 км. Но такая большая интенсивность истирания на практике нереальна. Поэтому при испытаниях материала на истирание процесс интенсифицируют, истирая либо по системе острых выступов — абразивной шкурке, либо по системе тупых выступов — стальной сетке.

Относительная износостойкость любых материалов сохраняется при изменении размеров зерна и I даже при сопоставлении износа закрепленным и незакрепленным абразивом, включая износ пластмасс кусками каменного угля или массой земли при проходе туннелей.

При истирании происходит механохимическая деструкция, в

результате которой понижается молекулярная масса истираемого слоя. Ее падение при истирании по сетке больше, чем при истирании по абразивному полотну, несмотря на то, что в последнем случае острые выступы абразива создают большее фактическое давление и истирание поэтому происходит в более жестких условиях [3].

Механизм разрушения полимерных тел не зависит от вида воздействия. Поэтому при ударном истирании основные характеристики материала должны влиять так же, как при скольжении.

1.6 Поливинилхлорид: основные свойства, область применения

Поливинилхлорид – это термопластичный полимер, получаемый полимеризацией винилхлорида. По внешнему виду товарный ПВХ представляет собой порошок белого цвета, без вкуса и запаха.

Химическая формула ПВХ:



где n – степень полимеризации.

Сырье для производства ПВХ: хлор (57%) и продукты нефтепереработки (43%). Технология производства ПВХ заключается в следующем: в процессе электролиза поваренная соль, растворенная в воде, под воздействием электрического заряда разлагается на хлор, каустическую соду и водород. Отдельно, из нефти или газа, с помощью крекинга, производят этилен. Следующим этапом является соединения этилена и хлора. В результате получают дихлорид этилена, из которого потом производят мономер винилхлорида, являющийся базовым элементом в производстве поливинилхлорида (ПВХ). В процессе полимеризации молекулы мономера винилхлорида объединяются в длинные цепочки ПВХ.

В промышленности полимеризация ПВХ производится суспензионным, блочным (полимеризация в массе) и эмульсионным методами.

Суспензионный ПВХ имеет сравнительно узкое молекулярно-массовое распределение, малую степень разветвленности, более высокую степень чистоты, низкое водопоглощение, хорошие диэлектрические свойства, лучшую термостойкость и светостойкость. Перерабатывается в изделия вальцеванием (каландрованием), экструзией, литьем под давлением и прессованием ПВХ, полученный в массе или суспензии, используется для производства жестких, а также полумягких и мягких, так называемых пластифицированных, пластических масс. Доля суспензионного ПВХ в общем объеме производства составляет 75-80 %.

Эмульсионный ПВХ характеризуется широким молекулярно-массовым распределением, высоким содержанием примесей, высоким водопоглощением, худшими диэлектрическими характеристиками, худшей термостойкостью и светостойкостью. Перерабатывается в изделия прессованием, литьем под давлением, вальцеванием, экструзией, а также в мягкие изделия через пасты (пластизоли).

Массовый ПВХ применяется для изготовления различных изделий вальцеванием, экструзией и прессованием.

Поливинилхлорид нашел широкое применение при изготовлении труб и фитингов, формованных деталей и профилей, мягких и жестких пленок и пластин, кабелей и проводов, тары и упаковки, покрытий для пола, стен и крыш, гибких шлангов и профилей, пластизольных изделий, одежды и обуви, товаров для спорта и отдыха, бытового оборудования, мебели и канцелярского оборудования, изделий для электро-, радио- и электронной промышленности и многого другого [4].

Основные потребители ПВХ: строительство (50-60%), производство тары и упаковки (18%), кабельная промышленность (10%). По объему выпуска в мире ПВХ занимает второе место после полиэтилена низкой плотности, значительно опережая выпуск полипропилена, а также полиэтилена высокой плотности.

Поливинилхлорид не растворим в воде, устойчив к действию кислот, щелочей, спиртов, минеральных масел, набухает и растворяется в эфирах, кетонах, хлорированных и ароматических углеводородах, совмещается со многими пластификаторами (фталатами, себацатами, фосфатами), стоек к окислению и практически не горюч.

Основные физико-механические свойства поливинилхлорида представлены в таблице 1.1 [4]:

Таблица 1.1. Физико-механические свойства поливинилхлорида

Характеристика	ПВХ (PVC) твёрдый (винипласт)	ПВХ (PVC) мягкий (пластикат)
Удельная масса, г/см ³	1,35–1,43	1,18–1,30
Прочность при растяжении, МПа	40–70	10–25
Прочность при сжатии, МПа	60–160	6–10
Прочность при статическом изгибе, МПа	70–120	4–20
Предел прочности на разрыв, МПа	60	16
Относительное удлинение при разрыве, %	40	400
Коэффициент эластичности	3000	20
Твердость по Бринеллю	110–160	-
Модуль упругости при растяжении, МПа	2600–4000	7–8
Удельная теплоёмкость, кДж/ (кг · К)	1, 05–2,14	1, 47
Электрическая прочность, МВ/м	15–35	25–40
Теплопроводность, Вт/ (м·К)	0,16–0,19	0,12
Горючесть, по UL94(США)>1.6 мм	НВ	НВ
Максимальная рабочая температура, °С	80	80
Коэффициент линейного термического расширения, 1/°С	-	(60-120)·10 ⁻⁶
Коэффициент трения (по стальному диску) ГОСТ 11629-75	0,54	-

Как видно из таблицы 1.1, коэффициент трения для твердого поливинилхлорида равен 0,54, что также подтверждается результатами исследований, приведенными в работах Ратнера С.Б. и Ярцева В.П. [1-3].

1.7 Применение ПВХ-мембран при гидроизоляции фундаментов

Принципиальное отличие мембранной гидроизоляции, выполненной из полимерных мембран и наплавляемой гидроизоляции из битумно-полимерных рулонных материалов, заключается в отсутствии сплошной приклейки к основанию.

Если при повреждении наплавляемой гидроизоляции вода, столкнувшись с бетоном в месте повреждения, дальше, скорее всего не пройдет, то при повреждении полимерной мембраны вода проходит за неё и распространяется между бетоном и гидроизоляцией, ища слабое место в бетоне.

С другой стороны полимерная мембрана не приклеена к бетону, следовательно, она меньше зависит от деформаций всей конструкции и ее отдельных частей, а также ее можно монтировать на влажном основании [5].

Кроме того, полимерные мембраны обладают следующими преимуществами: не требуют тщательного выравнивания основания, обладают практически нулевым водопоглощением, высокой устойчивостью к старению, гниению и прорастанию корней.

Сварка полотен мембран производится горячим воздухом с использованием автоматического сварочного оборудования без применения открытого огня.

На рисунке 1.1 представлены схемы устройства гидроизоляции фундаментов с использованием ПВХ-мембран ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (PLASTFOIL® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016).

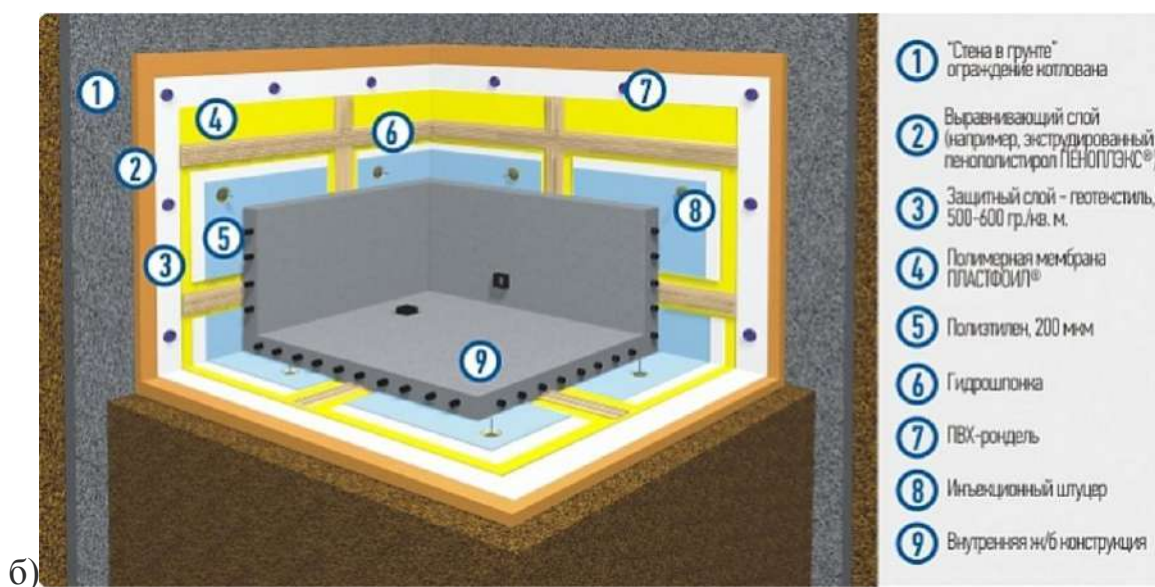
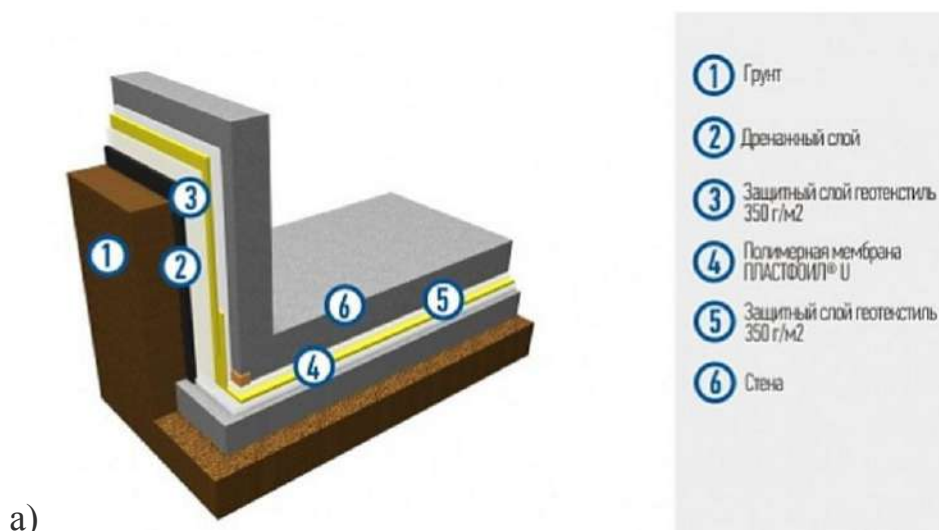


Рисунок 1.1 - Схемы устройства гидроизоляции фундаментов с использованием ПВХ-мембран ПЛАСТФОИЛ®: а – традиционная схема; б – стена в грунте.

Для учета характера совместной работы фундамента и пакета гидроизоляции необходимо провести ряд испытаний по определению коэффициента трения между железобетонным фундаментом, пакетом гидроизоляции (ПВХ-мембраной ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (ПЛАСТФОИЛ® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016) с прокладкой геотекстиля с двух сторон) и надфундаментной железобетонной конструкцией, при давлении на опорную поверхность 0,4 МПа.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

2.1 Исходные материалы, подготовка образцов

Для исследований были взяты образцы ПВХ-мембраны ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (PLASTFOIL® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016), изготовленной методом экструзии и каландрования из суспензионного поливинилхлорида, соответствующего ГОСТ 14332-78, с добавлением наполнителей и технологических добавок. ПВХ-мембрана представляет собой двухслойный полимерный гидроизоляционный материал с армированием или без него. Верхний слой имеет контрастный цвет для идентификации повреждений в период монтажа. ПВХ-мембрана PLASTFOIL® применяется для гидроизоляции фундаментов зданий и сооружений, мостов, тоннелей, паркингов, резервуаров, эксплуатируемых кровель.

В таблице 2.1 представлены основные характеристики исследуемой ПВХ-мембраны.

Таблица 2.1 Технические характеристики ПВХ-мембраны ПЛАСТФОИЛ® U (PLASTFOIL® GEO)

Толщина, мм	Ширина, мм	Длина в рулоне, мм	Тип армирования	Измерение линейных размеров при нагревании, %, не более	Гибкость на брус с радиусом закругления 5 мм, при температуре, °С
2,0 1,5	2 000	20 000	без армирования	1,5	-45
Прочность при растяжении и МПа вдоль/поперек	Удлинение при тах нагрузке, %, не менее вдоль/поперек	Водонепроницаемость	Водопоглощение, %, не более	Группа горючести	Группа распространения пламени/воспламеняемости
17/17	300/300	Водонепроницаем	0,1	Г4	ВЗ/РП4

Для определения коэффициента трения между железобетонным фундаментом, пакетом гидроизоляции (ПВХ-мембраной ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (PLASTFOIL® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016) с прокладкой геотекстиля с двух сторон) и надфундаментной железобетонной конструкцией, при давлении на опорную поверхность 0,4 МПа был проведен ряд испытаний на истирание на дисковой машине МИ-2 (ГОСТ 426-77).

Условия трения были смоделированы путем замены абразивной сетки на круг из ПВХ-мембраны диаметром 20 см; в качестве истирающих образцов были использованы призмы из цементно-песчаного раствора состава 1:2 с размерами 10x10x15 мм.

Общий вид образцов ПВХ-мембраны и бетонных кубиков представлен на рисунке 2.1.

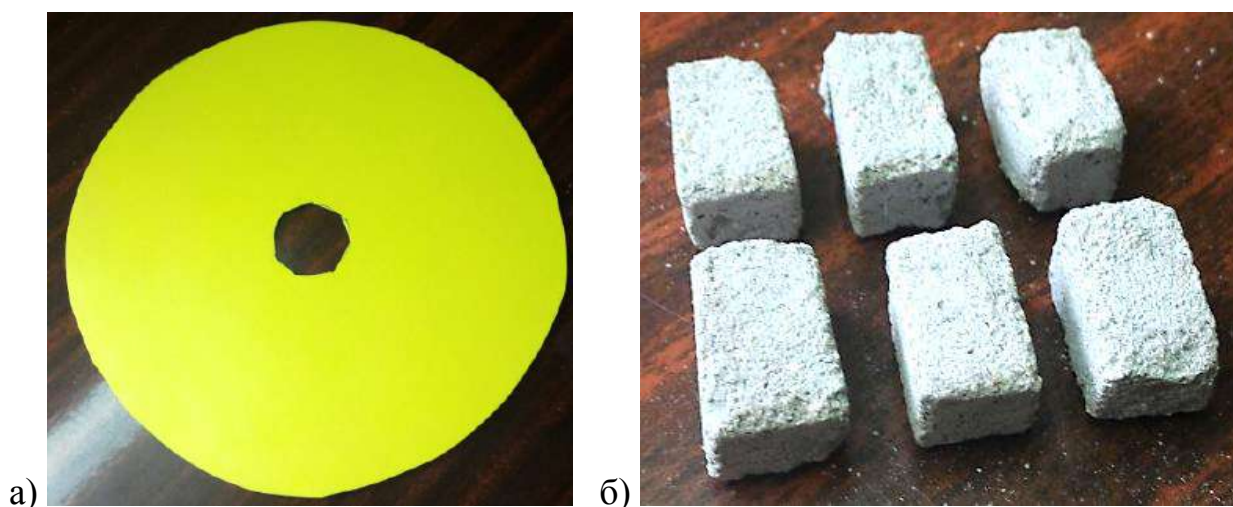


Рисунок 2.1 – Образцы для испытаний на истирание: а – ПВХ-мембрана; б – бетонные образцы.

Также для оценки коэффициента трения были проведены статические испытания, где силу трения, необходимую для начала движения одной поверхности по другой, фиксировали с помощью динамометра.

В качестве подвижной поверхности использовали бетонный кубик 10x10x10 см, который двигали по поверхности ПВХ-мембраны PLASTFOIL® GEO размерами 40x40 см.

2.2 Приборы и приспособления для проведения испытаний

Испытания проводили на дисковой машине МИ-2 ГОСТ 426-77. Схема машины показана на рисунке 2.2 [6].

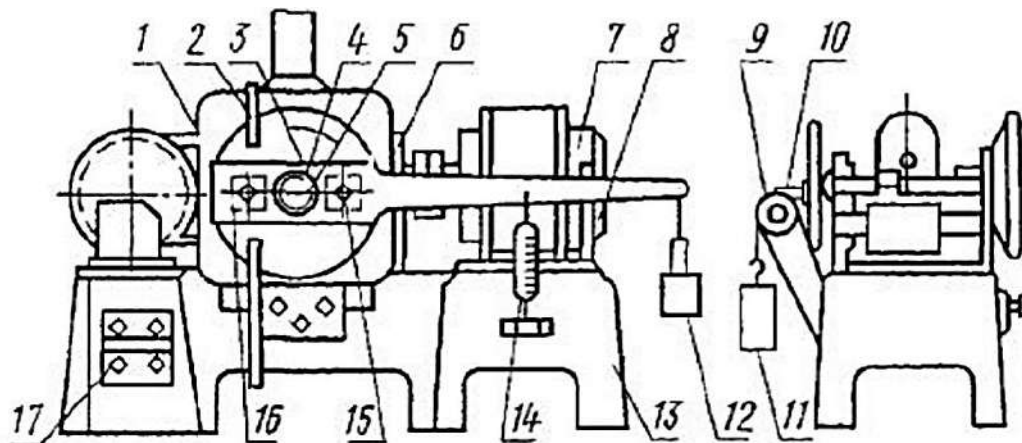


Рисунок 2.2 – 1 - кожух; 2 - воздуховод; 3 - неравноплечий рычаг; 4 - диск; 5 - полый вал; 6 - редуктор; 7 - электромотор; 8 - скоба; 9 - ролик; 10 - грузовой стержень; 11 - постоянный груз; 12 - уравнивающий груз; 13 - станина; 14 - динамометр; 15 - винты; 16 - рамка-держатель; 17-выключатель.

Машина данного типа имеет следующие достоинства [2]:

- полное скольжение, что обеспечивает достаточную интенсивность износа и поэтому сокращает длительность испытаний;
- малая скорость (0,3 м/сек) и малые нагрузки (до 1,2 МПа) в результате дают небольшую мощность трения, которая не вызывает большого разогрева поверхности, что существенно при истирании полимерных материалов, чувствительных к температуре;

- истирание в широком диапазоне удельных нагрузок (0,002-1,2 МПа);
- простота в эксплуатации, что позволяет легко менять контртело (притирка образцов проводится по шкурке), а также легко *модернизировать* машину для создания *определенных внешних условий истирания*.

Весь цикл испытаний на износ согласно ГОСТ 426-77 состоит из следующих стадий:

- притирка образца к истирающей поверхности;
- истирание образца на определенном пути;
- определение потери веса при истирании;
- расчет характеристик износа и трения.

2.3 Методика проведения испытаний, обработка экспериментальных данных

2.3.1 Методика определения коэффициента трения с помощью дисковой машины МИ-2

Для определения коэффициента трения используют испытательную машину МИ-2 (п. 2.2). Принципиальная схема испытательной части дисковой машины представлена на рисунке 2.3.

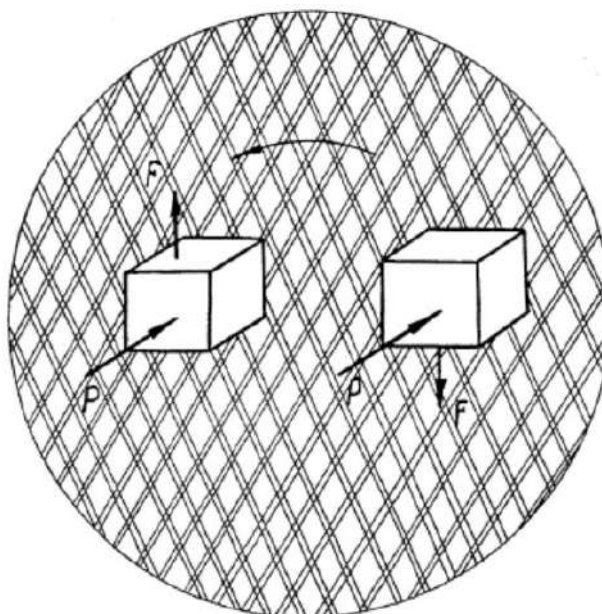


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема испытательной части дисковой машины МИ-2

Методика испытания для определения коэффициента трения приводится в соответствии с нормативными документами [6-8].

1) На испытываемой поверхности образцов не должно быть раковин, сколов, пор и других дефектов, видимых невооруженным глазом.

2) Перед испытанием бетонные образцы притирают по шлифовальной шкурке до достижения полного прилегания образцов к ее истирающей поверхности. Для этого на подвижный диск машины накладывают шлифовальную шкурку по ГОСТ 6456-82, ГОСТ 5009-82.

Для проведения притирки образцы закрепляют в соответствующие держатели и помещают их в гнезда держателей машины. По окончании приработки образцы вместе с держателем снимают с машины и очищают контактирующие поверхности от продуктов износа.

3) Испытания проводят при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности (50 ± 5) %. Вместо абразивного диска в испытательную машину закрепляют круг из ПВХ-мембраны (рис. 2.1 а). Бетонные образцы вместе с держателями устанавливают на машину и прикладывают нагрузку, обеспечивающую создание прижимного давления 0,4 МПа.

4) К держателю с помощью грузов ступенчато прикладывают нагрузку F (рис. 2.3) до момента начала движения одной поверхности по другой.

5) Коэффициент трения вычисляют по формуле 1.3. При этом за значение силы трения принимают среднее арифметическое результатов всех параллельных определений.

2.3.2 Методика определения статического коэффициента трения

Статический или начальный коэффициент трения связан с измеренной силой, необходимой для начала движения одной поверхности по другой.

Для его вычисления необходимо с помощью динамометра зафиксировать силу, необходимую для начала движения бетонного кубика 10x10x10 см по поверхности ПВХ-мембраны.

Схема испытания приведена на рисунке 2.4.

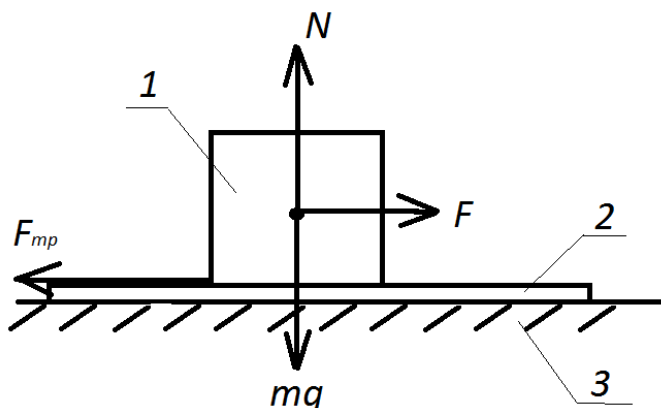


Рисунок 2.4 – Схема определения статического коэффициента трения:
1 – бетонный кубик; 2 – ПВХ-мембрана; 3 – опорная поверхность

По полученной силе F_1 , равной по модулю $F_{мп1}$, вычисляли коэффициент трения μ_1 по формуле 1.3. В данном случае нагрузка на поверхность мембраны обеспечивалась собственным весом бетонного кубика ($N_1=mg$).

Затем к собственному весу бетонного кубика добавляли ступенчато нагрузку N_i с помощью грузов одинаковой массы (3 кг).

Для каждого последующего испытания фиксировали силу F_i и вычисляли коэффициент трения μ_i . По полученным значениям построили зависимость в координатах N - μ . Значение коэффициента трения при заданном давлении 0,4 МПа рассчитывали экстраполяцией.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

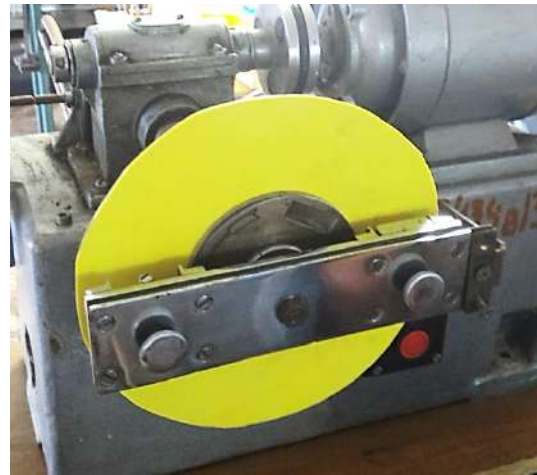
3.1 Определение коэффициента трения с помощью дисковой машины МИ-2

Для определения коэффициента трения между железобетонным фундаментом и пакетом гидроизоляции, при давлении на опорную поверхность 0,4 МПа, были проведены испытания на дисковой машине МИ-2 по методике, представленной в п. 2.3.1.

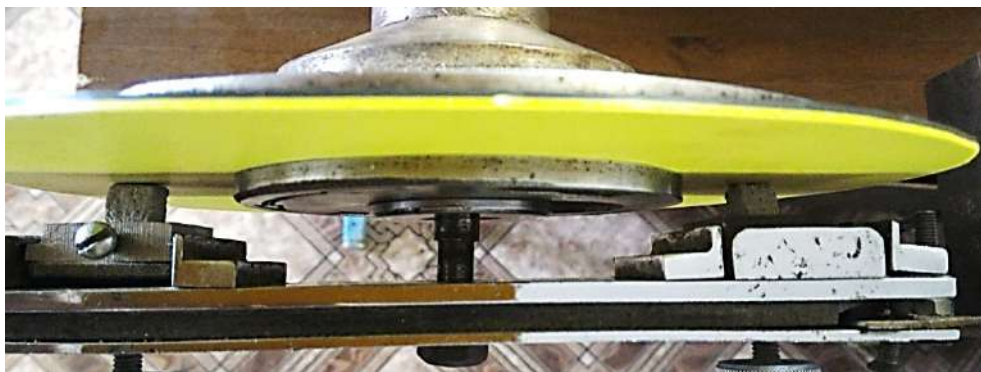
На рисунке 3.1 показана последовательность проведения испытания.



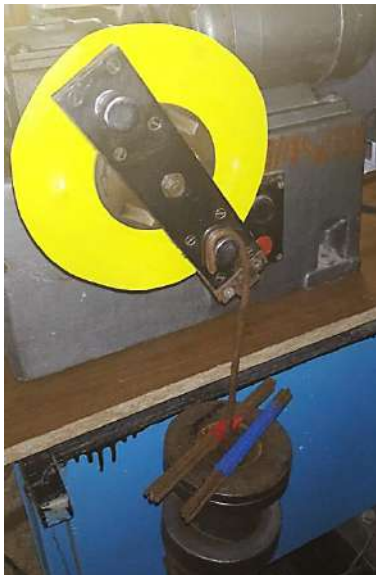
а)



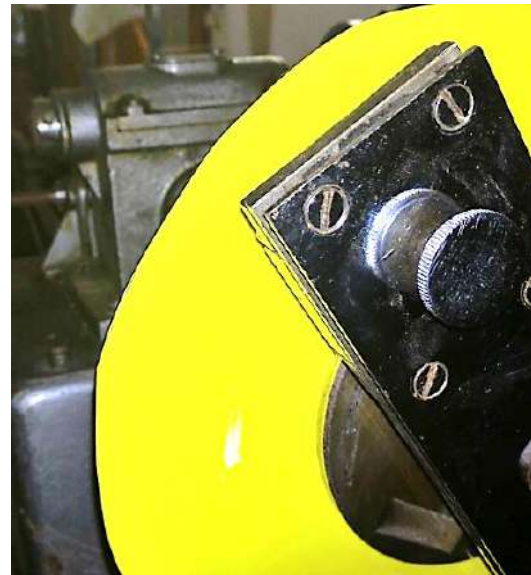
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3.1 – Определение коэффициента трения с помощью дисковой машины МИ-2: а – создание прижимного давления 0,4 МПа; б – фиксация держателя на поверхности мембраны; в – закрепление бетонных образцов в держателе; г – приложение силы до потери сцепления с поверхностью; д – след скольжения на поверхности ПВХ-мембраны.

Полученные результаты представлены таблице 3.1:

Таблица 3.1. Определение коэффициента трения с помощью дисковой машины МИ-2

№ испытания	Давление на опорную поверхность, МПа	Прижимное усилие N , кгс (в расчете на площадь поверхности образцов 2 см^2)	Максимальная нагрузка F , кгс	F_{cp} , кгс	μ
1	0,4	8,0	9,24	9,6	1,2
2	0,4	8,0	8,8		
3	0,4	8,0	10,53		
4	0,4	8,0	10,3		
5	0,4	8,0	9,21		

Из таблицы 3.1 видно, что коэффициент трения при заданных условиях несколько завышен: $\mu=1,2$, что превышает табличное значение коэффициента трения для поливинилхлорида в 2 раза (табл. 1.1).

Это объясняется тем, что в стандартных испытаниях трение выполняется по стальному диску, имеющему более гладкую поверхность. При этом заданное давление в 0,4 МПа (нагрузка $N=8$ кг) при маленькой площади бетонных образцов (2 см^2) обеспечивает вдавливание контртела (бетонных кубиков) в поверхность ПВХ-мембраны.

Происходит истирание, дающее эффект среза (микрорезания), благодаря чему необходимое усилие для сдвига бетонного кубика по поверхности ПВХ-мембраны F оказывается выше прижимного усилия N , т. е. в данном случае коэффициент трения $\mu > 1$.

3.2 Определение статического коэффициента трения

Данные испытания позволят получить значение коэффициента трения как постоянной величины для заданных материалов, не зависимо от величины давления бетонного образца на поверхность ПВХ-мембраны.

Для определения статического коэффициента трения были проведены испытания по методике, представленной в п. 2.3.2.

Полученные результаты представлены на рисунке 3.2.

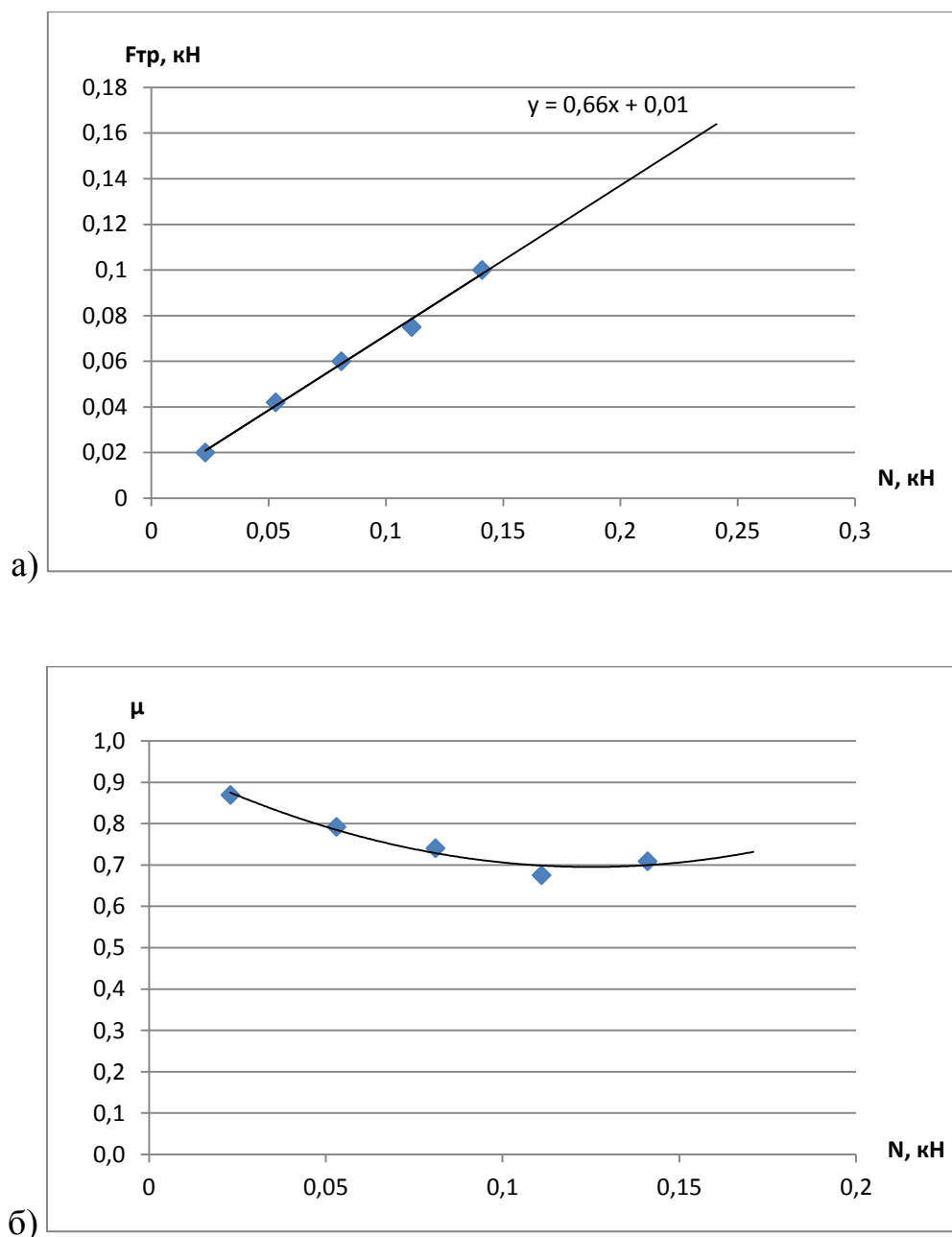


Рисунок 3.2 - Определения коэффициента трения: а – зависимость силы трения от нагрузки; б - зависимость коэффициента трения от нагрузки.

Из рисунка 3.2а видно, что при увеличении нагрузки N сила трения F также возрастает, причем полученный график имеет линейную зависимость в заданном интервале нагрузок. На рисунке 3.2а показано уравнение прямой:

$$F_{тр} = 0,66N + 0,01$$

Для создания заданного давления 0,4 МПа на площадь куба 0,01 м² необходимо приложить нагрузку 4 кН (400 кгс), что неосуществимо в лабораторных условиях.

Однако, при экстраполяции полученной зависимости, можно вычислить:

$$F_{mp} = 0,66N + 0,01 = 0,66 \cdot 4 + 0,01 = 2,65 \text{ кН} - \text{сила трения при нагрузке 4 кН.}$$

Тогда по формуле 1.3:

$$\mu = F_{mp}/N = 2,65/4 = 0,66$$

Таким образом, уравнение прямой будет иметь вид:

$$y = 0,66x + 0,01$$

Здесь коэффициент при x – тангенс угла наклона прямой – определяет величину коэффициента трения μ :

$$\mu = 0,66$$

На рисунке 3.2б показана зависимость коэффициента трения от приложенной нагрузки. Из рисунка видно, что для исследуемых материалов коэффициент трения лежит в интервале от 0,65 до 0,87.

При этом следует отметить, что при увеличении нагрузки растет коэффициент трения. Это подтверждает результаты, полученные в п. 3.1.

ВЫВОДЫ

Для учета характера совместной работы фундамента и пакета гидроизоляции проведен ряд испытаний по определению коэффициента трения между бетонными образцами и ПВХ-мембраной ПЛАСТФОИЛ® U ТУ 5774-010-54349294-2015 (PLASTFOIL® GEO ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016) при давлении на опорную поверхность 0,4 МПа.

При испытаниях на дисковой машине МИ-2, с давлением на опорную поверхность 0,4 МПа, вычислен коэффициент трения $\mu=1,2$. Так как при больших нагрузках и маленькой площади бетонных образцов обеспечивается вдавливание контртела (бетонных кубиков) в поверхность ПВХ-мембраны, происходит эффект среза. При этом усилие, необходимое для сдвига бетонного кубика по поверхности ПВХ-мембраны F , оказывается выше прижимного усилия N , т. е. коэффициент трения $\mu > 1$.

При определении статического коэффициента трения, не учитывающего давление бетонного образца на поверхность ПВХ-мембраны, была получена линейная зависимость $F_{mp}=0,66N+0,01$. Величина коэффициента трения $\mu=0,66$.

Однако, при определении зависимости коэффициента трения от приложенной нагрузки, наблюдается возрастание μ при увеличении N , что объясняет ранее полученные результаты.


СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? М.: Химия, 1992.
2. Ярцев В.П. Физико-технические основы работоспособности органических материалов в деталях и конструкциях: Дис... д-ра техн. наук. – Воронеж, 1998.-350с.
3. Ратнер С.Б. Термофлуктуационные закономерности истирания полимеров / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев // Теория трения, износа и проблемы стандартизации: Сборник – Брянск: Приокское кн. изд-во, 1978. – С. 150-162.
4. Ульянов В.М. Поливинилхлорид / В.М. Ульянов, Э.П. Рыбкин, А.Д. Гуткович, Г.А. Пишин. – М.: Химия, 1992, 288 с.
5. Игнатова О. А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч. 2. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие. - М.: Издательский центр «Академия», 2012. 228 с.
6. ГОСТ 426-77 Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении
7. ГОСТ 27492-87 Материалы электроизоляционные полимерные пленочные и листовые. Метод определения коэффициентов трения
8. ГОСТ 11629-75 Пластмассы. Метод определения коэффициента трения

Отчёт выполнен на основе исследований, проведенных сотрудниками кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Ответственный исполнитель - Ярцев В.П. доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Конструкции зданий и
сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

 (Ярцев В.П.)

Подпись заверяю.

Доктор технических наук, профессор
директор Института архитектуры,
строительства и транспорта
ФГБОУ ВО «ТГТУ»



 (Монастырев П.В.)