

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**

**по теме:**

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НА УРОВНЕ  
МАТЕРИАЛА РУЛОННОГО ПОЛИМЕРНОГО  
ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО «LOGICROOF T-SL»**

---

профессор кафедры  
«Соппротивление материалов»  
ФГБОУ ВПО МГСУ, к.т.н.



Джинчвелашвили Г.А.

---

Москва – 2015

---

## **Оглавление**

<b>1. ЗАДАНИЕ НА РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НА УРОВНЕ МАТЕРИАЛА РУЛОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО «LOGICROOF T-SL».....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. МЕТОДОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Испытательное оборудование .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Описание эксперимента .....</b>	<b>9</b>
<b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ .....</b>	<b>12</b>
<b>5. ПРОВЕРКА СДВИГА И ОПРОКИДЫВАНИЯ ЗДАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ .....</b>	<b>15</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>17</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>18</b>

## **1. ЗАДАНИЕ НА РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НА УРОВНЕ МАТЕРИАЛА РУЛОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО «LOGICROOF T-SL»**

Подрядчик своими силами, используя свои материалы и оборудование и с помощью базы данных Заказчика, выполняет следующие работы:

- определяет коэффициент трения на уровне материала рулонного полимерного гидроизоляционного «LOGICROOF T-SL».

- напряжения при испытаниях принимать равными от 0,2 до 0,3 МПа и 0,4 до 0,9 МПа.

- Результат выполнения работ оформляется в двух экземплярах на бумажном носителе.

Целью работ является оценка способности фундамента воспринимать сдвигающие усилия при наличии гидроизоляции.

Для достижения поставленной цели необходимо определить коэффициент трения между железобетонным фундаментом пакетом гидроизоляции и надфундаментной железобетонной конструкцией.

---

## 2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

2.1. Коэффициент трения ( $\mu$ ) вычисляют по формуле

$$\mu = \frac{F_{\text{ср}}}{P}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{ср}}$  - среднее арифметическое значение сил трения (рис.1), определенное для всех испытанных групп образцов, с учетом потерь на трение в самой машине, Н;  
 $P$  - нагрузка, прижимающая испытуемые образцы к контртелу, Н.

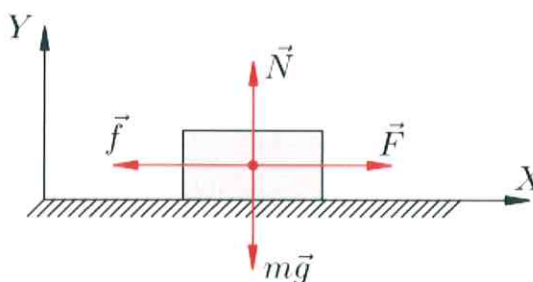


Рис.1. Принципиальная схема определения коэффициента трения.

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

С другой стороны, сила трения скольжения зависит от силы нормальной реакции опоры ( $N$ ), которая возникает вследствие 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:

$$F_{\text{тр}} = \mu N. \quad (2)$$

Здесь  $\mu$  – это *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  $\mu$  имеет разное значение.

Из формулы (2) следует, что зная силы трения и нормальной реакции, можно определить коэффициент трения для любых поверхностей:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}. \quad (3)$$

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:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg}. \quad (4)$$

**Трение покоя** проявляется в том случае, если тело, находившееся в состоянии покоя, приводится в движение. Коэффициент трения покоя обозначается  $\mu_0$ .

**Трение скольжения** проявляется при наличии движения тела, и оно значительно меньше трения покоя.  $\mu_{\text{ск}} < \mu_0$ .

Сила трения скольжения всегда направлена противоположно движению тела. При изменении направления скорости изменяется и направление силы трения.

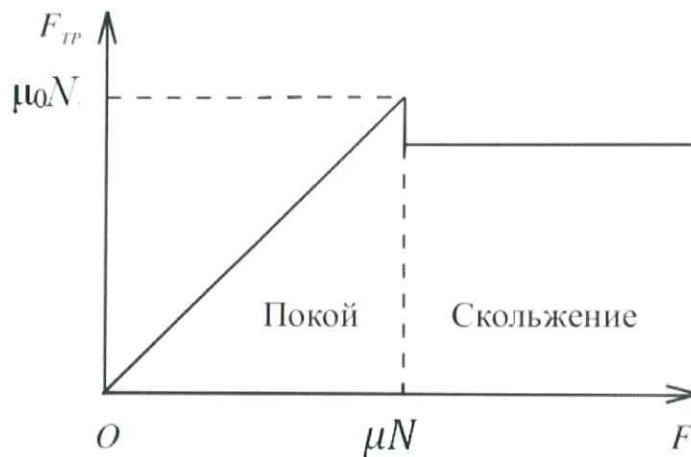


Рис.2. Иллюстрация коэффициента трения покоя и коэффициента трения скольжения.

Сила трения начинает действовать на тело, когда его пытаются сдвинуть с места. Если внешняя сила  $F$  меньше произведения  $\mu N$ , то тело не будет сдвигаться — началу движения, как принято говорить, мешает сила трения покоя. Тело начнет движение только тогда, когда внешняя сила  $F$  превысит максимальное значение, которое может иметь сила трения покоя

Трение покоя – сила трения, препятствующая возникновению движению одного тела по поверхности другого.

2.2. Мерой случайных погрешностей при многократном измерении величины  $x$  может служить среднее квадратичное отклонение, которое определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x_{\text{ср}})^2}{n}}, \quad (5)$$

где  $n$  - количество измерений,  $x_i$  - значение величины в единичном опыте.

2.3. Теория вероятности дает в случае многократного измерения величины значение для абсолютной погрешности измерения:

$$\Delta x = \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

2.4. За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов всех параллельных определений. Допускаемые расхождения между параллельными определениями должны быть указаны в нормативно-технической документации на материал.

2.5. Все данные испытаний записывают в протокол, который должен содержать:

- наименование и марку материала с указанием обозначения стандарта или технических условий;
  - наименование испытательной машины;
  - количество испытанных групп образцов и количество образцов в группе;
  - коэффициент трения каждой группы образцов;
  - дату испытания;
  - обозначение настоящего стандарта.
-

### 3. МЕТОДОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

#### 3.1. Испытательное оборудование

3.1.1. Коэффициент трения определяют согласно действующему стандарту **ГОСТ 11629-75** «Метод определения коэффициента трения. Пластмассы».

3.1.2. Для определения коэффициента трения используем испытательную разрывную машину МИРК-К (рис.3), которая предназначена для статических испытаний на растяжение образцов стальных канатов и изделий из них по ГОСТ 3241-91 обеспечивает:



Разрывная машина МИРК-1000К

Рис.3. Разрывная машина МИРК-1000К.

3.1.3. Нагружающие устройства разрывной машины представляет собой силовую установку горизонтального типа. Испытательный образец подвергается заделке по ГОСТ 25573-82 и устанавливается в захватные устройства типа «вилка», одно из которых установлено неподвижно, а второе на подвижной траверсе. Зона испытаний имеет защитное ограждение.

3.1.4. Разрывная машина МИРК оснащена автоматизированными цифровыми системами измерения/управления ASTM-Digital «Профессиональная»,

обеспечивающая автоматическое управление процессом нагружения в соответствии параметрами, заданными оператором на ЭВМ, и его визуализацию.

3.1.5. Разрывная машина позволяет:

- измерение силы трения с погрешностью не более 5 % от измеряемой величины при статической тарировке;
- многократное скольжение образцов по одному и тому же следу на плоскости контртела.

3.1.6. Технические характеристики:

Наибольшая номинальная нагрузка – 1000 кН.

Цена единицы наименьшего разряда динамометра – 0,02 кН.

Габаритные размеры 3000х900х600 мм.

Ширина рабочего пространства – 450 мм.

3.1.7. Для давлений от 0,1 до 0,3 МПа – используется динамометр, работающий на растяжение, фирмы Tidemann, с максимальным усилием до 1 кН (рис.4,а). Для давлений от 0,4 до 0,9 МПа – используется динамометр ДПУ-5, также работающий на растяжение, с максимальным усилием до 5 кН (рис.4,б).



а)



б)

Рис.4. Динамометры: а) фирмы Tidemann, с максимальным усилием до 1 кН; б) ДПУ-5, также работающий на растяжение, с максимальным усилием до 5 кН.



## 3.2. Описание эксперимента

3.2.1. Опорная поверхность принимается в виде бетонной бордюрной плиты размером 20x50 см и толщиной 7 см. Пятно нагрузки передается на опорную поверхность при помощи бетонного кубика. Размеры бетонных кубиков принимались различными, при различной величине давления на опорную поверхность:

- для давлений от 0,1 до 0,3 МПа – бетонная призма размерами 5x18x10 см;
- для давлений от 0,4 до 0,9 МПа – бетонный кубик размерами 5x5x5 см;

3.2.2. Между бетонными поверхностями располагается гидроизоляционный пакет, который состоит из двух слоев на основе геотекстиля и между ними помещается полимерный гидроизоляционный материал «LOGICROOF T-SL» размерами 20x40 см.

3.2.3. Геотекстиль иглопробивной термообработанный – нетканое полотно из синтетических волокон, изготавливаемое способом иглопробивания.

3.2.4. Таким образом, получается гидроизоляционный пакет для испытаний. Целью эксперимента является определение коэффициента трения между бетонной призмой, лежащей на гидроизоляционном пакете, и бетонной бордюрной плитой. Нагружение проводится посредством домкрата через деревянный брусок (рис.5).

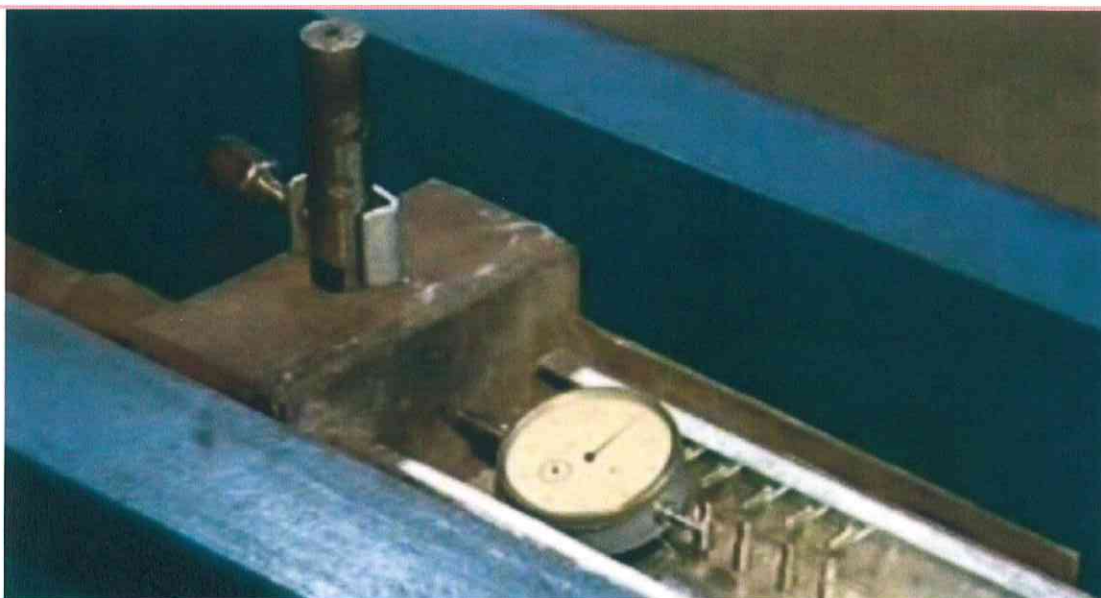


Рис.5. Схема нагружения материала.

3.2.5. Бетонный кубик нагружается при помощи домкрата, оснащенного динамометром.

3.2.6. Бетонный образец вытягивается при помощи силовой установки разрывной машины МИРК-1000К с динамометром. Таким образом, реализуется схема определения силы трения, приведенного на рис.1. Общий вид установки, готовой к эксперименту приведен на рис.6.

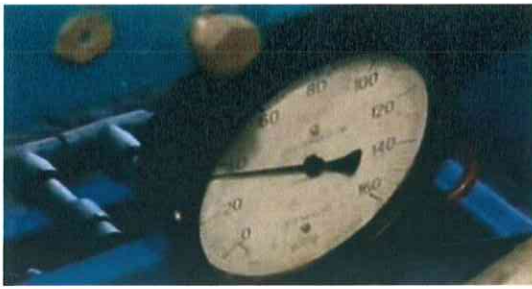


Рис.6. Общий вид разрывной машины, готовой к испытанию.

3.2.7. Бетонные образцы вместе с держателями и гидроизоляционным пакетом устанавливаются на машину и прикладываются нагрузки, обеспечивающие создание удельной нагрузки 0,1 – 1,0 МПа. Включают машину и начинают испытание.

3.2.8. В процессе трения измеряется сила трения. Способ измерения и регистрации силы трения определен конструкцией испытательной машины (рис. 7).

---



а)



б)

Рис.7. Измерение силы трения при помощи динамометра: а) - для давлений от 0,1 до 0,3 МПа; б) для давлений от 0,4 до 1, МПа.

3.2.9. Отсчет силы трения производят через каждые 5 мин после начала испытания.

3.2.10. Испытание считают законченным по достижении постоянной силы (момента) трения, но не ранее, чем через  $(25 \pm 5)$  мин после начала испытания. По окончании испытания контролер снимают с машины для очистки его поверхности.

---

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Масса пригруза, т, кг	Площадь опирания, S, см <sup>2</sup>	Давление на опорную поверхность, p, МПа	Показания динамометра, F, кг	Коэффициент трения, $\mu$
- для давлений от 0,1 до 0,3 МПа – бетонная призма размерами 5x18x10 см Динамометр до 100 кг				
97	90	0,106	30	0,309
			31	0,32
			32	0,33
			32	0,33
			32	0,33
172	90	0,187	54	0,314
			55	0,32
			56	0,326
			59	0,343
			56	0,326
207	90	0,226	71	0,343
			73	0,353
			74	0,357
			72	0,348
			75	0,362
278	90	0,303	95	0,342
			91	0,327
			94	0,338
			93	0,335
			95	0,342
- для давлений от 0,4 до 1,0 МПа – бетонная призма размерами 5x5x5 см Динамометр до 1000 кг				
100	25	0,4	33,6	0,336
			34,4	0,344
			35,4	0,354
			32,6	0,326
128	25	0,512	41,6	0,325
			47,7	0,372
			45,85	0,358
			37,42	0,298
156	25	0,624	49,5	0,387
			46,8	0,366
			45,9	0,359

			36,1	0,282
180	25	0,72	63,7	0,354
			66,66	0,37
			64,36	0,358
			58,83	0,327
210	25	0,84	77,2	0,368
			73,14	0,348
			75,55	0,36
			70,68	0,337
225,5	25	0,89	80,5	0,357
			86,1	0,382
			80,1	0,355
			68,9	0,306
255	25	1,02	71,6	0,281
			86,1	0,338
			101,66	0,399
			90,61	0,355

4.2. В табл.2 приведены результаты статистической обработки экспериментов по формулам (5) и (6).

Таблица 2.

Давление на опорную поверхность, р, МПа	Средний коэффициент трения, $\mu_{cp}$	Стандарт отклонения, $\sigma_{\mu}$	Абсолютная погрешность, $\Delta\mu$	Диапазон изменения коэффициента трения, $\mu = \mu_{cp} \pm \Delta\mu$
0,106	0,324	0,0083	0,011	0,324 $\pm$ 0,011
0,187	0,326	0,0097	0,013	0,326 $\pm$ 0,013
0,226	0,353	0,0067	0,009	0,353 $\pm$ 0,009
0,303	0,337	0,0056	0,007	0,337 $\pm$ 0,007
0,4	0,34	0,01	0,015	0,34 $\pm$ 0,015
0,512	0,338	0,029	0,043	0,338 $\pm$ 0,043
0,624	0,349	0,04	0,06	0,34 $\pm$ 0,06
0,72	0,352	0,016	0,024	0,352 $\pm$ 0,024
0,84	0,353	0,012	0,018	0,353 $\pm$ 0,018
0,89	0,35	0,028	0,041	0,35 $\pm$ 0,041
1,02	0,343	0,042	0,063	0,343 $\pm$ 0,063

4.3. На рис.8 приведен график изменения коэффициента трения в функции от уровня давления на гидроизоляционный пакет.

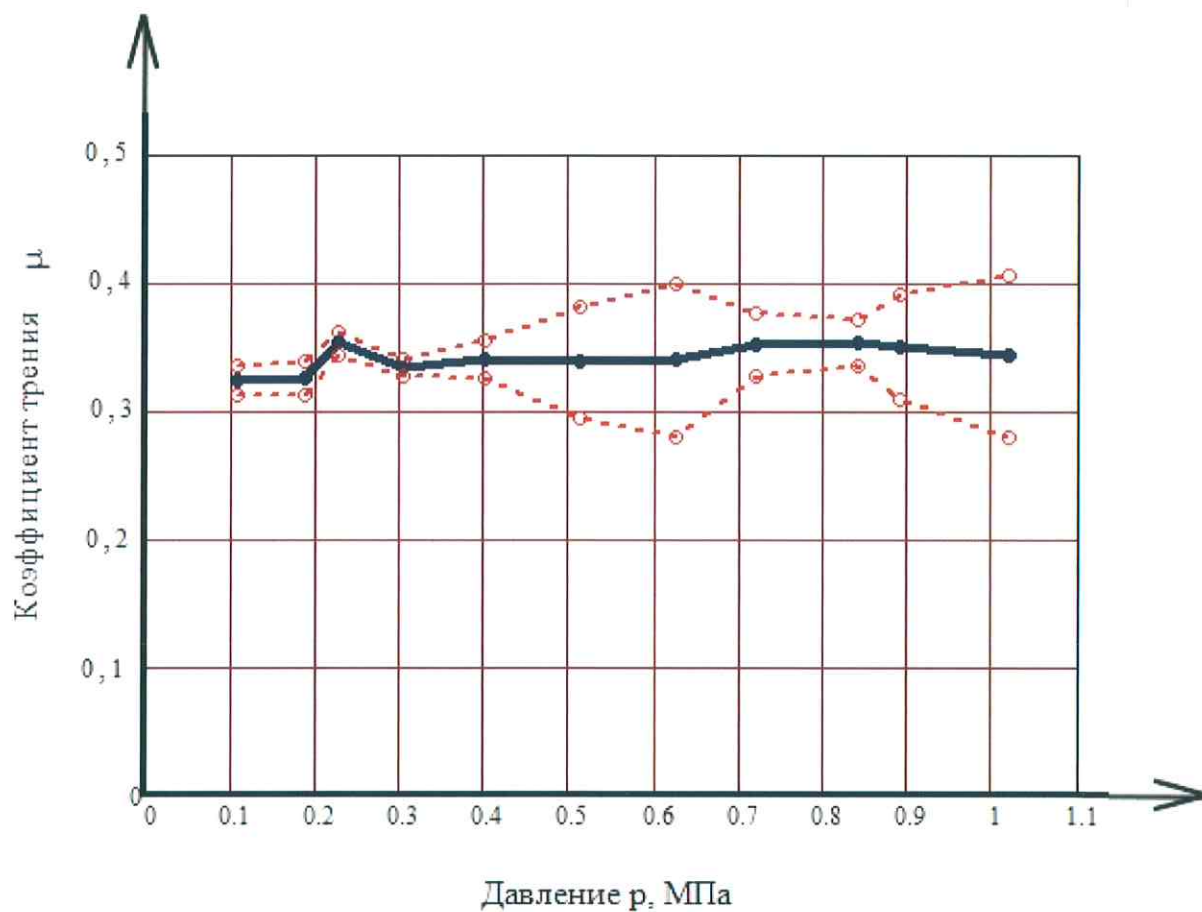


Рис.8. График изменения коэффициента трения в функции от уровня давления на гидроизоляционный пакет.

## 5. ПРОВЕРКА СДВИГА И ОПРОКИДЫВАНИЯ ЗДАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Теоретическое обоснование. Брусок с привязанной к длинной грани нитью поставим торцом на горизонтальную поверхность стола и потянем за нить. Если нить закреплена невысоко над поверхностью стола, то брусок будет скользить. При определённой высоте  $h$  точки  $A$  крепления нити сила натяжения нити  $F$  опрокидывает брусок (рис.9).

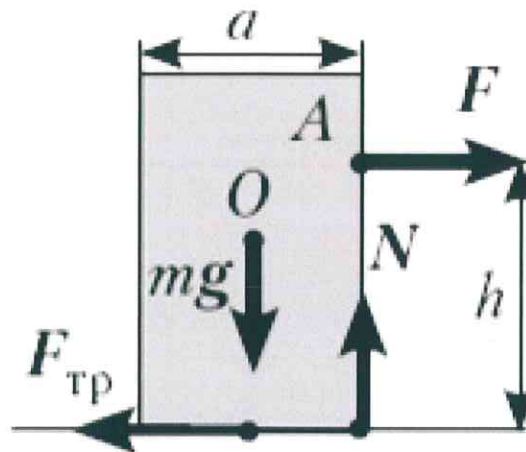


Рис.9. Брусок и действующие на него силы

Условия равновесия для этого случая относительно точки – угла опрокидывания:

$$Fh - mga/2 = 0; \quad (7)$$

$$F - F_{\text{тр}} = 0; \quad (8)$$

$$N - mg = 0. \quad (9)$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N. \quad (10)$$

С учётом выражения  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$  получим, что  $\mu mg = \frac{mga}{2}$ .

Отсюда

$$\mu = \frac{a}{2h}. \quad (11)$$

Исходя из уравнений (8) - (10) следует, что сдвиг здания, как единого целого, произойдет, если  $F = \mu N < A mg$ , где  $A = 0,1; 0,2$  или  $0,4$  при сейсмичности площадки 7, 8 и 9 баллов<sup>1</sup>, т.е., если

$$\mu > A. \quad (12)$$

Проверим условие опрокидывания. Из формул (7), (8) и (11), следует, что опрокидывание произойдет, если

$$\mu mg > \frac{mga}{2}. \quad (13)$$

Но так как

$$\mu = \frac{a}{2h}. \quad (14)$$

То опрокидывания не произойдет.

---

<sup>1</sup> СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах. Правила проектирования. – М.: ЦНС, 2003. – 48 с.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных работ можно прийти к следующим выводам:

1. Коэффициент трения между фундаментом здания и надземной частью по материалу рулонному полимерному гидроизоляционному «LOGICROOF T-SL» с учетом подстилающего и покрывного слоев из геотекстиля изменяется в диапазоне 0,3 – 0,4.

2. По своим физико-механическим характеристикам гидроизоляционный пакет из материала рулонного полимерного гидроизоляционного «LOGICROOF T-SL» и геотекстиля рекомендуется к применению в районах с сейсмичностью до 9 баллов по шкале MSK-64, т.к. воспринимает поперечную сдвигающую силу (без проскальзывания)  $0,3 - 0,4 mg$ , где  $m$  – масса надфундаментных конструкций здания.

профессор кафедры  
«Соппротивление материалов»  
ФГБОУ ВПО МГСУ, к.т.н.

Г.А. Джинчвелашвили

Подпись Джинчвелашвили Гурама Автандиловича  
заверяю.  
Начальник управления  
по работе с персоналом



Макателемский В.И.

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. Лабораторный практикум по механике. Часть 1. Учебное пособие/ А.Л. Клавсюк, Е.А. Никонорова, А.М. Салецкий, А.И. Слепков. – М.: ООП Физ. Фак-та МГУ, 2014. – 215 с.
2. Шилов В. Ф. Лабораторные работы в школе и дома: механика.—М.: «Просвещение», 2007.
3. С. И. Кабардина, Н. И. Шефер. Измерения физических величин. Элективный курс: Методическое пособие—М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
4. **ГОСТ 11629-75** «Метод определения коэффициента трения. Пластмассы». - 3 с.
5. Определение коэффициента силы трения скольжения: Методические указания к выполнению лабораторной работы М-19 по курсу общей физики / сост. Н.С. Кравченко, Н.И. Гаврилина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехн. Университета, 2012. – 10 с.
6. СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах. Правила проектирования. – М.: ЦНС, 2003. – 48 с.