

УДК 625.88

В.В. ДУМАНСКАЯ, В.С. МАРЧЕНКО, Н.В. СИДОРОВА, Ю.В. ДОЦЕНКО
Одесская государственная академия строительства и архитектуры**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН ДЕФОРМАЦИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФЭМ С ИЗМЕНЕННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ ОСНОВАНИЯ**

Разработаны новые конструктивно-технологические решения покрытий пешеходных дорог и площадок из фигурных элементов мощения (ФЭМ) с измененной геометрической формой основания. Рифленое основание такой плитки состоит из зубчатых пирамидальных элементов. Для определения толщины конструктивного слоя, расположенного под ФЭМ, необходимо исследовать зоны деформации, образующиеся в нем. В статье предложены план и методика проведения экспериментальных исследований.

Ключевые слова: покрытия пешеходных дорог и площадок, фигурный элемент мощения, плитка, зона деформации, рифленое основание, зубчатые элементы, пирамидальная форма.

В.В. ДУМАНСЬКА, В.С. МАРЧЕНКО, Н.В. СИДОРОВА, Ю.В. ДОЦЕНКО
Одеська державна академія будівництва та архітектури**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОН ДЕФОРМАЦІЇ ПОКРИТТІВ З ФЕМ ЗІ ЗМІНЕНОЮ ГЕОМЕТРИЧНОЮ ФОРМОЮ ОСНОВИ**

Розроблені нові конструктивно-технологічні рішення покриттів пішохідних доріг і майданчиків з фігурних елементів мостіння (ФЕМ) зі зміненою геометричною формою основи. Рифлена основа такої плитки складається із зубчастих пірамідальних елементів. Для визначення товщини конструктивного шару, розташованого під ФЕМ, необхідно дослідити зони деформації, що утворюються в ньому. У статті запропоновані план та методика проведення експериментальних досліджень.

Ключові слова: покриття пішохідних доріг і майданчиків, фігурний елемент мостіння, плитка, зона деформації, рифлена основа, зубчасті елементи, пірамідальна форма.

V.V. DUMANSKA, V.S. MARCHENKO, N.V. SYDOROVA, J.V. DOTSENKO
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture**STUDY OF THE ZONES OF DEFORMATION OF COATINGS FROM FEP WITH MODIFIED GEOMETRIC SHAPE OF THE BASE**

New constructive-technological solutions of coatings of sidewalks and squares from figured elements of paving (FEP) with modified geometric shape of the base are developed. The corrugated base of this tile consists of toothed pyramidal elements. The change in the geometrical shape of the base of the FEP contributes to increase the bearing capacity and ensure the quality characteristics of the coatings. To determine the thickness of the structural layer located under the FEP, it is necessary to study of the zones of deformation, formed in it. Previous studies of the zones of deformation of coatings from tiles with a pyramidal base indicated the possibility of reducing the thickness of the underlying structural layer.

The article proposes a plan and a methodology of conducting experiments to study the deformation zones formed in the coatings of FEP with a corrugated base from toothed pyramidal elements under the influence of a vertically applied load to determine the thickness of the underlying structural layer. A scheme for conducting two parts of experimental studies is developed. The most significant factors that affect the functioning of the coating and determine the quality of the constructive-technological solution were chosen. The equipment necessary for carrying out the experiments was selected. The values of the output parameters that characterize the bearing capacity of the coating when exposed to a vertically applied load were selected and indicate to the required thickness of the structural sand layer for each coating variant. Experiments to observe the deformation zones formed in the constructive sand layer of the base of the coatings will help to study the characteristics of the developed coating options in more detail, to choose the optimal variant from the proposed ones, and subsequently recommend it in the installing of sidewalks, walking paths and sites.

Key words: coatings of sidewalks and squares, figured element of paving, tile, zone of deformation, corrugated base, toothed elements, pyramidal form.

Постановка проблемы

В различных странах мира большое внимание уделяется благоустройству населенных пунктов. В последние годы широко распространено устройство покрытий тротуаров, пешеходных дорожек и площадок из мелкоштучных фигурных элементов мощения (ФЭМ). Покрытия из ФЭМ из бетона имеют ряд преимуществ перед асфальтобетонными покрытиями. К ним относятся улучшение внешнего вида

пешеходных зон населенных пунктов. Такие покрытия экологически чистые. Существует возможность замены разрушенных отдельных элементов новыми, либо разборки, а в дальнейшем обратной укладки покрытия при прокладке подземных коммуникаций. Сроки эксплуатации у таких покрытий выше. Но иногда в покрытиях из ФЭМ наблюдаются различные разрушения, такие, как провалы, выбоины, смещение отдельных элементов и т.п. Существуют разные причины, приводящие к таким разрушениям. Одна из них – неправильный выбор конструктивно-технологического решения покрытия. Для обеспечения высоких эксплуатационных показателей покрытий из ФЭМ необходимо правильно подобрать конструкцию покрытия. Следовательно, важной задачей строительства является поиск и исследование новых конструктивно-технологических решений покрытий.

Анализ последних исследований и публикаций

Фигурные элементы мощения бывают различной формы и размеров. Общим у них является то, что основание всех традиционных ФЭМ, контактирующее с нижележащим конструктивным слоем, плоское [1]. Из-за такой формы основания возможен горизонтальный сдвиг и разрушения плиток при приложении горизонтальной нагрузки больше допустимой (например, въезд автотранспорта на дорожку или площадку, масса которого больше допустимой при расчете конструкции покрытия) или некачественно выполненном жестком заземлении покрытия. Чтобы повысить качественные характеристики покрытий, разработаны новые конструктивно-технологические решения покрытий из ФЭМ с измененной геометрической формой основания. Одним отличным от традиционных вариантов покрытий является покрытие из ФЭМ с пирамидальной формой основания (Рис. 1).



Рис. 1. Образец фигурного элемента мощения с пирамидальным основанием с углом при вершине пирамиды 90°

Произведены лабораторные и натурные исследования покрытий из ФЭМ с пирамидальным основанием. Эксперименты включали в себя определение осадки плиток под воздействием вертикально приложенных статических (кратковременных и длительных) нагрузок, и при воздействии динамических нагрузок. Определены величины нагрузок, приводящие к фиксированной осадке 1, 2 и 3 мм. Анализ результатов исследований указал на преимущества покрытий из ФЭМ с пирамидальным основанием по сравнению с традиционными покрытиями из ФЭМ [2]. Также исследованы зоны деформации нижележащего конструктивного слоя из песка при воздействии статической вертикально приложенной нагрузки (Рис. 2). Испытания проводились как при воздействии нагрузки на одиночно стоящую плитку, так и на участок покрытия из плиток с пирамидальным основанием с углом при вершине пирамиды 70° , 125° и традиционных плиток с плоским основанием (т.е. угол при вершине пирамиды – развернутый, 180°). Исследования зон деформации указали на возможность уменьшения толщины нижележащего конструктивного слоя на 70 мм для покрытий из ФЭМ с пирамидальным основанием с углом при вершине пирамиды 70° и при расчетной нагрузке на покрытие $1,46 \text{ кг/см}^2$, и на 35 мм для ФЭМ с углом при вершине пирамиды 125° при той же расчетной нагрузке [3].

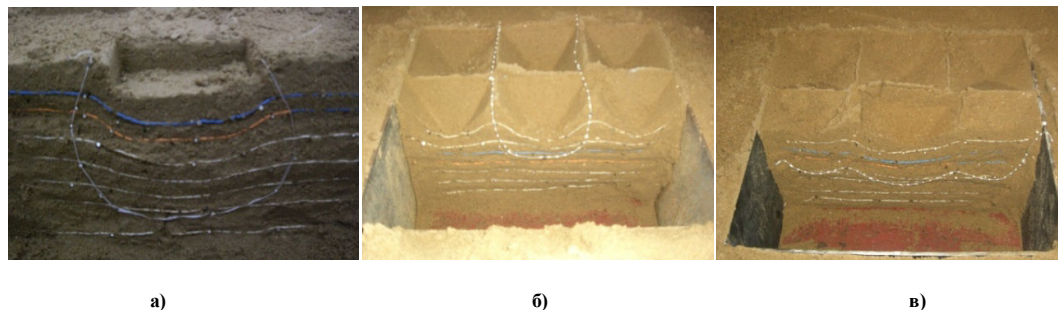


Рис. 2. Зона деформации при воздействии вертикально приложенной нагрузки $1,46 \text{ кг/см}^2$ на центральный образец участка покрытия из ФЭМ с пирамидальным основанием с углами при вершине пирамиды: а) 180° (плоское основание), б) 70° , в) 125°

Чтобы не увеличивать затраты на бетон для измененной формы основания, необходимо чтобы объем разработанных вариантов плиток был равен объему плитки с плоским основанием (при их равных размерах и форме в плане). Это достигается путем снижения высоты призматической части плиток с измененной формой основания. Недостатком покрытий из ФЭМ с пирамидальным основанием является тот факт, что чем острее угол при вершине пирамиды, тем объем пирамидального основания больший, и, соответственно, тем меньше высота призматической части таких плиток. Снижение толщины призматической части может привести к ослаблению и разрушению контуров плиток. При уменьшении величины угла при вершине пирамиды больше усилий приходится прикладывать для устройства ФЭМ в конструктивный слой. Для избежания вышеперечисленных недостатков и улучшения качественных характеристик покрытий разработано новое конструктивное решение покрытия из ФЭМ с рифленным основанием из зубчатых пирамидальных элементов. Такое решение можно использовать для различных по форме в плане плиток. Для ранее проведенных экспериментов была выбрана плитка, имеющая в плане форму квадрата. Предложено три варианта ФЭМ с измененной геометрической формой основания. В первом варианте основание ФЭМ состоит из одного зубчатого пирамидального элемента, расположенного по центру плитки. Во втором – из пяти зубчатых пирамидальных элементов, один из которых расположен в центре, а четыре других по углам плитки. В третьем – из девяти зубчатых пирамидальных элементов, расположенных в три ряда по три элемента в каждом (Рис. 3).



Рис. 3. Вариант фигурного элемента мощения с рифленным основанием из девяти зубчатых пирамидальных элементов

Выдвинуты гипотезы о преимуществах покрытий из ФЭМ с рифленным основанием из зубчатых пирамидальных элементов перед традиционными покрытиями. За счет формы основания увеличивается несущая способность покрытия. Это связано с тем, что, во-первых, увеличивается площадь основания, контактирующего с нижележащим конструктивным слоем, и, соответственно, внешняя нагрузка перераспределяется на больший объем нижележащего конструктивного слоя. Во-вторых, вокруг пирамидальных элементов при устройстве плитки формируется зона уплотнения. За счет дополнительного уплотнения нижележащего конструктивного слоя можно исключить операцию по уплотнению покрытия вибрационными катками. Пирамидальные элементы в основании плитки за счет жесткой фиксации в нижележащем конструктивном слое препятствуют ее горизонтальному смещению при приложении продольных нагрузок, например, от торможения автотранспорта. Проведенные исследования по воздействию продольных нагрузок на покрытия из ФЭМ с плоским и рифленным основанием, расположенных на горизонтальных и наклонных поверхностях, подтвердили гипотезы о преимуществах ФЭМ с рифленным основанием из пирамидальных элементов [4].

Преимущества покрытий из ФЭМ с рифленным основанием из зубчатых пирамидальных элементов перед покрытиями из ФЭМ с пирамидальным основанием состоят в следующем. Суммарный объем пирамидальных элементов в основании ФЭМ у них меньший и, соответственно, за счет снижения объема основания высота боковой грани призматической части увеличивается. Разница высот призматической части таких плиток относительно традиционных ФЭМ незначительно отличается, что не приведет к ослаблению этих плиток по контуру. При укладке в конструктивный слой покрытий из плиток с рифленным основанием необходимо затрачивать меньше усилий на их устройство (в сравнении с устройством покрытий из плиток с пирамидальным основанием). Чтобы рекомендовать предложенное конструктивное решение покрытия в строительное производство требуется проведение дополнительных лабораторных и натурных исследований. Для определения толщины нижележащего конструктивного слоя под ФЭМ с рифленным основанием необходимо проведение исследований зон деформации, образующихся при воздействии вертикально приложенных нагрузок. Ранее такие исследования не проводились.

Формулирование цели исследования

Целью работы является разработка плана и методики проведения экспериментов по исследованию зон деформации, образующихся в покрытиях из ФЭМ с рифленным основанием из зубчатых пирамидальных элементов под воздействием вертикально приложенной нагрузки, для определения толщины нижележащего конструктивного слоя.

Изложение основного материала исследования

Для исследования зон деформации разработанных вариантов покрытий в лабораторных условиях необходимо: выбрать наиболее значимые факторы, влияющие на работу покрытия и определить уровни их варьирования; составить план и разработать методику проведения экспериментов; подобрать оборудование и материалы.

Испытания планируется проводить на специально изготовленном опытно-производственном стенде (Рис. 4). Такой стенд состоит из лотка, в который устраивается исследуемое покрытие, и специально разработанного и изготовленного рычага, передающего на покрытие нагрузку, увеличенную в 16 раз. Планируется провести две части эксперимента. В первой части экспериментов исследуемое покрытие будет состоять из одного образца ФЭМ для каждой серии экспериментов. Во второй части в каждой серии экспериментов участок покрытия будет состоять из девяти образцов, расположенных по три образца в трех рядах. Для обеспечения жесткой заделки участков покрытий в лоток помещен специально изготовленный металлический короб квадратной формы в плане со стороной квадрата 370 мм, в который и будут устраиваться все исследуемые покрытия.



Рис. 4. Опытно-производственный стенд для исследования покрытий из ФЭМ с измененной геометрической формой основания

Наиболее значимыми факторами, влияющими на работу покрытия, выбраны: форма основания ФЭМ, величина вертикально приложенной нагрузки и время ее воздействия. Так как форма основания – первый наиболее значимый фактор, то для эксперимента выберем четыре варианта покрытий: первый – из ФЭМ с рифленным основанием с одним (центрально расположенным) зубчатым пирамидальным элементом; второй – из ФЭМ с рифленным основанием из пяти зубчатых пирамидальных элементов, расположенных в шахматном порядке (один в центре, остальные четыре по углам); третий – из ФЭМ с рифленным основанием из девяти пирамидальных элементов, расположенных в трех рядах по три элемента в каждом; четвертый вариант – традиционный ФЭМ с плоским основанием. Для каждого варианта покрытий проведем серию экспериментов. Все опытные образцы плиток выполняются из бетона класса В15. В плане они будут иметь форму квадрата со стороной 120 мм (независимо от формы основания). Угол при вершине пирамиды пирамидальных элементов для всех исследуемых вариантов покрытий примем равным 90° . Параметры пирамидальных элементов в основании ФЭМ во всех вариантах покрытия одинаковы, имеют квадратную форму со стороной квадрата 40 мм. Высоту боковой грани образца с плоским основанием принимаем равной 50 мм. Определили, что высота боковой грани призматической части образца с одним зубчатым элементом составит 49,3 мм, с пятью – 46,3 мм, а с девятью – 43,3 мм. Вторым наиболее значимым фактором, влияющим на работу покрытия, является величина вертикально приложенной нагрузки. На центральный образец каждого из четырех вариантов покрытий будет воздействовать нагрузка, равная: $0,486 \text{ кг/см}^2$; $0,972 \text{ кг/см}^2$; $1,458 \text{ кг/см}^2$. Выбор таких значений связан с тем, что, воздействие нагрузки на покрытия во время проведения лабораторных испытаний необходимо максимально приблизить к нагрузкам, воздействующим на покрытия в условиях эксплуатации. Минимальное значение соответствует величине нагрузки от пешехода, а максимальное – от заезда специального автотранспорта на покрытие. Нагрузка во всех экспериментах будет передаваться через упорный винт рычага на металлическую пластину, расположенную над центральным образцом. К четырем углам пластины приварены металлические полоски с шайбами. В отверстия шайб вертикально устраиваются индикаторы часового типа для измерения осадки центрального образца плитки. В условиях эксплуатации на покрытия воздействуют как кратковременные, так и длительно приложенные нагрузки. Поэтому третьим наиболее значимым фактором, влияющим на покрытие, выбрано время воздействия вертикально приложенной нагрузки. Минимальное значение времени воздействия примем равным 1 мин. ($0,017 \text{ час.}$), максимальное – 48 час. и среднее значение – 24 час. Остальные факторы (например, влажность, первоначальная плотность основания) приняты как постоянные величины для всех серий экспериментов. Нижележащий конструктивный слой основания для всех

вариантов покрытий – песчаный, толщиной 200 мм. На рис. 5 приведена схема проведения экспериментальных исследований по исследованию зон деформации покрытий.

Величинами выходных параметров, характеризующих зоны деформации, выбраны следующие: среднее значение осадки экспериментального образца после воздействия нагрузки, ширина, глубина и объем зоны деформации. Такой параметр, как осадка характеризует несущую способность покрытия при воздействии на него вертикально приложенной нагрузки. Тот образец, у которого при прочих равных условиях средняя осадка меньше, тем выше его несущая способность. А такой параметр, как глубина зоны деформации укажет на необходимую толщину конструктивного песчаного слоя каждого варианта покрытия.

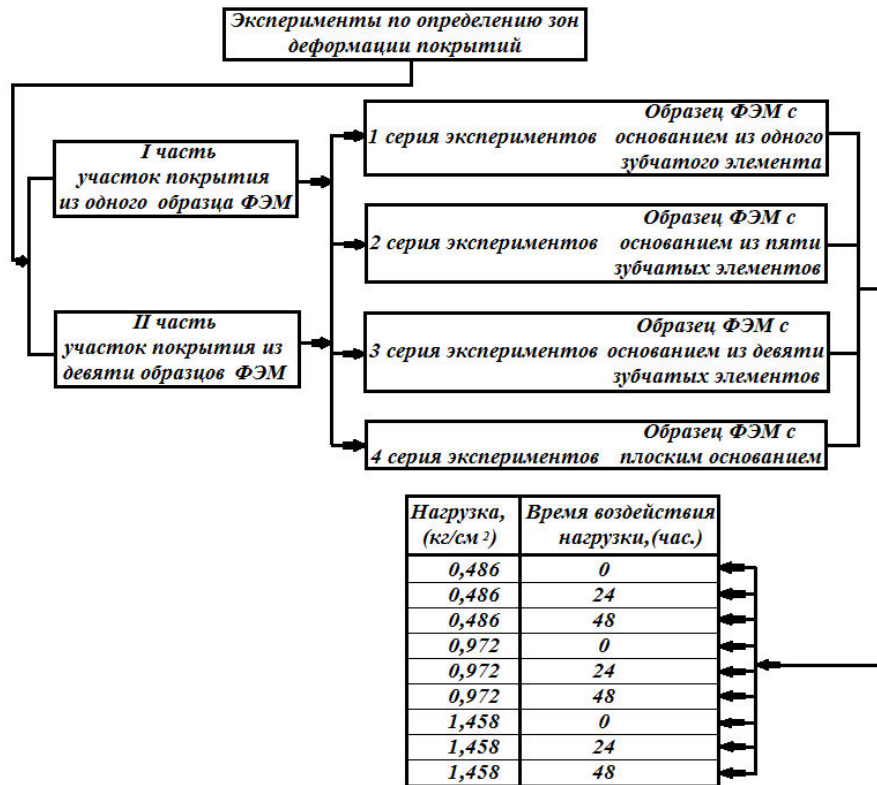


Рис. 5. Схема проведения экспериментов для исследования зон деформации

Для определения зоны деформации песчаного слоя основания следует соблюдать определенную технологию при его устройстве. Необходимо в короб послойно производить его укладку, уплотнение и выравнивание. Толщина каждого слоя составляет 25 мм. Строго под центром участка покрытия в одной вертикальной плоскости на каждый уплотненный слой песчаного основания устраиваются фиксаторы, с помощью которых впоследствии определим параметры зоны деформации (Рис. 6). Фиксаторы представляют собой нити длиной 70 см, на которые нанизаны отрезки обшивки цветной проволоки. На дно короба и верхний слой песка фиксаторы не устраиваются. После подготовки основания под покрытие на него устанавливаются экспериментальные образцы ФЭМ. Каждый образец устраивается при помощи пяти ударов по нему киянкой с постоянным усилием. После этого на центральную плитку устанавливается вспомогательный призматический бетонный элемент квадратной формы со стороной квадрата немного меньшей, чем сторона испытываемого образца. На вспомогательный элемент устанавливается металлическая пластина с индикаторами часового типа. Ножки всех четырех индикаторов касаются неподвижно закрепленных стальных реек, расположенных рядом с исследуемой плиткой, являющимися неподвижными реперами. Производятся замеры начальных показателей по четырем углам плитки. Затем на центральный образец при помощи рычага передается вертикальная нагрузка. Величины нагрузок и время их воздействия на исследуемые покрытия описаны выше. После этого при помощи индикаторов замеряются показатели для вычисления осадки под каждым из углов. Для каждой серии исследований определяется среднее значение осадки центрального образца. Затем образцы плиток необходимо аккуратно извлечь из песка. После этого с любой из сторон короба относительно вертикально расположенных фиксаторов произвести зачистку песка. При проведении зачистки вдоль фиксаторов важно не допустить их смещения. Когда проведена окончательная зачистка песка, определяют зону деформации в местах смещения каждой нитки фиксаторов. После этого можно измерить такие выходные параметры, как глубина зоны деформации

для участков покрытия из 9 образцов, а также послойно измерить толщину и глубину для участков, состоящих из одиночных образцов. Затем для участков из одиночных плиток (первая часть экспериментов) необходимо посчитать объем зоны деформации для каждого слоя, и найти его суммарную величину. Объем каждого слоя считается по формуле для нахождения объема усеченного конуса, а объем нижней части зоны деформации подсчитывается как объем шарового сегмента. Внешняя вертикально приложенная к плитке нагрузка передается через зубчатые пирамидальные элементы основания на искусственно уплотненный конструктивный песчаный слой под покрытием. В пределах зоны уплотнения вокруг боковых граней зубчатых элементов будет формироваться объем зоны деформации. У плитки с плоским основанием объем зоны деформации формируется под ее подошвой. Если зона деформации выходит за зону уплотнения, возможны недопустимые осадки ФЭМ.

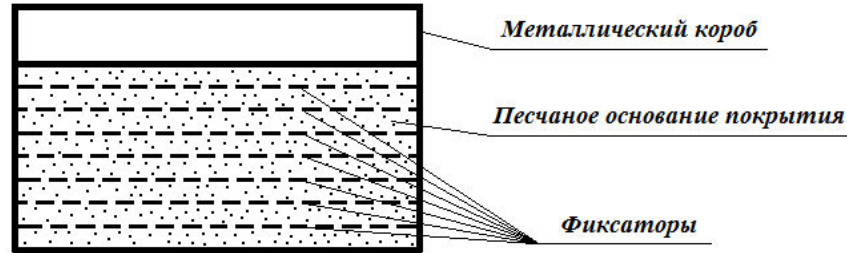


Рис. 6. Схема расположения фиксаторов в коробе на песчаном слое основания

После проведения всех серий экспериментов, необходимо проанализировать полученные результаты выходных параметров. Обработав результаты исследований, определим необходимую толщину песчаного слоя для каждого варианта покрытия. Эксперименты по наблюдению за зонами деформаций, образующимися в конструктивном слое основания покрытий под воздействием вышеперечисленных факторов, помогут детальнее изучить характеристики разработанных вариантов покрытий, выбрать оптимальный вариант из предложенных, а впоследствии рекомендовать его при устройстве тротуаров, пешеходных дорожек и площадок.

Выводы

Составлен план и разработана методика проведения экспериментов по исследованию зон деформации, образующихся под покрытиями из ФЭМ с измененной геометрической формой основания. По результатам анализа экспериментов можно определить необходимую толщину нижележащего конструктивного слоя предложенных вариантов покрытий и выбрать оптимальный вариант одного из конструктивно-технологических решений.

Список использованной литературы

1. ДСТУ Б В.2.7-145:2008. Вироби бетонні тротуарні неармовані [Чинний від 2008-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, ДП «Укрархбудінформ», 2008. – 20 с.
2. Думанська В. В. Вдосконалення технології улаштування покриттів з фігурних елементів мостиння: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / В. В. Думанська. – Одеса, 2011. – 20 с.
3. Думанская В. В. Влияние зоны деформации основания под ФЭМ на выбор конструктивно-технологического решения покрытия пешеходных дорожек / В. В. Думанская, Е. В. Паламарь // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. праць. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2008. – Вип. 32. – С. 147 – 150.
4. Dumanska V. Studies of coatings from FEP with corrugated base from toothed elements of pyramidal shape on the horizontal and inclined surfaces / V. Dumanska, L. Vilinska, V. Marchenko. // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. : зб. наук. праць. – Полтава : ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2017 – Вип. 1 (48). – С. 265 – 272.

ДУМАНСКАЯ Вероника Валентиновна – к.т.н., доц. каф. начертательной геометрии и инженерной графики Одесской государственной академии строительства и архитектуры; **e-mail: dumanika@ukr.net**

МАРЧЕНКО Валентин Сергеевич – к.т.н., проф. каф. начертательной геометрии и инженерной графики Одесской государственной академии строительства и архитектуры; **e-mail: marchello14888@ukr.net**

СИДОРОВА Наталья Валерьевна – к.т.н., доц. каф. начертательной геометрии и инженерной графики Одесской государственной академии строительства и архитектуры; **e-mail: sidorovanataliya@ukr.net**

ДОЦЕНКО Юлия Валерьевна – к.т.н., доц. каф. начертательной геометрии и инженерной графики Одесской государственной академии строительства и архитектуры; **e-mail: julija0606@ukr.net**