

УДК 69.022.32

**ВАРТІСТЬ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ ПРИ ЗМІНІ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ДОЩУ ТА ВІТРУ**

Менейлюк А. І., Гладіщук А. О.

Наведено результати досліджень впливу найбільш значущих технологічних факторів при впливі дощу і вітру на вартість пристрою  $1\text{ м}^2$  вентиляваного фасаду з керамограніта з відкритим стиком (інтенсивності дощу, кута відхилення дощу, товщини вентиляваного простору, величини деформаційного зазору, товщини елемента оздоблювального екрану і щільності нанести утеплювача). Виявлено оптимальне конструктивно-технологічне рішення при влаштуванні такого фасаду, при якому вартість елементів фасаду і потрапляння дощової вологи за боковий вівтар облицювального екрану буде мінімальною.

**Ключові слова:** вентиляований фасад, зазор між елементами облицювання, інтенсивність дощу, кут відхилення дощу, товщина вентиляваного простору, величина деформаційного зазору, товщина елемента оздоблювального екрану, щільність нанести утеплювача, опір теплопередачі, водонепроникність стиків, вартість  $1\text{ м}^2$ .

**СТОИМОСТЬ ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОЖДЯ И ВЕТРА**

Менейлюк А. И., Гладыщук А. А.

Приведены результаты исследований влияния наиболее значимых технологических факторов при воздействии дождя и ветра на стоимость устройства  $1\text{ м}^2$  вентилируемого фасада из керамогранита с открытым стыком (интенсивности дождя, угла отклонения дождя, толщины вентилируемого пространства, величины деформационного зазора, толщины элемента отделочного экрана и плотности минераловатного утеплителя). Выявлено оптимальное конструктивно-технологическое решение при устройстве такого фасада, при котором стоимость элементов фасада и попадание дождевой влаги за пределы облицовочного экрана будет минимальной.

**Ключевые слова:** вентилируемый фасад, зазор между элементами облицовки, интенсивность дождя, угол отклонения дождя, толщина вентилируемого пространства, величина деформационного зазора, толщина элемента отделочного экрана, плотность минераловатного утеплителя, теплопроводность, водонепроницаемость стыков, стоимость  $1\text{ м}^2$ .

**COST VENTILATED FACADES CHANGING CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS FOR THE EFFECTS OF WIND AND RAIN**

Meneylyuk A., Gladyschuk A.

Results on the effect of the most significant technological factors under the influence of wind and rain on the cost of the device  $1\text{ м}^2$  ventilated facade of granite with open joints (the intensity of the rain, the deflection angle of the rain, the thickness of the ventilated space, the magnitude of the deformation of the gap, the thickness of the screen and a finishing element density mineral wool insulation). Optimal design and technological solution for the facade of the device in which the cost of facade elements and getting rainwater for altars facing the screen will be minimal.

**Key words:** ventilated facade, the gap between the elements of the lining, the intensity of the rain, the angle of deflection of rain, the thickness of the ventilated space, the amount of deformation of the gap, the thickness of the finishing element of the screen, the density of the mineral wool insulation, heat resistance, water permeability of joints, the cost of  $1\text{ м}^2$ .

Теплоізоляція зданий путем устройства вентилируемых фасадов находит все более широкое применение в Украине и за ее пределами. Основным критерием, определяющими

конструктивно-технологическое решение фасада, является его стоимость при сохранении нормативных требований по теплоизоляции под воздействием дождя и ветра. В изученной литературе отсутствуют системные исследования по влиянию технологических факторов на стоимость элементов вентилируемого фасада из условия водонепроницаемости отделочного экрана в результате воздействия дождя. Результаты исследований технологии устройства отделочного экрана позволят принять эффективное решение с учетом воздействия дождя, которое будет обладать минимальной стоимостью. Это позволит сэкономить средства на устройство таких фасадов, отопление зданий и улучшит условия нахождения в нем человека. Поэтому исследования изменения стоимости элементов вентилируемых фасадов при изменении конструктивно-технологических характеристик с учетом воздействия дождя являются актуальными.

**Цель исследований:** определить, как изменяется стоимость при изменении конструктивно-технологических характеристик с учетом воздействия дождя

**Для реализации поставленной цели** авторами были проведены исследования влияния конструктивно-технологических характеристик на теплопроводность вентилируемых фасадов под воздействием дождя и ветра [1]. Поэтому, на наш взгляд, представляло интерес, как же изменяется стоимость при условии соблюдения нормативной величины теплопроводности.

Факторы и уровни варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы, уровни и интервалы варьирования переменных

Факторы	Ед. изм.	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
$X_1$ – интенсивности дождя	мм/мин	2	6	10
$X_2$ – угол отклонения дождя	град.	30	60	90
$X_3$ – толщина вентилируемого пространства	мм	40	100	160
$X_4$ – величина деформационного зазора	мм	4	7	10
$X_5$ – толщина элемента отделочного экрана	мм	6	9	12
$X_6$ – плотность минераловатного утеплителя	кг/м <sup>3</sup>	30	80	130

Первый фактор, ( $x_1$ ), величина интенсивности увлажнения, назначался из следующих условий. Интенсивность дождя из слоистых и слоисто-кучевых облаков (минимальное значение) составляет – 2 мм/мин, слоисто-дождевых и высоко-слоистых – 7,33 мм/мин, кучево-дождевых облаков (максимальное значение) – 10,66 мм/мин. В соответствии с этими значениями уровни изменения фактора  $x_1$  приняты: 2; 6; 10 (мм/мин).

Уровни фактора  $x_2$  — угла отклонения капель дождя по отношению к плоскости облицовки фасада, принимались 30; 60; 90 (град.).

Уровни фактора  $x_3$  — толщины вентилируемого пространства, принимались с учетом указаний нормативных документов [2] 40; 100; 160 (мм).

Фактор  $x_4$  — величина деформационного зазора (открытого стыка) между торцевыми гранями облицовочных панелей, назначался исходя из результатов натурных обследований и требований технологии монтажа. Обследования готовых фасадов показали, что наиболее часто такие зазоры составляют от 4 до 10 (мм). Зазор менее 4 (мм) является технически сложным при монтаже. Поэтому уровни варьирования фактора  $x_4$  (размер стыка) принимался равным 4; 7; 10 (мм).

Фактор  $x_5$  — толщина облицовочных панелей назначался исходя из размеров наиболее часто используемой облицовки вентилируемых фасадов – керамогранита и принималась равной 6; 9; 12 (мм).

Фактор  $x_6$  — плотность минераловатных плит, используемых в вентилируемых фасадах в качестве теплоизоляционного материала, принимался исходя из результатов экспертного опроса и нормативных требований [3]. Они рекомендуют плотность не менее 75 кг/м<sup>3</sup> для однослойного утепления и не менее 35 (кг/м<sup>3</sup>) - нижнего и 75 (кг/м<sup>3</sup>), соответственно, верхнего - для двухслойного утепления. Результаты экспертного опроса показывают, что в условиях Украины применяется вата с плотностью существенно ниже нормативной. В западных странах – выше. Поэтому приняты следующие уровни изменения этого фактора 30; 80; 130 (кг/м<sup>3</sup>).

При выборе плана эксперимента учитывалась необходимость получения адекватного математического описания исследуемого процесса и максимально возможного сокращения числа опытов. Полнофакторный эксперимент, состоящий из шести факторов на трех уровнях. Использование теорий планирования экспериментов и экспериментально-статистического

(математического) моделирования позволило сократить количество опытов до 40. В частности, использован композиционный шестиуровневый симметричный план, имеющий достаточно высокую адекватность по критерию Фишера [4].

Математическая обработка результатов эксперимента, включающая анализ и оценку однородности дисперсий, регрессионный анализ, оценку значимости коэффициентов модели и проверку адекватности полученной модели, выполнялась в программе «Comrex 2009» [2,3]. После выполнения указанных процедур получена регрессионная зависимость (1) изменения стоимости элементов фасада ( $Y_i$ , грн.) от исследуемых факторов, которая адекватно описывается моделью при ошибке эксперимента ( $T_s$ )  $\varepsilon = 0.545$ :

$$\begin{aligned}
 Y_i, (\text{грн.}) = & 224,22 - 0.1x_1 + 0.7x_1^2 - 0.2x_1x_2 - 0.3x_1x_3 - 0.3x_1x_4 \pm 0.0x_1x_5 + 0.4x_1x_6 + \\
 & + 0.2x_2 + 0.9x_2^2 + 0.2x_2x_3 + 0.4x_2x_4 \pm 0.1x_2x_5 - 0.4x_2x_6 + 32.1x_3 - \\
 & - 0.5x_3^2 + 0.4x_3x_4 - 0.1x_3x_5 - 0.3x_3x_6 - 4.9x_4 + 0.2x_4^2 - 0.1x_4x_5 - \\
 & - 0.5x_4x_6 + 20.1x_5 - 1.8x_5^2 + 0.1x_5x_6 + 19.5x_6 + 0.4x_6^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

На основании полученной математической модели построены графики экстремальных значений функции (рис. 1). Графический анализ модели приведен в виде однофакторных зависимостей. Они отражают влияние каждого из факторов на стоимость элементов фасада в зоне максимальных и минимальных значений показателя.

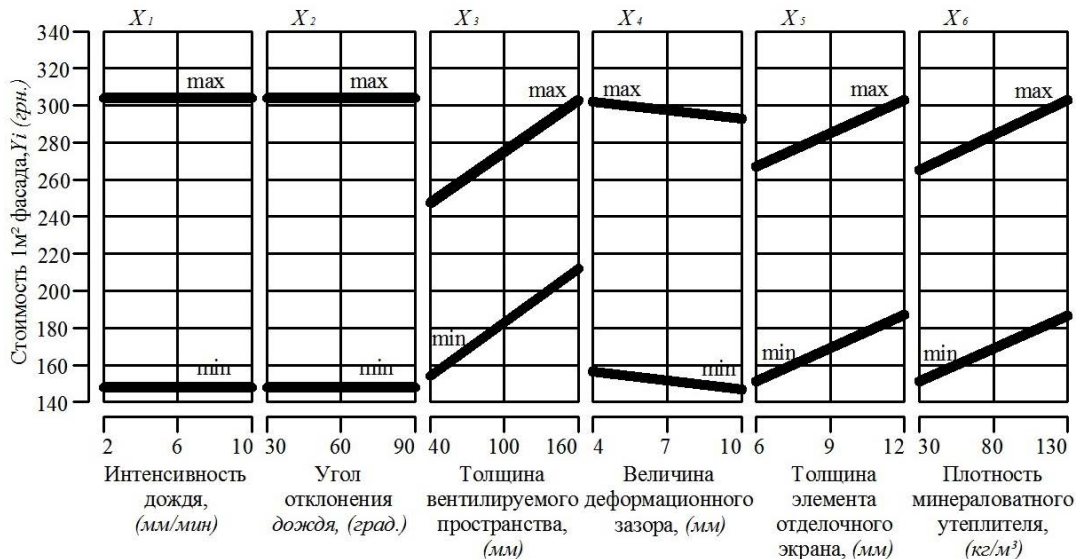


Рисунок 1 – Влияние факторов на стоимость фасада в зоне максимальных и минимальных значений функции,  $Y_i$ , (кг/м<sup>3</sup>)

Из рис. 1 видно, что характер влияния всех шести факторов на исследуемый показатель различный. Об этом говорит угол наклона кривой на каждом из графиков.

В зоне максимума (верхние линии на графиках) толщина вентилируемого пространства ( $x_3$ ), толщина элемента отделочного экрана ( $x_5$ ) и плотность минераловатного утеплителя ( $x_6$ ) оказывают прямо пропорциональное влияние на стоимость элементов конструкции вентилируемого фасада. В свою очередь, величина деформационного зазора ( $x_4$ ) оказывает обратно пропорциональное влияние на исследуемый показатель. Интенсивность влияния факторов на исследуемый показатель значительная, в районе максимальных значений каждый из факторов может изменить его значение на 5 - 30%.

В области минимальных значений показателя (нижние линии на графике). Факторы толщина вентилируемого пространства ( $x_3$ ), толщина элемента отделочного экрана ( $x_5$ ) и плотность минераловатного утеплителя ( $x_6$ ) оказывают прямо пропорциональное влияние на стоимость элементов конструкции вентилируемого фасада. В свою очередь, величина деформационного зазора ( $x_4$ ) оказывает обратно пропорциональное влияние на исследуемый показатель. Интенсивность влияния факторов на исследуемый показатель значительная, в районе минимальных значений каждый из факторов может изменить его значение на 5 - 30%.

На рис.2(а) показано ранжирование факторов по степени влияния в зонах максимума и минимума на стоимость фасада. Причем, максимальная степень влияния фактора принята за 100% и в зоне максимума и в зоне минимума это значение толщины вентилируемого пространства ( $x_3$ ). В зоне максимальных значений на втором месте по степени влияния плотность минераловатного утеплителя ( $x_6$ ) 66% а на третьем толщина элемента отделочного экрана ( $x_5$ ) 63%. С практической точки зрения нас больше интересует зона минимальных значений показателя (рис.2б), здесь на втором месте толщина элемента отделочного экрана ( $x_5$ ) 61% и на третьем месте плотность минераловатного утеплителя ( $x_6$ ) 60%, ( $x_4$ ) величина деформационного зазора 15%.

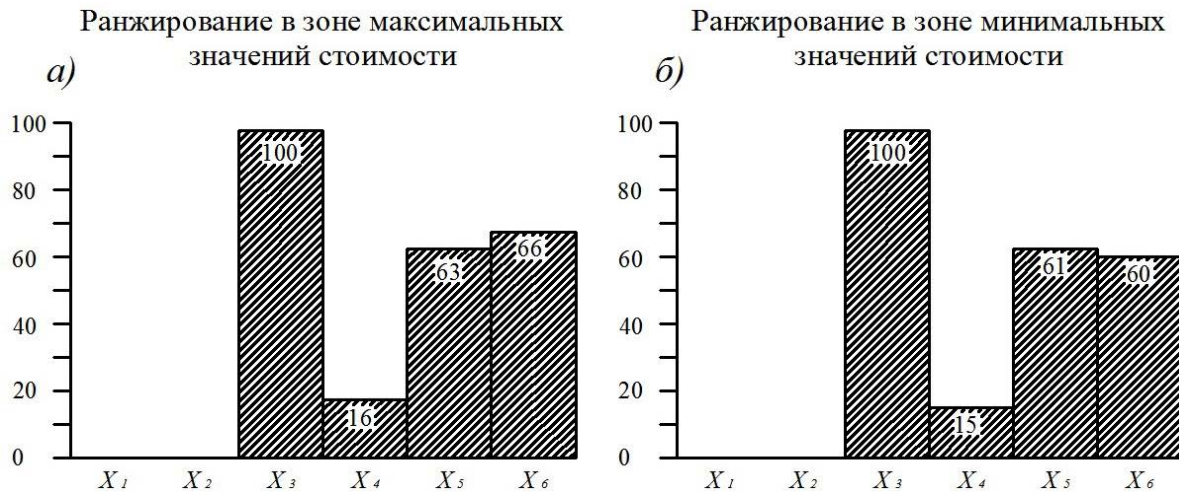


Рисунок 2 – Ранжирование факторов по степени влияния в зонах максимума и минимума стоимости элементов фасада,  $Y_{\lambda}$ , (кг/м<sup>3</sup>)

В дальнейших исследованиях выполнен анализ влияния факторов на стоимость только четырех более значимых факторов.

Ниже приведен анализ изменения стоимости устройства вентилируемых фасадов при различных сочетаниях исследуемых факторов в виде диаграмм квадрат на квадрате.

Такой анализ удобнее представить, в виде так называемых графиков, «квадрат на квадрате» (рис. 3) здесь большие оси показывают изменение факторов  $x_5$  и  $x_6$  (толщина элементов отделочного экрана и плотности минераловатного утеплителя). На каждом из квадратов показаны изолинии одинаковых значений стоимости при различных сочетаниях указанных оставшихся двух наиболее значимых факторов (толщины вентилируемого пространства  $x_3$  и величина деформационного зазора  $x_4$ ). По этим графикам можно определить стоимость фасада при любом сочетании факторов в исследуемых пределах.

Из графиков видно, что при целом ряде значений факторов стоимость фасада будет иметь не высокие значения (от 150 грн. до 240 грн.) для того чтобы выбрать оптимальные значения исследуемых факторов при минимальной стоимости мы использовали полученную ранее зависимость сопротивления теплопередачи и водопроницаемости от исследуемых факторов.

Для этого мы совместили три диаграммы (сопротивления теплопередачи минераловатного утеплителя, водопроницаемости защитного экрана фасада и стоимости) путем наложения диаграмм «квадрат на квадрате» показанных на рис. 4, друг на друга. Оптимальные решение устройства вентилируемого фасада, выделенные точками 1, 2, 3.

Кроме этого в поле несущего квадрата  $x_5$ ,  $x_6$  показанные изолинии минимальных значения стоимости фасада при зафиксированных значениях факторов толщины вентилируемого пространства ( $x_3$ ) и величина деформационного зазора ( $x_4$ ).

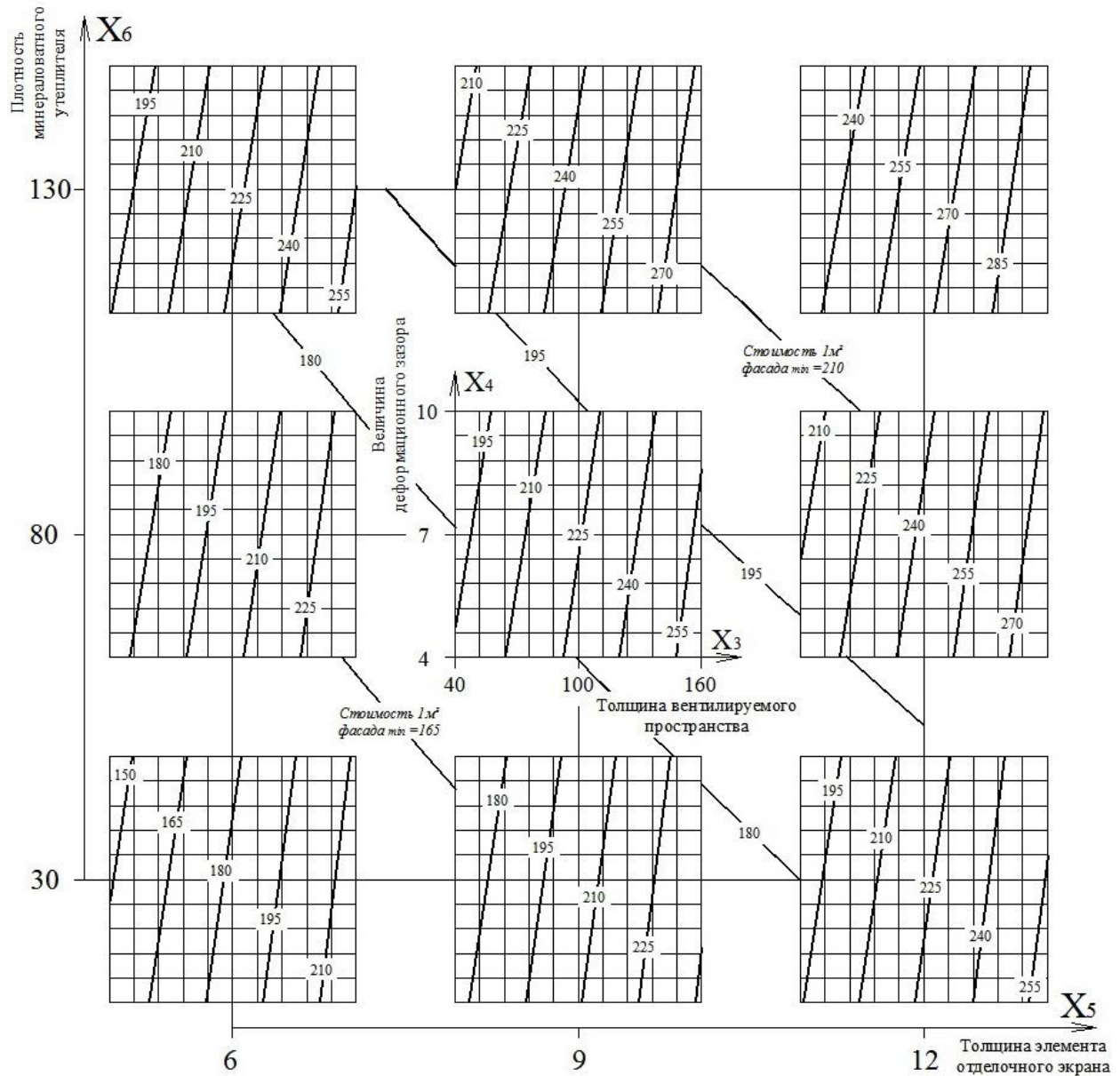


Рисунок 3 – Влияние четырех факторов на стоимость материалов 1м<sup>2</sup> фасада

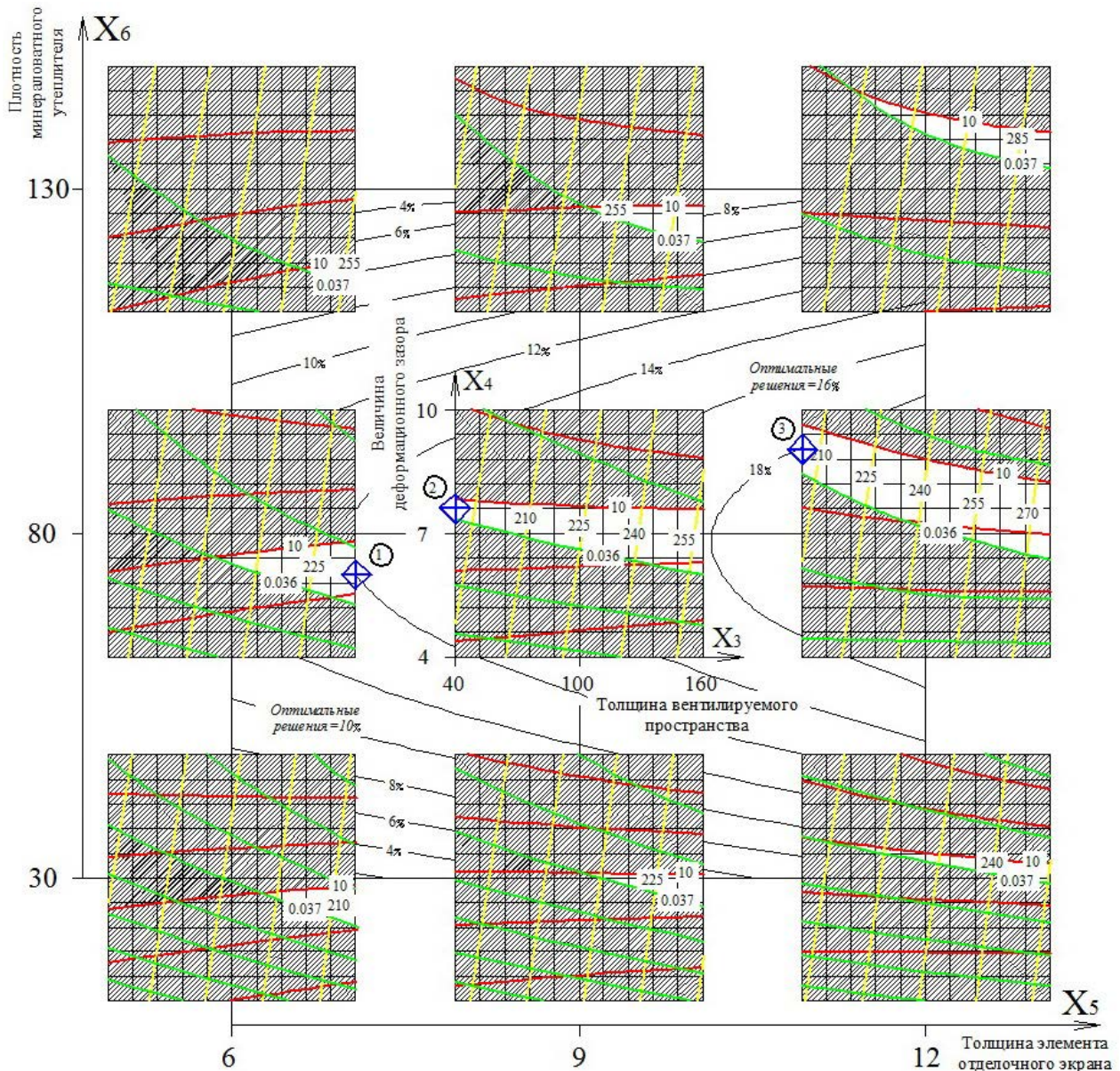


Рисунок 4 – Выбор оптимального решения устройства вентилируемого фасада по смежной диаграмме «квадраты на квадрате»

Анализируя результаты, приведенные на (рис. 3, 4) можно проследить и характер влияния каждого из факторов технологии крепления защитного экрана на стоимость вентилируемого фасада. К уменьшению стоимости фасада ведет уменьшение толщины элементов отделочного экрана, уменьшение величины вентилируемого пространства и плотности минераловатного утеплителя.

#### Выводы

- Наибольшее влияние на стоимость фасада в зоне минимальных его значений оказывает величина вентилируемого пространства ( $x_3=100\%$ ) толщина защитного экрана ( $x_5=61\%$ ) и плотность минераловатного утеплителя ( $x_6=60\%$ ).
- Минимальное значение стоимости для атмосферно устойчивого фасада из условий достижения нормативного сопротивления теплопередачи (0,036 - 0,037 Вт/мК) достигается при величине деформационного зазора 4 мм, максимальной толщине отделочного экрана 12(мм) и плотности минераловатного утеплителя 80 кг/м<sup>3</sup>. При указанном конструктивно – технологическом решении стоимость фасада в зависимости от атмосферных осадков (интенсивности и угла отклонения дождя) может составить от 210 грн. до 270 грн.

**Список літератури**

1. ДСТУ Б В 2. 6.-35 2008 «Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустриальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком» Загальні технічні умови. Київ, - 2009. – 25 с.
2. Вознесенский В. А. Численные методы решения строительно - технологических задач на ЭВМ / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков - К.: Вища школа, 1989. – 328 с.
3. Вознесенский В. А. Принятие решений по статистическим моделям / Вознесенский В. А., Ковальчук А. Ф. - М.: Статистика, 1978. – 196 с.

*Менейлюк Александр Иванович* доктор технічних наук, професор, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса,

*Гладищук Артем Олександрович* аспірант, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

*Менейлюк Александр Иванович* доктор технических наук, профессор, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса,

*Гладышук Артем Александрович* аспирант, Одесская государственная академия строительства и архитектуры.

*Meneylyuk Alexander Ivanovic* professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa.

*Gladyschuk Artem Aleksandrovich* post-graduate student, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architectu.