

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ В МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ РАЗУКЛОНКИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПЛОСКИХ КРОВЕЛЬ

Сергей Николаевич Шабает <sup>1</sup>, Сергей Александрович Иванов <sup>2</sup>,  
Алексей Николаевич Гераськин <sup>3</sup>, Юрий Евгеньевич Кабанов <sup>4</sup>, Николай Юрьевич Коньков <sup>5</sup>

<sup>1,5</sup> Кемеровский государственный университет, Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия

<sup>2,4</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Кемеровская область –  
Кузбасс, Кемерово, Россия

<sup>3</sup> ООО «АЛЬФА-ПРО», Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия

<sup>1</sup> shsn.ad@kuzstu.ru, <sup>2</sup> isa.ad@kuzstu.ru, <sup>3</sup> kozlovsei@kuzstu.ru, <sup>4</sup> gs\_kabanovyue@kuzstu.ru,

<sup>5</sup> ananievaa1@kuzstu.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено неправильное устройство разуклонки на плоских кровлях, а также нерациональный расчет материалов при устройстве плоской кровли. В первом варианте рассматривается плоская кровля с разными уклонами, ведущими к приемной воронке, и было доказано, что расхождения в расчетах потребностей материалов, выполненных по геометрическим параметрам, могут быть значительными, как в отрицательную, так и в положительную сторону. Во втором варианте рассматривается плоская кровля с равными уклонами, ведущими к приемной воронке, и было доказано, что считать объем материала по геометрическим параметрам неверно и расхождения могут быть значительными, как в отрицательную, так и в положительную сторону. С помощью создания 3D-модели была предложена формула более точного расчета материала для устройства плоской кровли.

**Ключевые слова:** плоская кровля, разуклонка, парапет, материал

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 30 сентября 2022 г. № 075-15-2022-1195 и в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. № 1144-р).

**Для цитирования:** Особенности расчета потребности в материалах для разуклонки при устройстве плоских кровель / С. Н. Шабает [и др.]. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2024. Выпуск 2024-6(170) Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. С. 85–98. doi: 10.71536/vd.2024.6c170.10. edn: cwbnbn.

Original article

## CALCULATION OF THE INSULATION REQUIREMENTS FOR DECOUPLING WHEN INSTALLING FLAT ROOFS USING THE AUTHOR'S CALCULATION METHOD

Sergey N. Shabaev <sup>1</sup>, Sergey A. Ivanov <sup>2</sup>, Alexey N. Geraskin <sup>3</sup>, Yuri Ye. Kabanov <sup>2</sup>,  
Nikolai Yu. Konkov <sup>5</sup>

<sup>1,5</sup> Kemerovo State University, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia

<sup>2,4</sup> Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia



<sup>3</sup> LLC «ALPHA-PRO», Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia  
<sup>1</sup>shsn.ad@kuzstu.ru, <sup>2</sup>isa.ad@kuzstu.ru, <sup>3</sup>kozlovsei@kuzstu.ru, <sup>4</sup>gs\_kabanovyue@kuzstu.ru,  
<sup>5</sup>ananievaa1@kuzstu.ru

**Abstract.** This article discusses the incorrect device of decoupling on flat roofs, as well as the irrational calculation of materials when installing a flat roof. In the first variant, a flat roof with different slopes leading to a receiving funnel is considered, and it has been proven that discrepancies in the calculations of the needs of materials made according to geometric parameters can be significant, both in the negative and in the positive direction. In the second variant, a flat roof with equal slopes leading to a receiving funnel is considered, and it has been proven that it is incorrect to count the volume of material according to geometric parameters and discrepancies can be significant, both in the negative and in the positive direction.

**Keywords:** flat roof, deconstruction, parapet, insulation, material

**Funding:** The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies dated September 30, 2022 No. 075-15-2022-1195 and within the framework of the comprehensive scientific and technical program of the full innovative cycle «Development and the introduction of a set of technologies in the areas of exploration and production of solid minerals, ensuring industrial safety, bioremediation, and the creation of new highly processed products from coal raw materials with a consistent reduction in the environmental load on the environment and risks to the lives of the population» (approved by Order of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 No. 1144-r).

**For citation:** Calculation of the insulation requirements for decoupling when installing flat roofs using the author's calculation method / S. N. Shabaev [et al.]. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction.* 2024;6(170):85–98. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2024.6c170.10. edn: cwbnbn.

## ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

При устройстве плоских кровель зданий и сооружений важно предусмотреть верную разуклонку, чтобы обеспечить беспрепятственный отвод воды. Для этих целей может использоваться как цементно-песчаная стяжка, так и сыпучие зернистые материалы, выполняющие функцию теплоизоляции: керамзит, доменный, топливный и вспученный шлак, экспандит, аглопорит, клиновидные изделия из экструзионного пенополистирола и другие [1–3].

К сожалению, наблюдается тенденция к снижению качества проектов строительства зданий и сооружений, в том числе в части адекватности принимаемых решений и определения потребности в материалах для устройства разуклонки [4–11].

В настоящей работе в качестве метода более точного расчета объема материала утеплителя была использована 3D-модель плоской кровли.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Суть метода расчета потребности в материалах для разуклонки при устройстве плоской кровли состоит в определении необходимого материала с учетом климатических характеристик района проектирования [3].

Помимо этого, необходимо проанализировать ситуацию на рынке материалов и выбрать самый доступный из предложенных. Существуют насыпные материалы и клиновидные монолитные изделия [4].

После всего этого необходимо определиться с видом внутреннего водоотведения. Можно выбрать вариант внешнего водосброса (на рельеф или в специальный желоб) или внутреннего водостока (с помощью водоприемных воронок) [5–6].

После анализа всех данных необходимо рассчитать объем материала, однако существующий метод, в зависимости от уклона, дает расхождения относительно фактического объема, поэтому необходима доработка этого метода.

## ЦЕЛЬ

В данном исследовании целью является доработка существующего метода расчета необходимого материала для устройство плоской кровли.

## ЗАДАЧИ

1. Определение формул для более точного расчета объема материала, необходимого при устройстве разуклонки.
2. Создание 3D-модели существующего объекта, для подтверждения приведенной формулы.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Сперва начнем с рис. 1, на котором приведен фрагмент кровли из проекта строительства объекта капитального строительства, где можно отметить несоответствие, заключающееся в том, что уклон всех поверхностей разуклонки назначен 0,015. При реализации проекта обеспечить указанное значение уклона на всем обозначенным поверхностям одновременно невозможно, так как расстоянию от водоприемной воронки до парапета по числовым осям не соответствует тому же расстоянию по буквенным осям (если конечно не выполнять разноуровневую кровлю, но это противоречит самому принципу устройства плоской кровли). В данном случае необходимо либо назначать разные уклоны по всем поверхностям разуклонки, либо переназначить ендовы для верного сопряжения поверхностей разуклонки, либо верно указать направление уклона по каждой поверхности. В любом случае необходимо принимать такое проектное решение, которое способствовало бы возможности реализации данного проекта с учетом допустимых отклонений. При этом необходимо принимать во внимание, чтобы максимальная толщина слоя разуклонки в зоне парапета при соблюдении проектных уклонов, не привела к снижению проектной высоты парапета, так как в противном случае это повлечет за собой изменение всех строительных объемов. При массовом применении BIM-моделирования эти проблемы должны быть решены, но, к сожалению, на сегодняшний день подобные ошибки встречаются довольно часто [12–16].

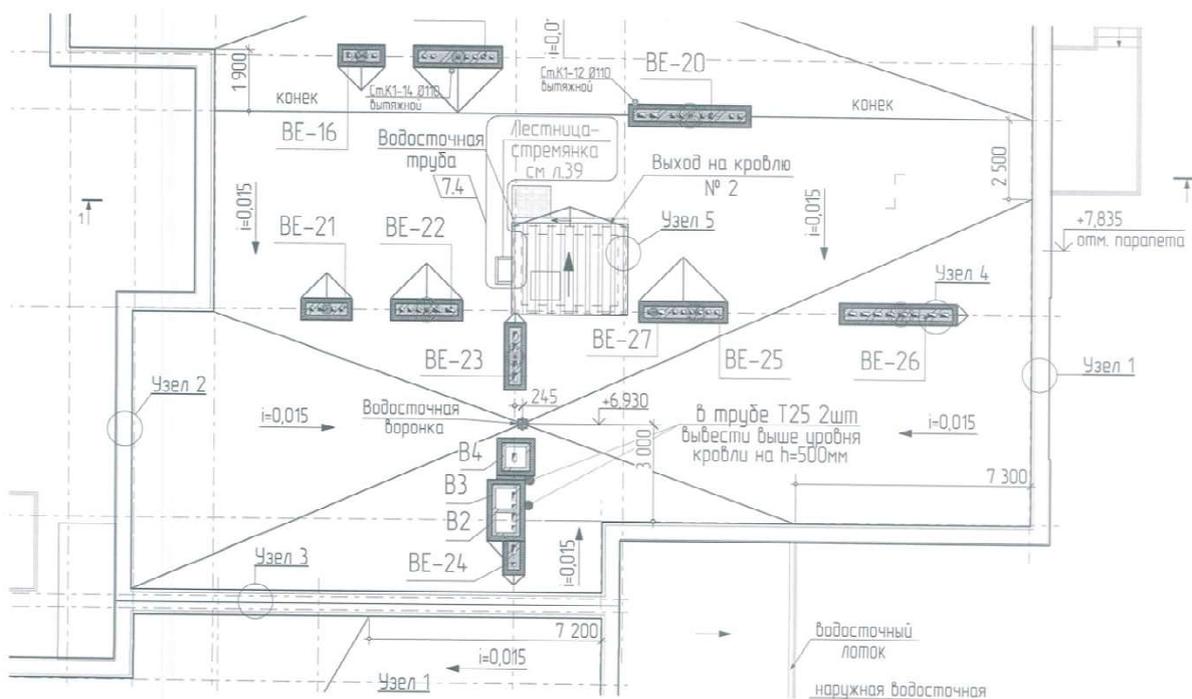


Рисунок 1 – Фрагмент кровли.

Еще более неопределенная ситуация с потребностью в материале для устройства разуклонки. Практический опыт показывает, что проектировщики при расчете потребности материала для устройства разуклонки используют следующую упрощенную формулу:

$$V = \frac{1}{2}(h_{min} + h_{max}) \cdot S, \quad (1)$$

где  $h_{min}$  – минимальная (у водоприемной воронки) высота (толщина) слоя материала разуклонки;  
 $h_{max}$  – максимальная (у парапета) высота (толщина) слоя материала разуклонки;  
 $S$  – площадь кровли.

Именно эту формулу приводят в источнике [2]. Однако, несмотря на первый взгляд на приемлемость данного подхода, он может приводить к значительным расхождениям с реальной потребностью в материале, так как относительно среднеарифметического значения периметр внешнего контура не равен периметру внутреннего контура, а, значит, объем материала должен отличаться. Все это приводит к дополнительным необоснованным издержкам подрядчика при устройстве данного конструктивного элемента.

Чтобы подтвердить обоснованность приведенных доводов рассмотрим простейшие конфигурации кровель – прямоугольные.

*Вариант 1*

Пусть имеется некоторая кровля прямоугольной формы  $ABCD$  с одной водоприемной воронкой, располагаемой в точке  $O$  (рис. 2). Кровля имеет поверхности с уклоном  $i$ , длину  $a$  и ширину  $b$ , а положение водоприемной воронки характеризуется параметрами  $x, y$ . При этом всю кровлю разобьем на сегменты, один из которых приведен на рис. 3. Рассчитаем объем материала для устройства разуклонки при условии, что по всему периметру кровли отметка верха материала у парапета есть величина постоянная. Это будет соответствовать условию  $i_1 \neq i_2 \neq i_3 \neq i_4$ .

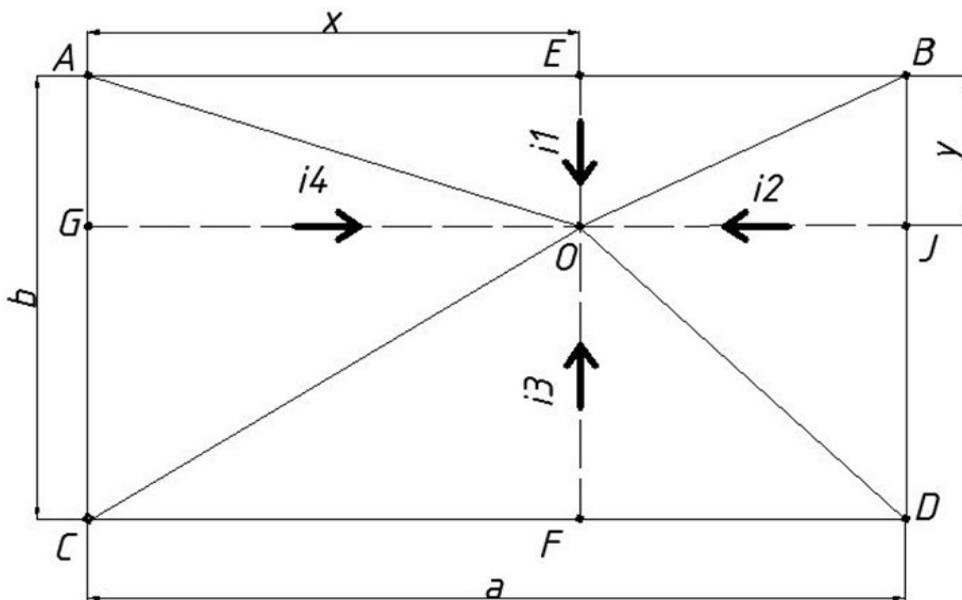


Рисунок 2 – Вид сверху кровли прямоугольной формы.

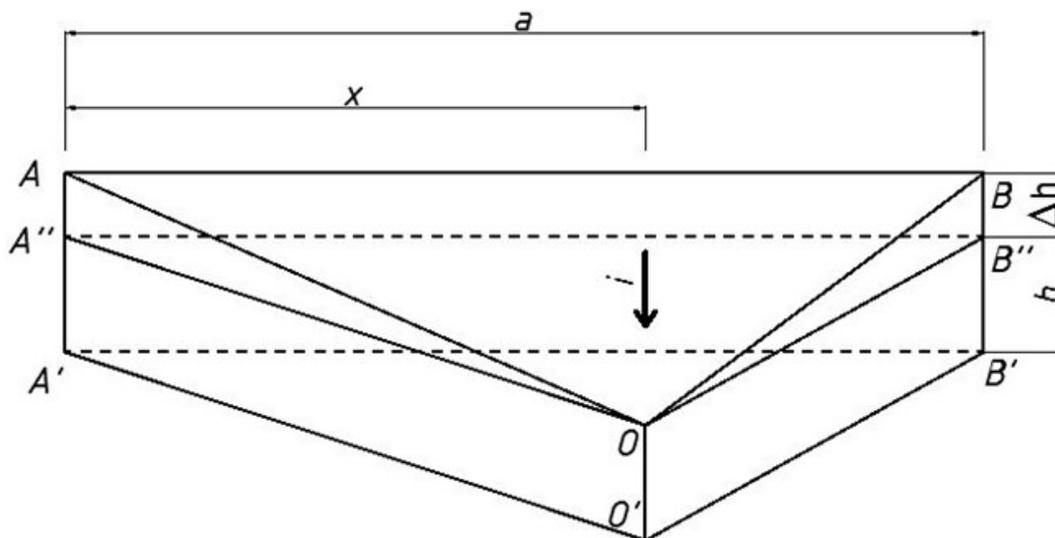


Рисунок 3 – Сегмент кровли прямоугольной формы.

Объем треугольной призмы  $O'A'B'OA''B''$  составит:

$$V_{O'A'B'OA''B''} = \frac{1}{2} a \cdot y \cdot h, \quad (2)$$

Объем треугольной пирамиды  $OABA''B''$  равен:

$$V_{OABA''B''} = \frac{1}{3} a \cdot \Delta h \cdot y, \quad (3)$$

Тогда объем всей фигуры  $OABO'A'B'$  будет определяться из выражения:

$$V_{OABO'A'B'} = V_{O'A'B'OA''B''} + V_{OABA''B''} = a \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} \Delta h \right), \quad (4)$$

Аналогично рассчитаем объемы фигур других сегментов кровли:

$$V_{OAC O' A' C'} = b \cdot x \cdot \left( \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} \Delta h \right), \quad (5)$$

$$V_{OCD O' C' D'} = a \cdot (b - y) \cdot \left( \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} \Delta h \right), \quad (6)$$

$$V_{OBD O' B' D'} = b \cdot (a - x) \cdot \left( \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} \Delta h \right). \quad (7)$$

Общий геометрический требуемый объем материала для устройства разуклонки кровли тогда составит:

$$V_{ABCD A' B' C' D'} = V_{OABO'A'B'} + V_{OAC O' A' C'} + V_{OCD O' C' D'} + V_{OBD O' B' D'} = a \cdot b \cdot \left( h + \frac{2}{3} \Delta h \right). \quad (8)$$

Так как в зависимости (8) произведение  $a$  на  $b$  характеризует площадь кровли, то средняя высота слоя материала разуклонки составит:

$$h_{\text{ср}} = h + \frac{2}{3} \Delta h, \quad (9)$$

$$\text{или } h_{\text{ср}} = \frac{1}{3} (2h_{\text{max}} + h_{\text{min}}). \quad (10)$$

Рассчитаем отклонение средней высоты слоя материала разуклонки, рассчитанной по формуле (10), от средней высоты по источнику [2]:

$$\eta = \frac{h_{\text{ср}(10)} - h_{\text{ср}[3]}}{h_{\text{ср}(10)}} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где  $h_{\text{ср}(10)}$  – средняя высота слоя материала разуклонки, рассчитанная по формуле (10);  
 $h_{\text{ср}[3]}$  – средняя высота слоя материала разуклонки по источнику [2].

Для сокращения количества производимых расчетов используем не абсолютное значение  $h_{\text{min}}$  и  $h_{\text{max}}$ , а их отношение, выражаемое коэффициентом  $k = h_{\text{min}}/h_{\text{max}}$ . Формула (11) тогда примет вид:

$$\eta = \frac{1 - k}{2(2 + k)} \cdot 100 \%, \quad (12)$$

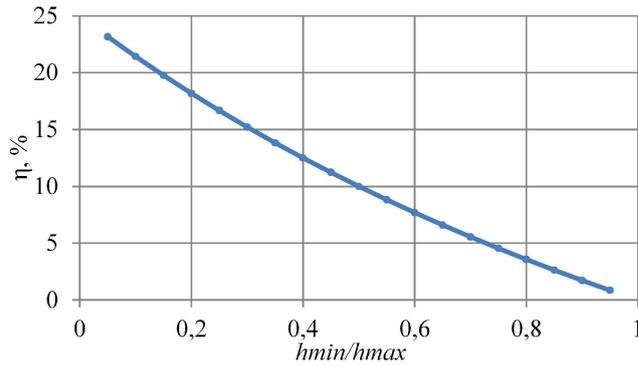
Результаты произведенных расчетов приведены на рис. 4.

Стоит учитывать, что приведенные выше формулы подходят для плоских кровель, у которой водоприемная воронка располагается около парапета как приведено на рис. 2. Для ситуации, когда воронка располагается по центру нужно рассчитывать объем по формуле (13):

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{парал}} + V_{\text{раз}}, \quad (13)$$

где  $V_{\text{парал}}$  – объем нижнего слоя с постоянной толщиной, определяемый как объем параллелепипеда;  
 $V_{\text{раз}}$  – объем верхнего слоя с переменной толщиной, определяемый по формуле (14):

$$V_{\text{раз}} = \frac{2}{3} \Delta h. \quad (14)$$

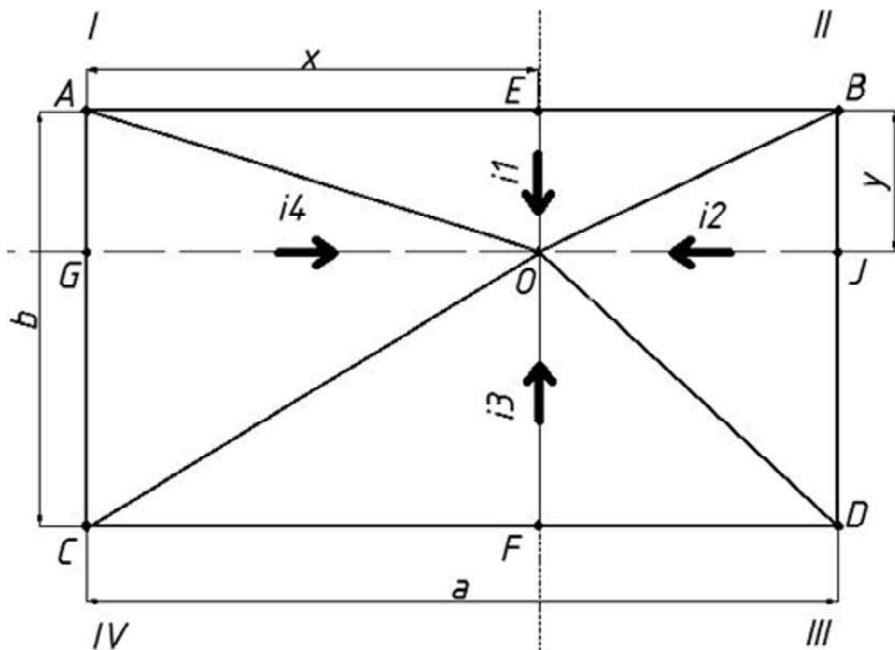


**Рисунок 4** – График зависимости отклонения средней высоты слоя материала разуклонки, рассчитанной по формуле (8) со средней высотой по источнику [2].

Полученные результаты показывают, что объем материала для устройства разуклонки кровли не верно рассчитывать, как произведение полусуммы минимальной (у водоприемной воронки) и максимальной (у парапета) толщины слоя на площадь кровли, так как отклонение от геометрического объема материала может достигать 25 %. При условии равенства отметок материала слоя разуклонки у парапета и в случае простейшей конфигурации кровли, геометрический объем материала разуклонки должен определяться как произведение одной трети от суммы двух максимальных и одной минимальной толщины слоя на площадь кровли.

*Вариант 2*

Рассмотрим случай, когда при устройстве плоской кровли простейшей конфигурации применяется конструктивное решение, обеспечивающее равенство уклонов всех формируемых поверхностей. Пусть имеется некоторая кровля прямоугольной формы  $ABCD$  с одной водоприемной воронкой, располагаемой в точке  $O$  (рис. 5). Кровля длиной  $a$  и шириной  $b$  имеет поверхности с уклоном  $i$ , а положение водоприемной воронки характеризуется параметрами  $x, y$ . При этом всю кровлю разобьем на сегменты, один из которых приведен на рис. 6. Рассчитаем объем материала для устройства разуклонки при условии, что по всему периметру кровли отметка верха материала у парапета (за исключением одной наиболее удаленной от водоприемной воронки вертикальной поверхности парапета) есть величина переменная. Это будет соответствовать условию  $i_1 = i_2 = i_3 = i_4$ .



**Рисунок 5** – Вид сверху кровли прямоугольной формы.

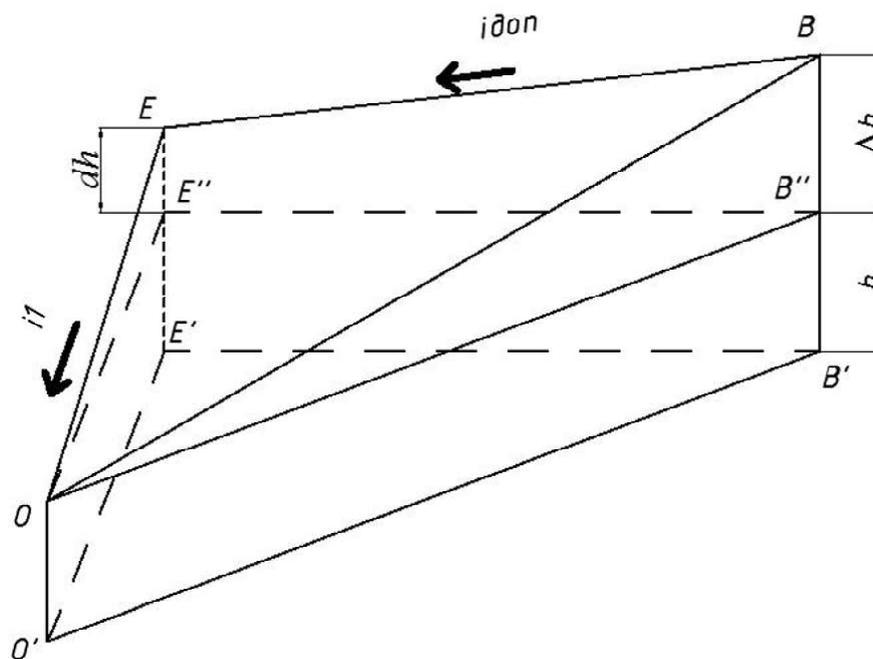


Рисунок 6 – Сегмент кровли прямоугольной формы.

Объем треугольной призмы  $O'E'B'OE''B''$  составит:

$$V_{O'E'B'OE''B''} = \frac{1}{2}(a-x) \cdot y \cdot h, \quad (15)$$

Объем треугольной пирамиды  $OEBE''B''$  равен:

$$V_{OEBE''B''} = \frac{1}{3}S_{\text{осн}} \cdot y = \frac{y}{3} \cdot \frac{dh + \Delta h}{2} \cdot (a-x), \quad (16)$$

Известно, что  $dh = y \cdot i_1$ ,  $\Delta h = dh + (a-x) \cdot i_{\text{доп}}$ , причем  $i_1 = i_2 = i$ .  
Рассчитаем величину дополнительного уклона:

$$i_{\text{доп}} = \frac{\Delta h - dh}{a-x} = \frac{i_2 \cdot (a-x) - dh}{a-x} = i \cdot \left(1 - \frac{y}{a-x}\right). \quad (17)$$

Выражение (17) будет справедливо только в том случае, когда отношение  $\frac{y}{a-x} \leq 1$ , в противном случае  $i_{\text{доп}} = 0$ . Поэтому выражение (17) правильнее записать в виде:

$$i_{\text{доп}} = \begin{cases} i \cdot \left(1 - \frac{y}{a-x}\right), & \text{при } \frac{y}{a-x} \leq 1, \\ 0, & \text{при } \frac{y}{a-x} > 1. \end{cases} \quad (18)$$

Тогда объем треугольной пирамиды  $OEBE''B''$  будет определяться из зависимости:

$$V_{OEBE''B''} = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot y \cdot i \cdot (a-x) \cdot \left(y + \frac{1}{2} \cdot ((a-x) - y)\right), & \text{при } (a-x) \geq y; \\ \frac{1}{3} \cdot y^2 \cdot i \cdot (a-x), & \text{при } (a-x) < y. \end{cases} \quad (19)$$

Объем всей фигуры  $OEBO'E'B'$  составит:

$$\begin{aligned} V_{OEBO'E'B'} &= V_{O'E'B'OE''B''} + V_{OEBE''B''} = \\ &= \begin{cases} y \cdot (a-x) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot y + \frac{1}{6} \cdot y \cdot ((a-x) - y)\right), & \text{при } (a-x) \geq y; \\ y \cdot (a-x) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot y\right), & \text{при } (a-x) < y. \end{cases} \end{aligned} \quad (20)$$

Из аналогичных рассуждений получаем объемы других сегментов кровли:

$$V_{OEA'O'E'A'} = \begin{cases} x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot y \cdot i + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (x - y) \right), & \text{при } x \geq y, \\ x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot y \cdot i \right), & \text{при } x < y. \end{cases} \quad (21)$$

$$V_{OBJ'O'B'J'} = \begin{cases} (a - x) \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (a - x) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (y - (a - x)) \right), & \text{при } y \geq (a - x), \\ (a - x) \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (a - x) \right), & \text{при } y < (a - x). \end{cases} \quad (22)$$

$$V_{ODJ'O'D'J'} = \begin{cases} (b - y) \cdot (a - x) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (a - x) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot ((b - y) - (a - x)) \right), & \text{при } (b - y) \geq (a - x), \\ (b - y) \cdot (a - x) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (a - x) \right), & \text{при } (b - y) < (a - x). \end{cases} \quad (23)$$

$$V_{ODFO'D'F'} = \begin{cases} (b - y) \cdot (a - x) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (b - y) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot ((a - x) - (b - y)) \right), & \text{при } (a - x) \geq (b - y), \\ (b - y) \cdot (a - x) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (b - y) \right), & \text{при } (a - x) < (b - y). \end{cases} \quad (24)$$

$$V_{OCFO'C'F'} = \begin{cases} x \cdot (b - y) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (b - y) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (x - (b - y)) \right), & \text{при } x \geq (b - y), \\ x \cdot (b - y) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (b - y) \right), & \text{при } x < (b - y). \end{cases} \quad (25)$$

$$V_{OCGO'C'G'} = \begin{cases} x \cdot (b - y) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot x + \frac{1}{6} \cdot i \cdot ((b - y) - x) \right), & \text{при } (b - y) \geq x, \\ x \cdot (b - y) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot x \right), & \text{при } (b - y) < x. \end{cases} \quad (26)$$

$$V_{OAG'O'A'G'} = \begin{cases} x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot x \cdot i + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (y - x) \right), & \text{при } y \geq x, \\ x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot x \cdot i \right), & \text{при } y < x. \end{cases} \quad (27)$$

Рассчитаем объем элементов по I четверти (рис. 5):

$$V_I = V_{OEA'O'E'A'} + V_{OAG'O'A'G'} = \begin{cases} x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot y \cdot i + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (x - y) \right), & \text{при } x \geq y, \\ x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot y \cdot i \right), & \text{при } x < y. \end{cases} + \begin{cases} x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot x \cdot i + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (y - x) \right), & \text{при } x < y, \\ x \cdot y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot x \cdot i \right), & \text{при } x \geq y. \end{cases} \quad (28)$$

Так как составные части систем первого и второго слагаемых применяются при одних и тех же условиях, то уравнение (28) принимает вид:

$$V_I = \begin{cases} x \cdot y \cdot \left( h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (x + y) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (x - y) \right), & \text{при } x \geq y, \\ x \cdot y \cdot \left( h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (y + x) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot (y - x) \right), & \text{при } x < y. \end{cases} \quad (29)$$

$$\text{или } V_I = x \cdot y \cdot \left( h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (x + y) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot |x - y| \right). \quad (30)$$

Аналогичным образом находим объемы элементов по другим четвертям:

$$V_{II} = y \cdot (a - x) \cdot \left( h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (y + (a - x)) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot |y - (a - x)| \right), \quad (31)$$

$$V_{III} = (a - x) \cdot (b - y) \cdot \left( h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot ((a - x) + (b - y)) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot |(a - x) - (b - y)| \right), \quad (32)$$

$$V_{IV} = x \cdot (b - y) \cdot \left( h + \frac{1}{3} \cdot i \cdot (x + (b - y)) + \frac{1}{6} \cdot i \cdot |x - (b - y)| \right). \quad (33)$$

Среднюю высоту слоя разуклонки можно определить из равенства:

$$\begin{aligned} h_{\text{cp}} = & \frac{V_I + V_{II} + V_{III} + V_{IV}}{a \cdot b} = \frac{x \cdot y}{a \cdot b} \cdot \left( h + \frac{i}{3} \cdot (x + y) + \frac{i}{6} \cdot |x - y| \right) + \\ & + \frac{y \cdot (a - x)}{a \cdot b} \cdot \left( h + \frac{i}{3} \cdot (y + (a - x)) + \frac{i}{6} \cdot |y - (a - x)| \right) + \\ & + \frac{(a - x) \cdot (b - y)}{a \cdot b} \cdot \left( h + \frac{i}{3} \cdot ((a - x) + (b - y)) + \frac{i}{6} \cdot |(a - x) - (b - y)| \right) + \\ & + \frac{x \cdot (b - y)}{a \cdot b} \cdot \left( h + \frac{i}{3} \cdot (x + (b - y)) + \frac{i}{6} \cdot |x - (b - y)| \right). \end{aligned} \quad (34)$$

В связи с тем, что по условию задачи уклоны всех поверхностей кровли равны, максимальная толщина слоя разуклонки будет определяться наибольшей длиной поверхности. В представленном случае  $h_{\text{max}}$  равна:

$$h_{\text{max}} = h_{\text{min}} + \max(x \cdot i; y \cdot i; (a - x) \cdot i; (b - y) \cdot i). \quad (35)$$

Тогда из выражения (1) средняя высота слоя материала разуклонки составит:

$$h'_{\text{cp}} = h_{\text{min}} + 0,5 \cdot \max(x \cdot i; y \cdot i; (a - x) \cdot i; (b - y) \cdot i). \quad (36)$$

Рассчитаем отклонение средней высоты слоя материала разуклонки, рассчитанной по формуле (34), от средней высоты, получаемой по формуле (33):

$$\eta = \frac{h_{\text{cp}} - h'_{\text{cp}}}{h_{\text{cp}}} \cdot 100 \%. \quad (37)$$

Так как в формуле (33) чрезмерно большое количество абсолютных переменных, то расчет целесообразней проводить в относительных единицах. Введем следующие обозначения:

$$k_{ab} = \frac{b}{a}, k_{ax} = \frac{x}{a}, k_{by} = \frac{y}{b}.$$

В этом случае формулы (34) и (36) примут вид:

$$\begin{aligned} h_{\text{cp}} = & k_{ax} \cdot k_{by} \cdot \\ & \cdot \left( h + 1/3 \cdot i \cdot a \cdot (k_{ax} + k_{by} \cdot k_{ab}) + 1/6 \cdot i \cdot a \cdot |k_{ax} - k_{by} \cdot k_{ab}| \right) + \\ & + k_{by} \cdot (1 - k_{ax}) \cdot \left( h + 1/3 \cdot i \cdot a \cdot (k_{by} \cdot k_{ab} + (1 - k_{ax})) + 1/6 \cdot i \cdot a \cdot |k_{by} \cdot k_{ab} - (1 - k_{ax})| \right) + \\ & + (1 - k_{ax}) \cdot (1 - k_{by}) \cdot \\ & \cdot \left( h + 1/3 \cdot i \cdot a \cdot ((1 - k_{ax}) + k_{ab} \cdot (1 - k_{by})) + 1/6 \cdot i \cdot a \cdot |(1 - k_{ax}) - k_{ab} \cdot (1 - k_{by})| \right) + \\ & + k_{ax} \cdot (1 - k_{by}) \cdot \\ & \cdot \left( h + 1/3 \cdot i \cdot a \cdot (k_{ax} + k_{ab} \cdot (1 - k_{by})) + 1/6 \cdot i \cdot a \cdot |k_{ax} - k_{ab} \cdot (1 - k_{by})| \right). \end{aligned} \quad (38)$$

$$h'_{\text{cp}} = h_{\text{min}} + 0,5 \cdot \max(k_{ax} \cdot a \cdot i; k_{by} \cdot k_{ab} \cdot a \cdot i; a \cdot (1 - k_{ax}) \cdot i; k_{ab} \cdot a \cdot (1 - k_{by}) \cdot i). \quad (39)$$

Примем следующие значения параметров:  $k_{ax} (k_{by}) = 0,5; 0,7; 0,9; k_{ab} = 0,2; 0,6; 1,0; h = 0; 0,1; 0,2; a = 5; 25; 45$ . Результаты определения отклонения средней высоты слоя материала разуклонки, рассчитанной по формуле (38), от средней высоты, получаемой по формуле (39), при  $i = 0,015$ , представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что отклонение средней высоты слоя материала разуклонки, исходя из геометрических построений от средней высоты, принимаемой в расчетах,

может быть как положительным, так и отрицательным и достигать от минус 15 до плюс 25 %. При этом при форме кровли, незначительно отличающейся от квадрата, средняя высота слоя материала разуклонки исходя из геометрических построений, практически всегда превышает расчетный показатель. Только при очень вытянутых формах кровли, когда одна из сторон прямоугольника значительно превышает другую сторону, наблюдается обратная ситуация, да и то не во всех случаях.

**Таблица 1** – Отклонение средней высоты слоя материала разуклонки, исходя из геометрических построений от средней высоты, принимаемой в расчетах

$k_{ax}$	$k_{by}$	$k_{ab}$	Значение $\eta$ при значении величины $h_{min}$ :								
			0			0,1			0,2		
			$a = 5$	$a = 25$	$a = 45$	$a = 5$	$a = 25$	$a = 45$	$a = 5$	$a = 25$	$a = 45$
0,5	0,5	0,2	6,25	6,25	6,25	1,04	3,12	4,02	0,57	2,08	2,96
		0,6	16,67	16,67	16,67	3,06	8,82	11,16	1,69	6,00	8,39
		1,0	25,00	25,00	25,00	5,00	13,89	17,31	2,78	9,62	13,24
	0,7	0,2	7,18	7,18	7,18	1,21	3,61	4,63	0,66	2,41	3,42
		0,6	18,83	18,83	18,83	3,53	10,09	12,72	1,95	6,89	9,60
		1,0	11,02	11,02	11,02	2,51	6,57	8,00	1,42	4,68	6,28
	0,9	0,2	9,86	9,86	9,86	1,70	5,02	6,42	0,93	3,37	4,76
		0,6	21,51	21,51	21,51	4,41	12,12	15,04	2,46	8,43	11,56
		1,0	11,18	11,18	11,18	3,08	7,33	8,65	1,79	5,45	7,06
0,7	0,5	0,2	-14,13	-14,13	-14,13	-2,64	-7,56	-9,53	-1,46	-5,16	-7,19
		0,6	-2,94	-2,94	-2,94	-0,60	-1,65	-2,05	-0,33	-1,15	-1,57
		1,0	11,02	11,02	11,02	2,51	6,57	8,00	1,42	4,68	6,28
	0,7	0,2	-13,15	-13,15	-13,15	-2,48	-7,06	-8,89	-1,37	-4,83	-6,71
		0,6	1,80	1,80	1,80	0,38	1,03	1,27	0,21	0,72	0,98
		1,0	15,59	15,59	15,59	3,70	9,49	11,49	2,10	6,82	9,10
	0,9	0,2	-10,29	-10,29	-10,29	-1,98	-5,59	-7,02	-1,09	-3,84	-5,32
		0,6	11,08	11,08	11,08	2,52	6,60	8,05	1,42	4,70	6,32
		1,0	13,90	13,90	13,90	3,92	9,21	10,83	2,28	6,88	8,87
0,9	0,5	0,2	-5,47	-5,47	-5,47	-1,33	-3,37	-4,06	-0,75	-2,43	-3,23
		0,6	3,57	3,57	3,57	0,93	2,27	2,71	0,53	1,67	2,18
		1,0	11,18	11,18	11,18	3,08	7,33	8,65	1,79	5,45	7,06
	0,7	0,2	-4,59	-4,59	-4,59	-1,12	-2,83	-3,41	-0,64	-2,05	-2,72
		0,6	5,52	5,52	5,52	1,45	3,54	4,21	0,84	2,60	3,40
		1,0	13,90	13,90	13,90	3,92	9,21	10,83	2,28	6,88	8,87
	0,9	0,2	-2,33	-2,33	-2,33	-0,58	-1,45	-1,75	-0,33	-1,06	-1,39
		0,6	10,93	10,93	10,93	3,00	7,15	8,45	1,74	5,32	6,89
		1,0	21,14	21,14	21,14	6,34	14,41	16,79	3,73	10,93	13,92

Для подтверждения представленных результатов будет представлена 3D-модель прямоугольной плоской кровли, размещенная в «Системе управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу», на примере реального объекта «Общеобразовательная школа на 1 225 учащихся с универсальным спортивным блоком», расположенным по адресу Кемеровская область-Кузбасс, г. Новокузнецк, в квартале 45-46 Центрального района. Будет рассмотрена часть кровли, а именно блок Б (рис. 7, 8).

По 3D-модели общий объем материала составил 478,16657 м<sup>3</sup>, в том числе: 206,24039 м<sup>3</sup> на верхний слой и 271,92618 м<sup>3</sup> на нижний слой, а сметная стоимость составила 239 169,96 и 270 052,91 руб. соответственно.

В табл. 2 приведена выдержка из локального сметного расчета (ЛСР), составленного в текущем (базисном) уровне цен 27.05.2021 (01.01.2000), устройство двух слоев кровли блока Б, которые и используются для подтверждения приведенных формул. Первый слой под пунктом 1 749 является нижним слоем с постоянной толщиной и выполнен плитами из экструдированного пенополистирола КТплэкс 35/прим.CARBON PROF, второй слой второй слой выполнен плитами из экструдированного пенополистирола КТплэкс 45/прим.Carbon ProfSlope с переменной толщиной.

Подводя итоги, был построен график исходя из полученных данных расчета (рис. 9).

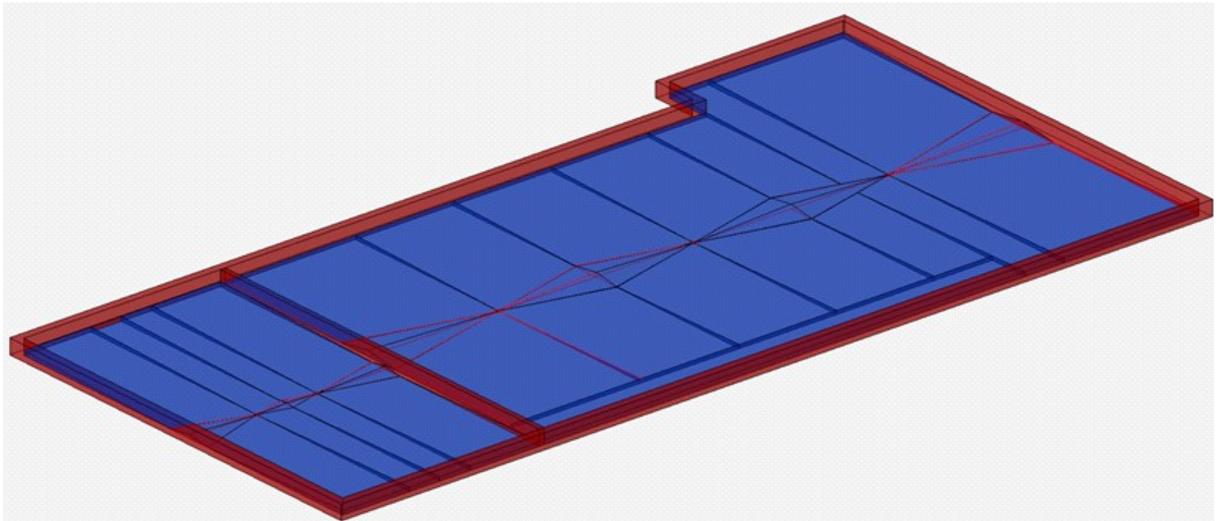


Рисунок 7 – Общий вид кровли блока Б общеобразовательной школы на 1 225 учащихся с универсальным спортивным блоком в г. Новокузнецк.

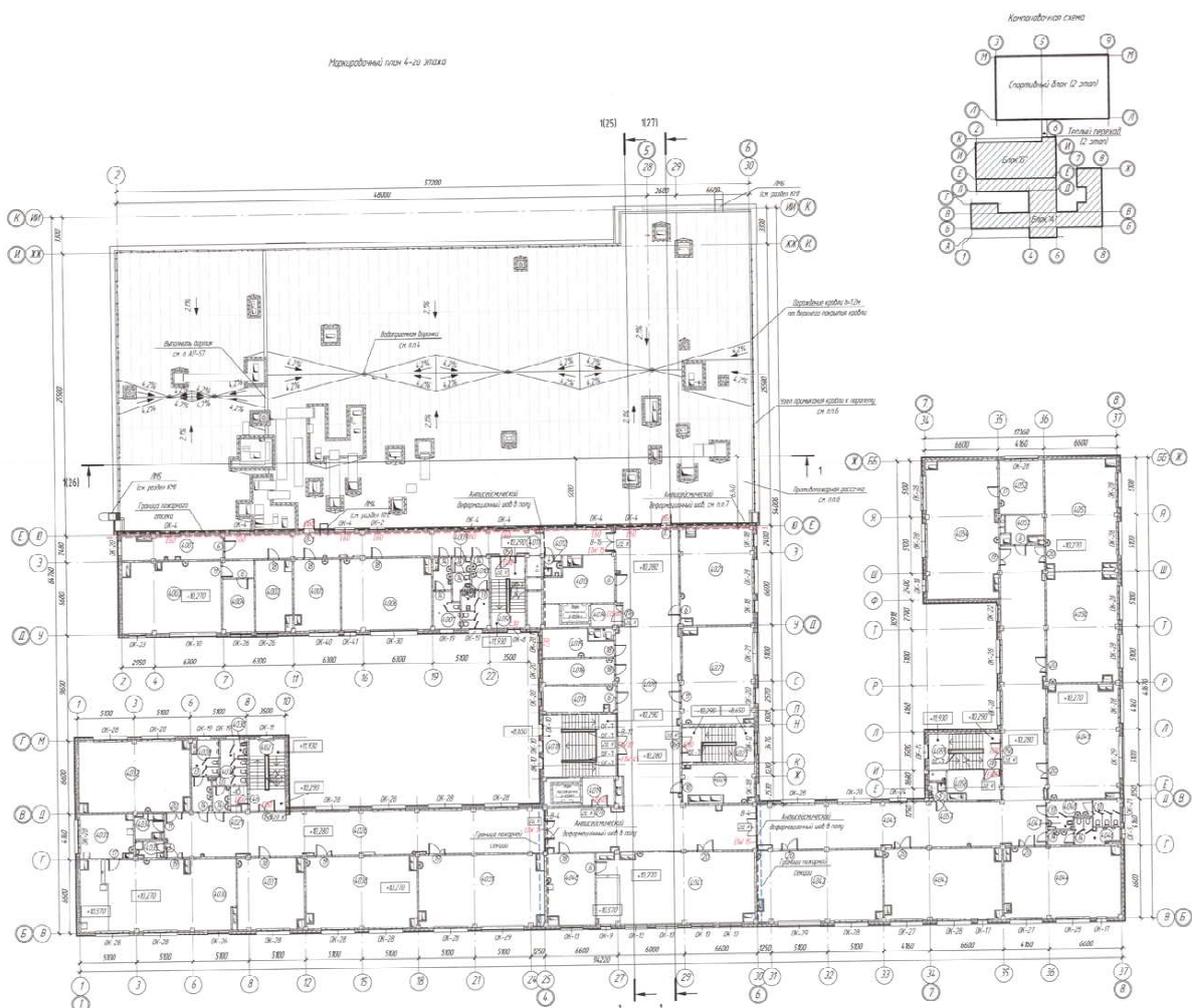
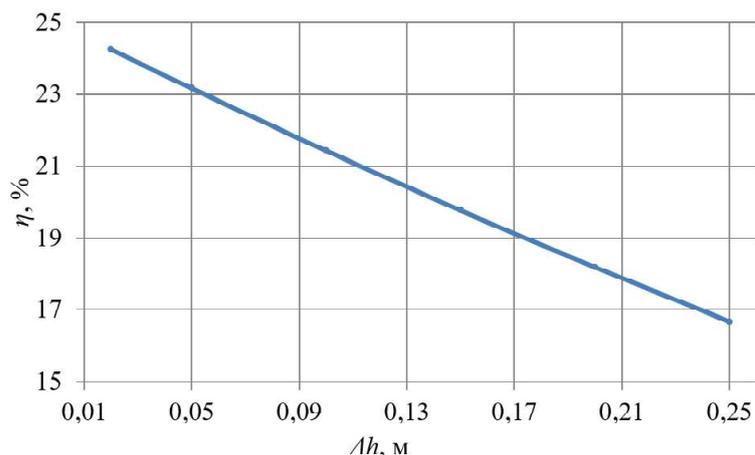


Рисунок 8 – План 4-го этажа общеобразовательной школы на 1 225 учащихся с универсальным спортивным блоком в г. Новокузнецк.

**Таблица 2** – Выдержка из ЛСР № 02-01-02 на устройство кровли блока Б общеобразовательной школы на 1 225 учащихся с универсальным спортивным блоком в г. Новокузнецк

№ п/п	Обоснование	Наименование работ затрат	Ед. изм	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.			Индексы	Сметная стоимость в текущем уровне цен, руб.
				на ед.	коэф.	всего	на ед.	коэф.	всего		
1749	ФССЦ-12.2.05.09-0022	Плиты из экструдированного пенополистирола КТплэкс 35/прим. CARBON PROF (Кровли) Объем = 1 466,7*0,18*1,03	м3			271,92618	879,54		239 169,95		
1752	ФССЦ-12.2.05.09-0023	Плиты из экструдированного пенополистирола КТплэкс 45/прим. Carbon Prof Slope (10 + 310) / 2 = 160 мм (Бетонные и железобетонные монолитные конструкции и работы в строительстве) Объем = 1 466,7*0,16*1,03	м3			241,71216	1117,25		270 052,91		



**Рисунок 9** – График зависимости отклонения средней высоты слоя материала разуклонки, рассчитанной по формуле (13) со средней высотой по источнику [2].

### ВЫВОДЫ

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что предлагаемая методика более предпочтительна, чем существующая, потому что отклонение результатов, получаемых по формуле (13) от 3D-модели кровли составило приблизительно 1,5 %, в то время существующая методика расчета объема материала для устройство плоской кровли, приведенная в смете, превышает реальный объем более чем на 7 %. Из расчетов видно, что приведенные формулы считают более точно к реальным объемам, необходимым на устройство кровли и могут быть использованы в любой момент времени для проверки результатов, полученных проектировщиками.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сыпучие теплоизолирующие кровельные материалы и их свойства. – Текст : электронный // Кровля крыш : [сайт]. – 2014. – 20 октября. – URL: <http://krovlya-krysha.ru/uteplenie-kryshi/sypuchie-teploizoliruyushie-krovelnye-materialy-i-ix-svoystva.html> (дата обращения: 25.10.2024).
2. Разуклонка кровли. – Текст : электронный // СТМ-Строй : [сайт]. – URL: <https://stroystm.ru/poleznye-publikatsii/stati/raschet-uklona-krovli> (дата обращения: 25.10.2024).
3. Пилипенко, А. С. Повышение эффективности технологии минераловатных плит / А. С. Пилипенко, В. А. Перфилов, К. В. Матьков. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2016. – № 3. – С. 86–92. – ISSN 1997-0935.
4. Будченко, А. Готовое решение формирования уклонов плоской кровли: быстро и надежно / А. Будченко. – Текст : непосредственный // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015. – № 9–10. – С. 24–25. – ISSN 1729-9209.
5. Орлова, И. Современные решения для формирования внутреннего водоотведения плоских кровель / И. Орлова. – Текст : непосредственный // Кровельные и изоляционные материалы. – 2018. – № 1. – С. 25–27. – ISSN 1813-789X.
6. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 25 декабря 2023 года) : Федеральный закон [принят Государственной Думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года] // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2009. – № 1. – Статья 1. – 26 с. – Текст : непосредственный.
7. Верстов, В. В. Вибрационная технология устройства гидроизолированной стены в грунте для малоэтажных зданий / В. В. Верстов, Г. А. Белов, В. В. Латута. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2008. – № 6. – С. 2–5. – ISSN 0044-4472.
8. Ворона-Сливинская, Л. Г. Стратегическое планирование развития промышленного производства: особенности осуществления в условиях нестабильных макро-, микросред / Л. Г. Ворона-Сливинская ; Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов. – Препринт. – Санкт-Петербург : Диалог, 2007. – 19 с. – Текст : непосредственный.
9. Демидов, Н. В. Основы кровельного мастерства / Н. В. Демидов. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2000. – 184 с. – ISBN 5-222-01456-8. – Текст : непосредственный.
10. Макаридзе, Г. Д. Применение современных строительных материалов – опилкобетон: функциональные свойства и технология производства / Г. Д. Макаридзе, Л. Г. Ворона-Сливинская. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 249–254.
11. Сбитнева, Е. Н. Кровельные работы / Е. Н. Сбитнева. – Москва : ВЕЧЕ, 2005. – 424 с. – ISBN 5-9533-1056-0. – Текст : непосредственный.

12. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия : учебник для СПО / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – Москва : Студент, 2011. – 440 с. – ISBN 978-5-4363-0003-0. – Текст : непосредственный.
13. Попченко, С. Н. Гидроизоляция сооружений и зданий / С. Н. Попченко. – Ленинград : Стройиздат, 1981. – 304 с. – Текст : непосредственный.
14. Гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие материалы / И. В. Провинтеев, П. Е. Бурлаченко, В. И. Ватажина, В. Ф. Панкратов. – Москва : Госстройиздат, 1963. – 231 с. – Текст : непосредственный.
15. Шерешевский, И. А. Конструирование гражданских зданий. Учебное пособие для техникумов / И. А. Шерешевский. – Москва : Архитектура-С, 2019. – 176 с. – ISBN 978-5-9647-0030-2. – Текст : непосредственный.
16. Эксплуатируемая плоская кровля: конструкция и обустройство. – Текст : электронный // GIDСТРОИ : [сайт]. – 2013–2024. – URL: <https://gid-str.ru/ekspluatiruemaya-ploskaya-krovlya-konstrukciya-i-obustrojstvo> (дата обращения: 25.10.2024).

### Информация об авторе

**Шабает Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент; заместитель начальника дорожно-строительной лаборатории института цифры Кемеровского государственного университета, Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия. Научные интересы: узлы сопряжения конструктивных элементов кровли.

**Иванов Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой автомобильных дорог и городского кадастра Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева, Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия. Научные интересы: узлы сопряжения конструктивных элементов кровли.

**Гераськин Алексей Николаевич** – директор ООО «АЛЬФА-ПРО», Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия. Научные интересы: узлы сопряжения конструктивных элементов кровли.

**Кабанов Юрий Евгеньевич** – ассистент кафедры автомобильных дорог и городского кадастра Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева, Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия. Научные интересы: узлы сопряжения конструктивных элементов кровли.

**Коньков Николай Юрьевич** – начальник отдела разработки Кемеровского государственного университета, Кемеровская область – Кузбасс, Кемерово, Россия. Научные интересы: узлы сопряжения конструктивных элементов кровли.

### Information about the author

**Shabaev Sergey N.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Deputy Head of the Road Construction Laboratory of the Institute of Figures, Kemerovo State University, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia. Scientific interests: junctions of structural elements of the roof.

**Ivanov Sergey A.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of the Department of Highways and Urban Cadastre, Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia. Scientific interests: junctions of structural elements of the roof.

**Geraskin Alexey N.** – Director of LLC «ALPHA-PRO», Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia. Scientific interests: junctions of structural elements of the roof.

**Kabanov Yuri Ye.** – Assistant, at the Department of Highways and Urban Cadastre, Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia. Scientific interests: junctions of structural elements of the roof.

**Konkov Nikolai Yu.** – Head of the Development Department, Kemerovo State University, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Russia. Scientific interests: junctions of structural elements of the roof.

*Статья поступила в редакцию 05.11.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 29.11.2024.*

*The article was submitted 05.11.2024; approved after reviewing 22.11.2024; accepted for publication 29.11.2024.*