



Г. Н. Карпов

РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ АДГЕЗИИ ПРИ ПРИКЛЕИВАНИИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЛОЕВ РУЛОННОЙ КРОВЛИ

Рулонные кровли на большинстве промышленных и жилых зданий находятся в неудовлетворительном состоянии, вследствие чего атмосферные воды попадают внутрь помещения. Протекание рулонных кровель происходит из-за ненадежной работы гидроизоляционных слоев. Для установления физико-механических процессов, происходящих в рулонных кровлях, требуется определение ряда параметров. В статье выполнен расчет одного из важнейших параметров величины адгезии, при наклеивании гидроизоляционных слоев рулонных кровель.

В проведенных различными институтами исследованиях рулонных кровель очень мало внимания уделено механике их работы, выявлению усилий, возникающих в элементах кровли, и их влиянию на появление дефектов и повреждений. Гидроизоляционный ковер под воздействием солнечных лучей увеличивается в объеме и деформируется, образуя складки и вспучивание отдельных мест, а при отрицательных температурах резко сокращается в объеме, и в нем появляются большие напряжения. Эти деформации возникают в каждом гидроизоляционном слое, различные как по величине, так и по времени, и являются, по-видимому, основными причинами разрушения рулонных кровель.

В данной статье решена одна из основных задач, решение которой требует расчета методами строительной механики.

Задача определения усилий в кровле является трудной задачей строительной механики, главным образом из-за неопределенных физических свойств основания гидроизоляционного ковра. Известно, что основание гидроизоляционного ковра, расположенное на слое утеплителя, под нагрузкой деформируется и получает осадку, причем после удаления нагрузки наблюдается остаточная деформация. Таким образом, слою утеплителя можно приписать условно упругие свойства. Поэтому решение поставленной задачи возможно путем расчета элементов кровли на упругом основании. Но учитывая многослойность кровли, причем с неоднородными слоями, имеющими различные физико-механические свойства, она не может соответствовать гипотезе теории упругости о сплошности, однородности, изотропности тела, а следовательно, не может быть применима общая методика расчета теории упругости.

В связи с этим наиболее правильным является применение методики расчета элементов рулонной кровли по дискретной схеме, составленной с учетом идеи, предложенной проф. Б.Н. Жемочкиным.

Принципиально конструкция рулонных кровель (рис. 1) включает: гидроизоляционный ковер (1), состоящий из нескольких слоев рулонных материалов, склеенных между собой битумной мастикой (2), основание (3), теплоизоляционный слой (4). Все эти элементы располагаются на железобетонных или других плитах покрытия (5).

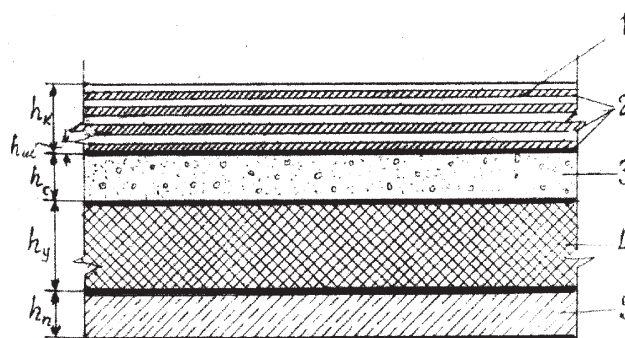


Рисунок 1.

Для составления расчетной схемы конструкции кровли можно предположить, что связь между гидроизоляционными слоями и в целом гидроизоляционного ковра с основанием осуществляется только в отдельных точках, находящихся в серединах прямолинейных участков эпюры. Таким образом, от расчета гидроизоляционного ковра на упругом основании мы переходим к его расчету на упругих опорах, число которых можно принять в соответствии с выбранной степенью точности расчета.

Тогда расчетная схема будет выглядеть следующим образом (рис. 2). Эта принципиальная схема является сложной статически неопределимой рамой с лишением подвижности системы в горизонтальном направлении. Поэтому для формирования расчетных схем можно принять следующие допущения:

- гидроизоляционные слои (от двух и более), склеенные между собой битумной мастикой, работающие совместно, рассматривать как единый сплошной элемент;

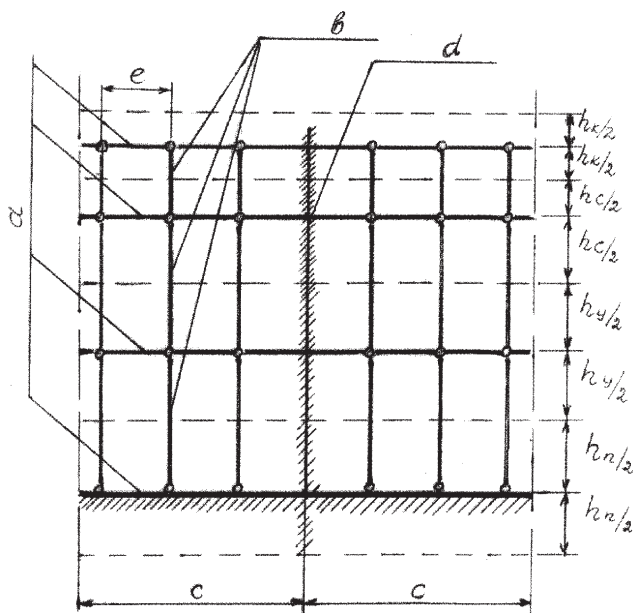


Рисунок 2.

– связь основания кровель с теплоизоляционным слоем выражается только силами трения, которыми в расчете можно пренебречь, и считать основание как упругую опорную плоскость для гидроизоляционного ковра;

– нагрузки на рулонные кровли рассматривать как симметричные относительно некоторых точек (заделок), а рассчитываемый участок системы рассматривать как консоль;

– при определении толщины основания не учитывать гидроизоляционные слои, имеющие малую жесткость на изгиб;

– при расчете прочности склеивания гидроизоляционного ковра с основанием не учитывать работу слоя утеплителя и плит покрытий.

Рассматривая рисунок 2, заметим, что это статически неопределимая система. Решать такую систему можно способом сил, способом деформаций (перемещений) и смешанным способом.

Разрезаем вертикальные стержни и заменяем их работу действием неизвестных сил $x_1, x_2, x_3 \dots x_i$, в результате расчетная схема из статически неопределимой (рис. 2) становится статически определимой (рис. 3).

Для нахождения неизвестных (x_i) составляем канонические уравнения обычного вида и определяем усилия, возникающие в кровле.

Между гидроизоляционными слоями действуют усилия сдвига и отрыва их друг от друга. Эти усилия различны в летний и зимний периоды. Летом кровля подвергается воздействию вертикальных сил от веса рабочих с инструментом,

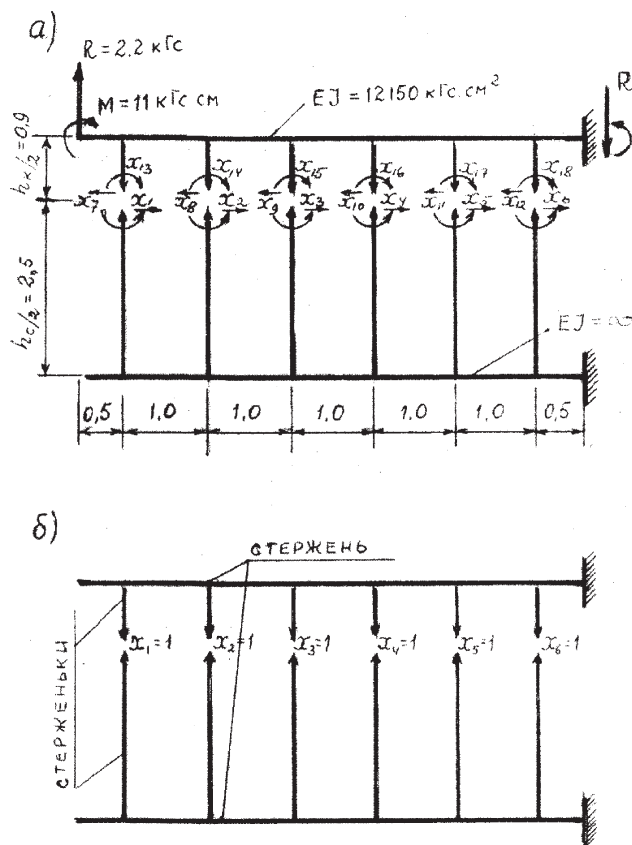


Рисунок 3.

а зимой воздействию отрицательных температур, веса снегового покрова и слоя пыли.

Рассмотрим решение задачи для летнего периода времени.

Принимаем исходные данные:

- верхний гидроизоляционный слой нагревается равномерно до температуры $\approx 50^\circ\text{C}$;
- коэффициент линейного расширения рубероида равен $24 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$;
- коэффициент Пуассона мастики – 0,25;
- модуль упругости битумной мастики БНК – IV $E_m = 20 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$;
- уклон кровли составляет $i = 10\%$.

Составляю расчетную схему, представленную на рисунке 4.

Влияние температуры

От воздействия положительной температуры верхний гидроизоляционный слой удлиняется на большую величину, чем нижележащий, и возникающий от этого изгибающий момент «прижимает» верхний слой к нижнему, поэтому он в расчете не учитывается.

Деформация сдвига (δ) гидроизоляционных слоев, передающаяся на слой битумной мастики, равна разнице удлинения слоев и определяется по формуле:

$$\delta = l \cdot \Delta t \cdot d \quad (1)$$

При условии равномерного нагрева кровли температурное воздействие равномерно по длине. Введем расчет полосы шириной и длиной в 1 см.

Подставляя принятые значения в формулу (1), получим:

$$\delta = 1 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 24 \cdot 10^{-5} \text{ см}.$$

Усилие сдвига T , возникающее в слое битумной мастики, которое одновременно является и напряжением сдвига τ_c , определяется по формуле:

$$\delta = k \frac{T_t}{G_M \cdot F} \quad (2)$$

$$T_t = \tau_t = \frac{\delta \cdot G_M \cdot F}{k} \quad (3)$$

где G_M – модуль сдвига битумной мастики, определяемый по известной зависимости:

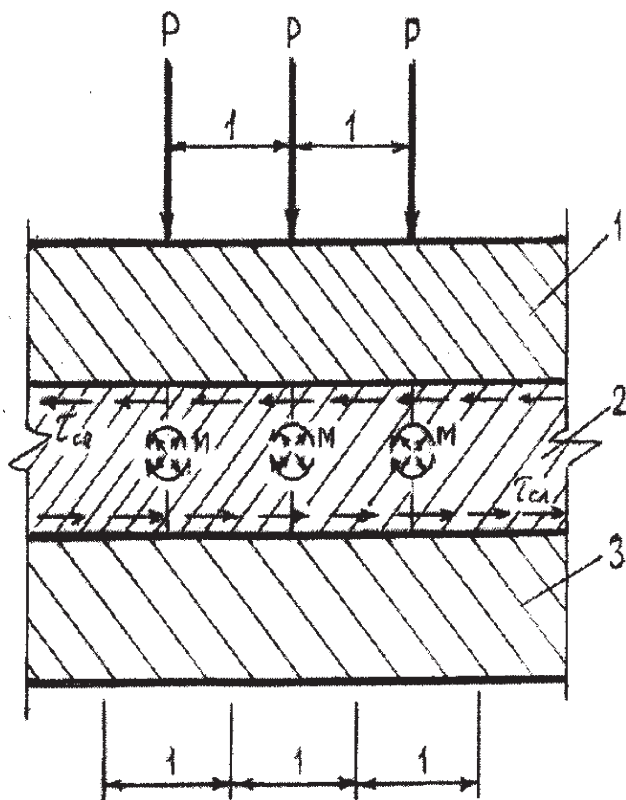


Рисунок 4.

$$G_M = \frac{E_M}{2(1 + \mu)} = \frac{20 \cdot 10^3}{2(1 + 0,25)} = 8 \cdot 10^3.$$

Определяем значения:

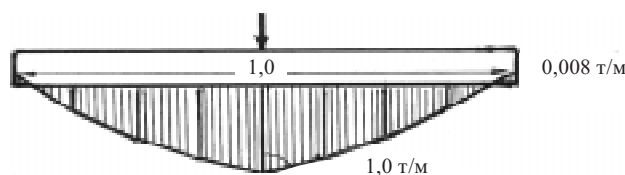
F – площадь сдвига, принята в расчете $1 \times 1 = 1 \text{ см}^2$;

k – коэффициент формы сечения. Для прямоугольного он равен 1,2.

Подставляя эти значения в формулу (38), получим:

$$T_t = \tau_t = \frac{24 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 1}{1,2} = 1,60 \text{ кг/см}^2.$$

Влияние вертикальной нагрузки



Вертикальная нагрузка складывается из веса рабочего с инструментом и равняется 115 кг. При перемещении рабочего нагрузка передается на одну ногу.

Принимаем площадь ступни равной 200 см², тогда давление (равномерное) на кровлю будет равно:

$$115 : 200 = 0,58 \text{ кг/см}^2$$

Учитывая, что кровля имеет уклон $i = 10\%$, усилие сдвига будет:

$$T_p = \tau_p = 0,58 \cdot \text{tg} \alpha = 0,06 \text{ кг/см}^2$$

Общая величина напряжения сдвига составит:

$$\tau_{ca} = \tau_t + \tau_p = 1,60 + 0,06 = 1,66 \text{ кг/см}^2$$

Адгезия битумной мастики к основанию при $t = 50^\circ\text{C}$ равна 0,66 Мпа = 6,6 кгс/см². Из расчета следует, что склеивание гидроизоляционных слоев (верхнего с нижележащим) имеет запас прочности $(6,60 : 1,66 = 4)$ в 4 раза.

Нижележащие слои рулонного ковра подвержены меньшим усилиям сдвига ввиду более низкой температуры их нагрева.

Решение задачи для зимнего периода

В зимний период на поверхность кровли действуют вертикальная снеговая нагрузка, собственный вес рулонного ковра и отрицательная температура.

Давление от снега на 1 см² составляет (по СНиП):

$$1,4 \cdot 100 \text{ кг/м}^2 = 0,014 \text{ кг/см}^2$$

Усилие сдвига на 1 см², определяемое по формулам (1, 3) и при перепаде температур между гидроизоляционными слоями, равном 1°С, равно:

$$\delta_3 = l \cdot \Delta t \cdot \alpha = 1 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 10^{-5} = 24 \cdot 10^{-5} \text{ см.}$$

$$\tau_3 = \frac{\delta_3 \cdot G \cdot F}{k} = \frac{24 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 1}{1,2} = 1,6 \text{ кг/см}^2$$

Изгибающий момент, способствующий отрыву гидроизоляционных слоев друг от друга, можно определить из условия:

$$\varphi = \frac{M}{EJ}, \quad M = \varphi \cdot E \cdot J \quad (4)$$

где φ – σ угол поворота сечения слоев, равный

$$\delta_l/h_k; \quad h_k = 2,0 \text{ см}$$

$$\varphi = 24 \cdot 10^{-5} : 2 = 12 \cdot 10^{-5}$$

E – модуль упругости ковра, равный $22,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$;

J – момент инерции рулонного ковра, рав-

$$\text{ный } \frac{\beta \cdot h^3}{12} = \frac{1 \cdot 2,0}{12} = 0,66 \text{ см}^4$$

$$M = 12 \cdot 10^{-5} \cdot 0,66 \cdot 22,5 \cdot 10^3 = 1,78 \text{ кг·см.}$$

Определяем величину отрывающей силы без учета снеговой нагрузки и собственного веса ковра.

$$R_p = \sqrt{G_0^2 + \tau_3^2} = \sqrt{1,78^2 + 1,6^2} = 2,4 \text{ кг/см}^2.$$

Учитывая, что адгезия гидроизоляционного слоя составляет 4,0 кг/см², то запас прочности склеивания составляет (4,0:2,4 = 1,7) 1,7 раза.

Таким образом, сдвигающее усилие составляет 1,66 кг/см². Разрывное усилие битумно-наиритовой композиции БНК – IV равно 1,0 кг/см², и склеивающий слой не может воспринять сдвигающее усилие, поэтому в зимний период времени происходит отслоение гидроизоляционных слоев.