УДК 692.415.6
doi: 10.33622/0869-7019.2023.06.65-72

О трещинообразовании в водоизоляционном ковре кровли из битумных материалов при низкой температуре

Алексей Михайлович ВОРОНИН, кандидат технических наук, зам. руководителя отдела покрытий и кровли, a.m.voronin@mail.ru

Александра Викторовна ПЕШКОВА, кандидат технических наук, руководитель отдела покрытий и кровли, a.v.peshkova@mail.ru

Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий, 127238 Москва, Дмитровское ш., 46, корп. 2

Аннотация. *Изложены результаты исследования водоизоляционного ковра кровли в процессе его эксплуатации при отрицательной температуре. Рассмотрен процесс образования трещин в приклеенном битумном слое не только за счет его связи с основанием под кровлю, но и за счет значительных различий значений коэффициентов линейного изменения битумных слоев армирующих материалов и материалов основания под кровлю. Показано, что под воздействием отрицательной температуры водоизоляционный ковер кровли меняет свои деформационные свойства. При этом также происходит раскрытие температурных швов либо внезапно образуются трещины в основании под кровлю (в стяжке). Рассмотрены изменения в водоизоляционном ковре при температурных деформациях выравнивающей стяжки. Приведены значения коэффициентов линейного изменения кровельных материалов (битумные и битумно-резиновые мастики, битумно-латексные эмульсии, рулонные материалы и полимерные пленки), а также водоизоляционного ковра и материалов основания под кровлю. Для уменьшения трещинообразования в водоизоляционном ковре кровли целесообразно в зимний период сохранять на кровле снежный покров толщиной 200—300 мм (на кровлях с небольшими уклонами), способствующий снижению теплопотерь через покрытие здания и температурных деформаций ковра.*

Ключевые слова*: кровля, битумные материалы, выравнивающая стяжка, трещины в приклеивающем слое, температурные деформации, дилатометр*

Для цитирования: *Воронин А. М., Пешкова А. В.* О трещинообразовании в водоизоляционном ковре кровли из битумных материалов при низкой температуре // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 6. С. 65—72. doi: 10.33622/0869-7019.2023.06.65-72

ON CRACKING IN THE WATERPROOFING CARPET OF A ROOF MADE OF BITUMINOUS MATERIALS AT LOW TEMPERATURES

Alexei M. VORONIN, a.m.voronin@mail.ru

Aleksandra V. PESHKOVA, a.v.peshkova@mail.ru

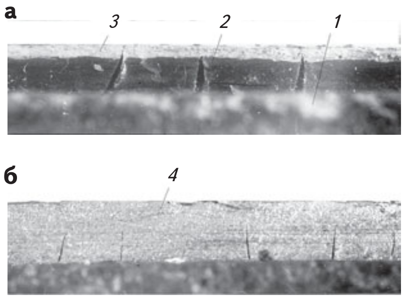
Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures – TsNIIPromzdaniy, Dmitrovskoe shosse, 46, korp. 2, Moscow 127238, Russian Federation

Abstract. *The results of the research of the waterproofing roofing carpet during its exploitation at negative temperatures are presented. The process of formation of cracks in the glued bitumen layer is considered not only due to its connection with the base under the roof, but also due to significant differences in the values of the coefficients of linear change of the bituminous layers of reinforcing materials and base materials for the roof. It is shown that under the influence of negative temperature, the waterproofing roofing carpet changes its deformation properties. At the same time, expansion joints also open or cracks suddenly form in the base under the roof (in the screed). Changes in the waterproofing carpet under temperature deformations of the leveling screed are considered. The values of the coefficients of linear change of roofing materials (bitumen and bitumen-rubber mastics, bitumen-latex emulsions, roll materials and polymer films), as well as waterproofing carpet and base materials for the roof are given. In order to reduce cracking in the waterproofing carpet of the roof, it is advisable to keep a snow cover 200—300 mm thick on the roof in winter (on roofs with slight slopes), which helps to reduce heat loss through the building cover and temperature deformations of the carpet.*

Keywords*: roofing, bituminous materials, leveling screed, cracks in the adhesive layer, temperature deformations, dilatometer*

For citation: Voronin A. M., Peshkova A. V. On Cracking in the Waterproofing Carpet of a Roof Made of Bituminous Materials at Low Temperatures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 6, pp. 65—72. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.06.65-72

Разнообразные воздействия естественной среды, различные их сочетания, а также вредные производственные выделения в атмосферу в комплексе влияют на водоизоляционный ковер кровли, вызывая сложную картину разрушения как на его поверхности, так и в самом водо-



1 — подложка из цементно-песчаного раствора; 2 — битумно-полимерный (приклеивающий) слой толщиной 3 мм; 3 — защитный слой, армированный стеклохолстом и стеклосеткой с ячейками 0,5×0,5 мм; 4 — битумно-полимерный слой, в середине которого расположена армирующая прокладка из стекложгутов, переплетенных базальтовыми нитями через 1,5 мм

Рис. 1. ***Трещины в приклеивающем слое кровельного наплавляемого рулонного материала в верхней (а) и нижней (б) частях***

изоляционном ковре. Полностью комплекс этих воздействий при испытании материалов в лабораторных условиях воспроизвести не представляется возможным. В связи с этим, учитывая идентичность отдельных факторов, которые существуют и в естественных условиях, и в искусственной среде лабораторных условий, рассмотрим влияние низкой температуры на свойства водоизоляционного ковра [1—5].

Понижение температуры вызывает растягивающие напряжения в водоизоляционном ковре, возникающие из-за разных коэффициентов линейного изменения водоизоляционного ковра и основания под него. Эти напряжения могут вызывать появление трещин в приклеивающих (подплавляемых) слоях. Так, эксперименты, выполненные в ЦНИИПромзданий, показали, что вследствие понижения температуры наплавляемых рулонных материалов, склеенных с подложкой из цементно-песчаного раствора, в подплавляемом (приклеивающем) слое были обнаружены трещины *(рис. 1)*. Трещины распространились в приклеивающем слое до армирующей основы, расположенной в верхней *(рис. 1а)* или средней *(рис. 1б)* части по толще материала. Ширина раскрытия трещин была в пределах 0,5—0,8 мм.

Отсутствие трещин на поверхности водоизоляционного ковра при проведении натурных обследований кровли не означает ее удовлетворительного состояния. Вероятно, циклическое раскрытие приведенных на *рис. 1* трещин способствует относительно быстрому разрушению слоя выше трещины, поэтому цель эксперимента состояла в определении состояния слоев водоизоляционного ковра при понижении температуры, т. е. в изучении сечения слоев на наличие трещин у образцов водоизоляционного ковра кровли, по возможности с основанием под ковер (сборная или монолитная стяжка). На появление этих трещин влияет, видимо, не только связь с основанием под кровлю, но и различие коэффициентов линейного изменения (α, град$^{-1}$) армирующей основы из стекловолокон и битумосодержащих составов (приклеивающих слоев наплавляемых рулонных материалов). Поэтому для оценки температурных деформаций водоизоляционного ковра кровли необходимо определить коэффициенты линейного изменения ковра и материалов кровли.

У материала с армирующей основой из стеклохолста происходит спад прочности при температуре ниже −20 °С *(рис. 2)*, что, вероятно, связано с ростом температурных напряжений на границе «стекловолокно—битумосодержащий состав». Температурные напряжения в непосредственной близости от стекловолокон действуют против сил адгезии, значительно ослабляя их.

У материала с армирующей основой из синтетических волокон не наблюдается снижения

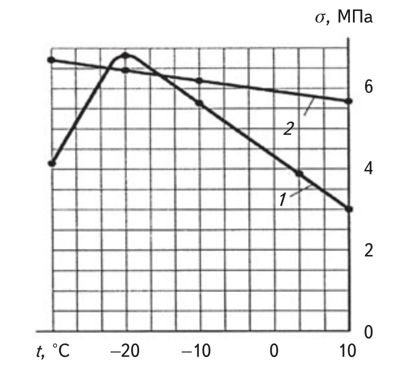
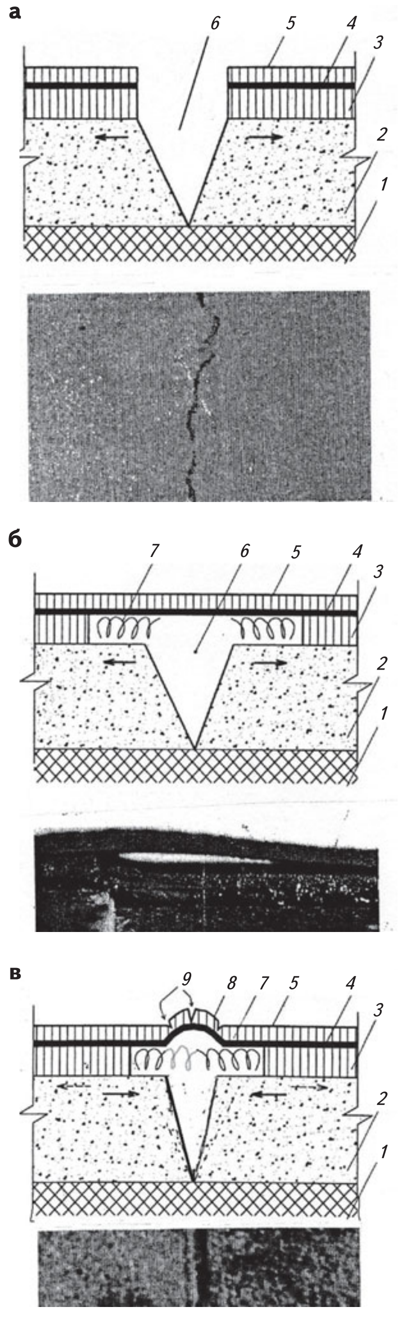


Рис. 2. ***Изменение прочности наплавляемых рулонных материалов с армирующей основой из стеклохолста (1) и синтетических волокон (2)***

прочности при понижении температуры *(см. рис. 2)*, что можно объяснить относительно близкими коэффициентами линейного изменения армирующей основы и битумосодержащего состава, а также более высокой эластичностью синтетических волокон при пониженной температуре.

Растягивающие температурные напряжения в стяжке возникают из-за наличия связи с поверхностью утеплителя (зачастую неровной), деформации которой незначительны, так как при охлаждении температура теплоизоляции быстро затухает по толщине. В момент превышения температурных напряжений в стяжке над ее пределом прочности происходит мгновенный разрыв стяжки *(рис. 3)* с большой скоростью раскрытия трещины. Битумосодержащий материал (приклеивающий состав) в это мгновение ведет себя как стеклообразное тело, неспособное релаксировать напряжение, и разрушается.

После рассмотрения условий работы водоизоляционного ковра при температурных воздействиях необходимо было определить коэффициенты α кровельных материалов и водоизоляционного ковра из них, а также поведение кровельного материала



1 — теплоизоляция; 2 — стяжка; 3 — приклеивающий битумосодержащий слой рулонного материала; 4 — армирующая основа; 5 — покровный битумосодержащий слой материала; 6 — трещина в стяжке и рулонном материале; 7 — разрушение приклеивающего слоя; 8 — складка в ковре; 9 — трещины в покровном слое рулонного материала, возникающие при знакопеременном изгибании складки

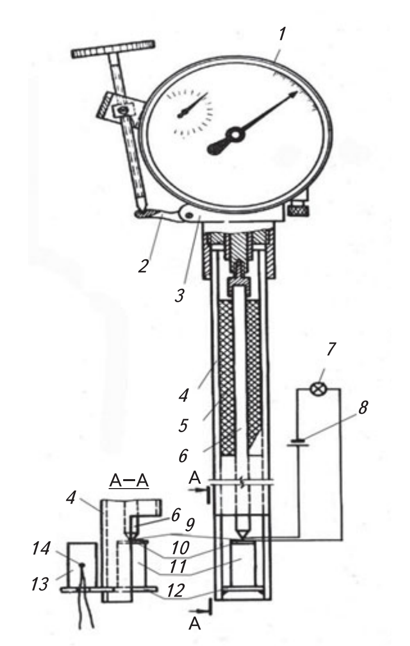
Рис. 3. ***Образование трещин в стяжке с водоизоляционным ковром из рулонных материалов с армирующей основой из картона или стеклохолста (а), из стеклоткани (б) и полимерных волокон (в)***

в конструкции водоизоляционного ковра.

Коэффициенты линейного изменения кровельных материалов, которые в значительной степени влияют на температурные деформации водоизоляционного ковра, мало изучены. Известны работы [6—8], посвященные дилатометрическому методу исследования других строительных и технических материалов. Для этого применялись приборы различной конструкции. Однако, как показали предварительные опыты, эти приборы нельзя использовать для исследования кровельных битумов и мастик. Так, образцы из битумов и мастик длиной 100—200 мм легко деформировались под действием собственного веса. Более короткие образцы (длиной 20 мм, даже из тугоплавкого битума БНК90/40, деформировались при механическом воздействии прибора (пружины индикатора).

В связи с этим в ЦНИИПромзданий был разработан кварцевый дилатометр *(рис. 4)*, которым измеряли изменение длины образца с помощью индикатора, снабженного электрическим контактом, позволяющим исключить механическое воздействие индикатора на образец.

В нем применен индикатор с базой измерения 2 мм и ценой деления 2 мкм. На втулку индикатора надета и приклеена гайка, на которую навинчена втулка с закрепленной к ней кварцевой трубкой. Внутри этой трубки проходит кварцевая палочка, соединенная через держатель с подвижным штоком индикатора; на палочку надета направляющая трубка из жесткого пенопласта, а на ее конец приклеен контакт-стержень из серебряной проволоки. Часть трубки вырезана вдоль оси на длину 50 мм, к трубке приклеено кварцевое кольцо толщиной 2 мм, служащее опорой испытуемых образцов, а также консольная площадка, на которую устанавли-



1 — индикатор; 2 — арретир; 3 — втулка с кварцевой трубкой; 4 — кварцевая трубка; 5 — трубка из жесткого пенопласта; 6 — кварцевая палочка; 7 — электролампа; 8 — сухой элемент; 9 — контакт-стержень; 10 — медный диск; 11 — испытуемые образцы; 12 — кварцевое кольцо; 13 — контрольный образец; 14 — термопара

Рис. 4. ***Дилатометр***

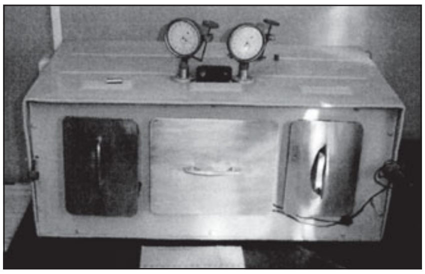


Рис. 5. ***Термостат с дилатометрами***

вали контрольный образец для измерения температуры. На верхнее основание образца наклеен покрытый слоем серебра медный диск толщиной 0,25 мм, к которому припаян медный провод диаметром 0,1 мм.

В цепь между контакт-стержнем и диском включены сухой элемент и электролампочка. Замыкание и размыкание цепи, фиксируемое электролампочкой, выполняют плавным опусканием и подъемом кварцевой палочки, что

1. Коэффициенты линейного изменения (измеренные / расчетные) выше (α_1) и ниже (α_2) температуры стеклования (T_c) кровельных материалов ($t_{разм}$ — температура размягчения)

Материалы (состав, % по массе)	$\alpha_1 \cdot 10^{-6}$, град$^{-1}$	T_c, °C	$\alpha_2 \cdot 10^{-6}$, град$^{-1}$	$t_{разм}$, °C
1. Битумы:				
БНК 90/40	207/—	−30	108/—	94
БНК 45/180	260/—	−30	131/—	44
БН -III	228/—	− 30	117/—	55
2. Битумные сплавы:				
96 % БНК45/180 + 4 % БНК90/40	253/258	−35	137/130	46
88 % БНК45/180 + 12 % БНК90/40	248/254	−35	125/128	50
78 % БНК45/180 + 22 % БНК90/40	245/249	−35	120/126	55
68 % БНК45/180 + 32 % БНК90/40	239/243	−35	123/124	60
48 % БНК45/180 + 52 % БНК90/40	236/233	−35	121/119	70
32 % БНК45/180 + 68 % БНК90/40	230/224	−33	114/115	75
8 % БНК45/180 + 92 % БНК90/40	220/221	−30	111/110	90
3. Горячие битумные мастики:				
МБК-Г-55 (88 % сплава 2.2 + 12 % асбеста)	240/236	−38	119/120	58
МБК-Г-65 (75 % сплава 2.2 + 25 % асбеста)	233/226	−36	118/113	67
МБК-Г-75 (75 % сплава 2.5 + 25 % асбеста)	220/211	−35	117/110	76
МБК-Г-85 (75 % сплава 2.6 +25 % асбеста)	203/204	−32	110/103	87
МБК-Г-100 (75 % сплава 2.7 + 25 % асбеста)	202/196	−32	111/99	104
4. Горячие битумно-резиновые мастики:				
МБР-Г-55 (86 % сплава 2.1 + 8 % асбеста + 6 % резиновой крошки)	247/240	−37	139/135	54
МБР-Г-65 (82 % сплава 2.2 + 10 % асбеста + 8 % резиновой крошки)	239/233	−36	135/124	63
МБР-Г-75 (80 % сплава 2.3 + 10 % асбеста + 10% резиновой крошки)	235/230	−36	135/125	72
МБР-Г-85 (78 % сплава 2.4 + 10 % асбеста + 12% резиновой крошки)	227/223	−33	131/126	87
МБР-Г-100 (76 % сплава 2.5 + 12 % асбеста + 12% резиновой крошки)	220/218	−32	130/123	105
5. Битумные и битумно-латексные эмульсии:				
анионная битумная эмульсия	215/ —	−36	105/—	65
ЭБЛ-Х-75 (92 % БН-III + 8 % латекса СКС-30)	230/230	−45	120/120	72
ЭБЛ-Х-85 (89 % БН-III + 11 % латекса СКС-30)	230/230	−47	120/120	84
ЭБЛ-Х-100 (82 % БН-III + 18 % латекса СКС-30)	230/230	−49	120/120	92
катионная битумная эмульсия	216/—	−38	105/—	70
6. Холодные битумные мастики:				
БК-Х-65 (45 % сплава 2,4 + 46 % кукерсольного лака + 9 % асбеста)	266/—	−34	134/—	61
БЛК-Х-75 (35 % БН IV + 3 % латекса СКС-30 + 6 % асбеста)	237/—	−36	102/—	76
7. Составы приклеивающих слоев наплавляемых рулонных материалов:				
битумно-минеральный	226/—	−42	83/—	70
битумно-полимерный (СБС)	196/—	−50	98/—	100
	202/—	−50	40/—	100
	246/—	−54	50/—	120
	202/—	−54	73/—	120
8. Полимерные пленки:				
кромэл	146,8/—	−44	100/—	—
поликром	129,5/—	−54	72/—	—
ярокром	146,5/—	−58	37,4/—	—
ЭПДМ	294,7/—	−49	101/—	—
резинопласт	167/—	—	—/—	—

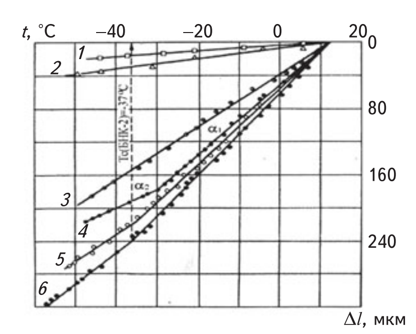


Рис. 6. ***Температурный ход изменения длины образцов***

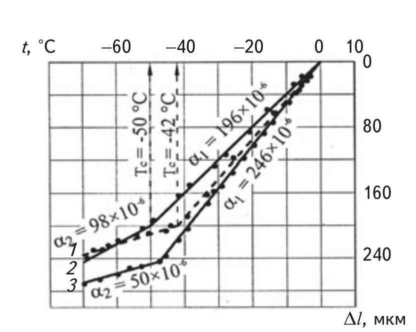


Рис. 7. ***Температурный ход изменения длины образцов составов покровных слоев наплавляемых рулонных материалов***

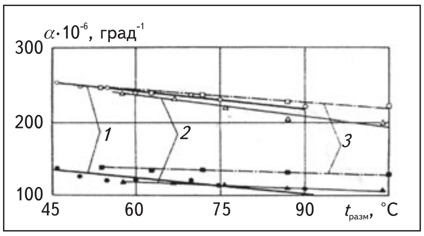


Рис. 8. ***Зависимость коэффициентов линейного изменения (α_1 и α_2) битумных сплавов (1 и 2) и битумных мастик (3) от их температуры размягчения***

достигается вращением винта. Винт примерно посередине удерживается качающейся гайкой, а заостренным концом упирается в выемку арретира. Качающаяся гайка заключена в обойму, приклеенную к корпусу индикатора, и крепится к ней двумя винтами.

Нижнюю часть дилатометра

2. Коэффициенты линейного изменения водоизоляционного ковра

Водоизоляционный ковер	**Коэффициент $\alpha \cdot 10^{-6}$, град$^{-1}$, в интервале температур, °С**	
	от 20 до –15	**от –15 до –50**
1. С тремя слоями стеклохолста и составом из сплава битум БНК45/180 и БНК90/40, имеющего $t_{разм}$, °С:		
46	12,5	108
50	19,6	115
60	32	120
70	46	127
75	47	133
2. С тремя слоями стеклохолста и мастиками:		
МБК-Г-55 ($t_{разм}$ = 58 °С)	25,8	116
МБК-Г-75 ($t_{разм}$ = 76 °С)	47,5	130
МБК-Г-85 ($t_{разм}$ = 87 °С)	49	132
3. С тремя слоями рубероида РМ-350, склеенными сплавом битумов БНК-2 и БНК-5 с $t_{разм}$, °С:		
60	35	112
75	44	130
4. Из битумно-латексной эмульсии с 10 % латекса СКС-30 и рубленым стекложгутом (около 100 г/м^2)	63	105
То же, с 20 % латекса СКС-30	72	120
То же, с 30 % латекса СКС-30	74	125
5. Из двух слоев битумно-полимерного наплавляемого рулонного материала (полимер АПП) с армирующей основой из стекломатериалов	75	165
То же, с армирующей основой из синтетических волокон	86	182

3. Коэффициенты линейного изменения материалов основания под кровлю

Материалы основания под кровлю	**Коэффициент $\alpha \cdot 10^{-6}$, град$^{-1}$, в интервале температур от 20 до –50 °С**
1. Цементно-песчаный раствор	12,8
2. Асфальт	48
3. Асбестоцементный прессованный лист	12,4
4. Цементно-стружечная плита	26,4
5. Пенопласты:	
ПСБ	49,4–57
ПХВ	64
ФРП	30,3
Пенополиуретаны:	
сиспур	95,2
эксагласс	52,5

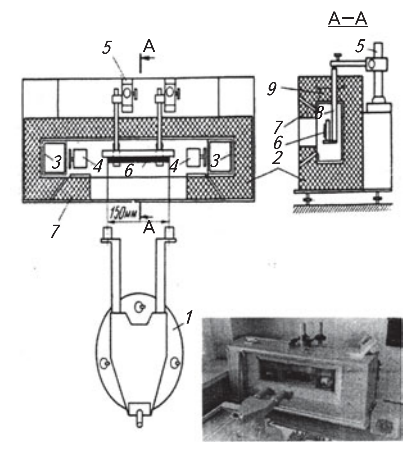
размещали в термостате *(рис. 5)*, в котором отрицательную температуру создавали твердой углекислотой (сухим льдом).

Для испытания неармированных материалов, например битумных мастик, применяли образцы в виде цилиндров диаметром 10 мм и длиной 20 мм, а для определения α водоизоляционного ковра с армирующими материалами проводили испытания на образцах размером (6...8)×10×20 мм. Одновременно с исследуемыми образцами готовили аналогичные по составу и размеру контрольные образцы, в середину которых закладывали термопары. Перед испытанием штангенциркулем измеряли длину исследуемых образцов с точностью 0,05 мм, затем их вместе с контрольными образцами устанавливали в дилатометры. После нулевого отсчета, взятого по индикатору в момент зажигания лампочки при вращении винта, термостат загружали твердой углекислотой.

Дилатометром измеряли изменения длины исследуемого образца в процессе его охлаждения до –50...–60 °С со скоростью 0,1...0,3 °С/мин. Отсчеты по индикатору дилатометра брали через каждые 3–5 °С понижения температуры в контрольных образцах. Образцы из легкоплавких материалов, способные деформироваться при комнатной температуре (например битум БНК- 2) под действием собственного веса, предварительно охлаждали до температуры 5...10 °С, после чего записывали первый отсчет. По полученным данным строили графики *(рис. 6)* зависимости уменьшения длины образца от температуры и определяли коэффициенты линейного изменения по формуле

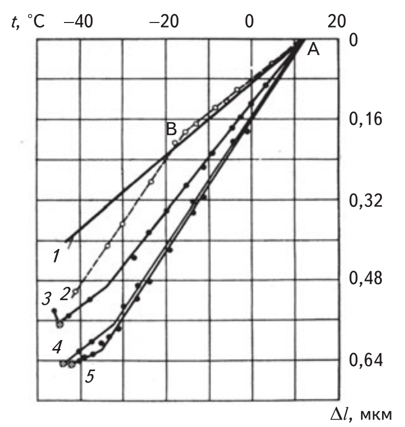
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l\,\Delta t},$$

где Δl – изменение длины образца; l – длина образца; Δt – перепад температуры.



1 – микроскоп МГ-1; 2 – термостат; 3 – металлический сосуд; 4 – вентилятор; 5 – индикаторная стойка; 6 – фрагмент водоизоляционного ковра с основанием под кровлю (стяжкой); 7 – съемная дверца со смотровым окном; 8 – кварцевая трубка с опорной площадкой; 9 – люк для загрузки «сухого» льда

Рис. 9*. Термостат с фрагментом кровли и микроскопом*



1 – стяжка толщиной 30 мм; 2 – три слоя мастики МБК-Г-75, армированных стеклохолстом; 3 – битумный сплав с $t_{разм}$ = 70 °С толщиной 5 мм; 4 – слой битумного сплава с $t_{разм}$ = 70 °С толщиной 6 мм; 5 – слой мастики МБК-Г-75 толщиной 6 мм; кружочек с крестиком – трещины в изоляционных слоях

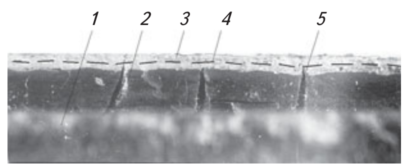
Рис. 10*. Температурные деформации водоизоляционных слоев по асфальтовой стяжке*

Из *рис. 6* видно, что в отличие от рубероида, коэффициент которого при температуре до –50 °С был постоянным (α_p = = 26,4·10^{-6} град$^{-1}$), для битумов, их сплавов и кровельных мастик коэффициент не является постоянной величиной: при температуре –30 °С и ниже его значение уменьшается ($\alpha_2 < \alpha_1$). Температуру, соответствующую точке излома на графике зависимости изменения линейного размера образца от температуры, принято называть *температурой структурного стеклования T_c материала* [9]. При этой температуре материалы стеклуются, т. е. переходят из жидкого состояния в твердое.

Аналогично ведут себя битумно-минеральные и битумно-полимерные (на основе СБС) составы приклеивающих слоев наплавляемых рулонных материалов и полимерные рулонные материалы *(рис. 7)*.

Из *табл. 1*, следует, что температура стеклования у битумных мастик с повышением их температуры размягчения ($t_{разм}$), определяемой по методу «кольцо и шар» (ГОСТ 11506 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару»), изменялась незначительно. Наиболее низкая температура стеклования (от –45 до –49 °С) – у битумно-латексных эмульсий, что объясняется наличием в эмульсии латекса СКС-30, имеющего T_c = –56 °С, при этом величина T_c эмульсии повышалась с увеличением количества латекса (*см. табл. 1*). Однако коэффициенты α_1 и α_2 у эмульсии с увеличением количества латекса не изменялись, так как коэффициент битума БН-III, из которого приготовлена эмульсия, близок к коэффициентам латекса СКС-30 (α_1 = 230·10^{-6} град$^{-1}$ и α_2 = 120·10^{-6} град$^{-1}$).

Коэффициенты α_1 и α_2 битумных сплавов и мастик с увеличением их $t_{разм}$ *(рис. 8)* снижаются прямолинейно. У сплавов и мастик, имеющих примерно одинаковую $t_{разм}$, коэффициенты α_1 и α_2 близки, а введение в тот или иной сплав асбеста или асбеста с резиновой крошкой до 25 %



1 — огрунтованная цементно-песчаная стяжка; 2 — битумно-полимерный слой; 3 — армированный светоотражающий слой; 4 — арматура светоотражающего слоя; 5 — трещины в битумном слое

Рис. 11*. Трещины в битумно-полимерном слое (ниже защитного армированного слоя)*

(по массе) незначительно понижало α_1 и α_2.

Для оценки поведения водоизоляционного ковра при отрицательной температуре определяли его коэффициент линейного изменения, используя приборы, показанные на *рис. 4* и *5*. Результаты испытаний приведены в *табл. 2* и *3*, из которых следует, что коэффициент не является постоянной величиной: при температуре ниже −15 °C он в несколько раз превышает показатель при температуре до −15 °C. Аналогичные показатели имеет и ковер из традиционных рубероидов (РМ-350), склеенных битумным сплавом (позиция 3 в *табл. 2*).

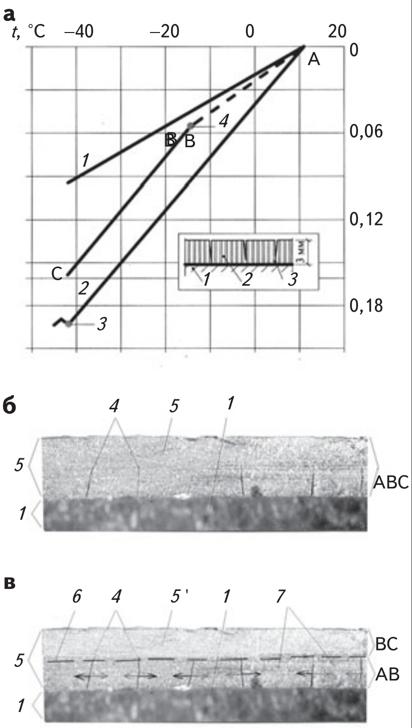
При этом важно было знать поведение водоизоляционного ковра в конструкции кровли, т. е. при наличии связи ковра с основанием под кровлю. Для этого были проведены испытания по определению температурных деформаций водоизоляционного ковра, армированного стекломатериалами. Деформации измеряли на базе 150 мм горизонтальным двухветвевым микроскопом МГ-1 *(рис. 9)* со следующей характеристикой: рабочее расстояние от объектива до образца — 270 мм; фокусировка объектива микроскопа — ±4 мм; точность отсчета — 0,005 мм; расстояние между визирными линиями ветвей прибора — 70—170 мм; диапазон вертикального перемещения микроскопа — 80 мм; увеличение прибора — 20*.

Температурные деформации водоизоляционного ковра при температуре до −15 °C *(рис. 10)* примерно в 2 раза меньше, чем при температуре после 15 °C, причем график вторых деформаций (график ВС), как правило, параллелен графику *5* температурных деформаций неармированного ковра.

Следует отметить некоторые попытки улучшить эксплуатационные свойства водоизоляционного ковра путем повышения его трещиностойкости и расположением армирующего слоя на основе стекломатериалов вблизи поверхности рулонного материала, считая эту часть наиболее подверженной воздействию температурных перепадов, приводящих к появлению трещин на поверхности материала. К таким материалам можно отнести материал, показанный на *рис. 11*, в котором приклеивающий неармированный битумно-полимерный слой имеет толщину около 3 мм, а защитный слой выполнен армированным стеклохолстом и стеклосеткой с ячейками 0,5×0,5 мм и со светоотражающим составом.

Температурные деформации этого слоя были незначительными (около 0,003 мм при перепаде температуры $\Delta t = 10$ °C) из-за небольшой толщины поверхностного слоя образца и наличия в этом слое армирующего рулонного материала.

На *рис. 12* видно, что деформации водоизоляционного ковра (график АВС) на начальном этапе (при температуре до −15... −20 °C) сдерживались армирующей прокладкой *6*, затем в битумном (среднем) слое АВ появились трещины *4*, так как средний слой оказался «зажатым» между имеющими в 20—30 раз меньшие температурные деформации ($\alpha \cdot 10^{-6}$, град$^{-1}$) стяжкой *1* и армирующей прокладкой из стекловолокна *6*.



1 — огрунтованная цементно-песчаная стяжка; 2 — неармированный слой битумного сплава с $t_{разм}$ = 70 °C толщиной 3 мм; 3 — появление трещины в неармированном слое; 4 — трещины в битумном слое под арматурой из стекложгутов (участок АВ графика и нижний битумный слой на фото и схеме); 5 — битумный слой, армированный стекложгутами; 5' — верхний битумный слой без трещин (участок ВС на графике и схеме); 6 — арматура из стекложгутов, переплетенных базальтовыми нитями; 7 — нижний битумный слой с трещинами (участок АВ)

Рис. 12. ***График (а), фото (б) и схема (в) температурных деформаций неармированного изоляционного слоя до появления в нем трещин и армированного слоя с трещинами в нем***

Коэффициент линейного изменения кровельных слоев равен: для битумных слоев (*см. табл. 1*) α_1 = (196·10^{-6}... 236·10^{-6}) град$^{-1}$ и α_2 = (99...120) град$^{-1}$, для цементно-песчаного раствора $\alpha = 12{,}8 \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$, асфальта $\alpha = 48 \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$, асбестоцементный прессованный лист $\alpha = 12{,}4 \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$.

Выводы

1. Результаты исследований условий работы водоизоляционного ковра при низкой температуре (до −50 °С) показали, что в армированных битумных (мастичных и рулонных) слоях могут появляться трещины, располагаемые, как правило, между основанием под кровлю (стяжкой из цементно-песчаного раствора, литого асфальта или асбоцементных листов) и армирующей прокладкой.

2. Для уменьшения трещинообразования в водоизоляционном ковре целесообразно в зимний период сохранять на кровле снежный покров толщиной 200—300 мм (на кровлях с небольшими уклонами), способствующий снижению теплопотерь через покрытие здания и повышению температуры на поверхности кровли (снижению температурных деформаций ковра).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Поваляев М. И., Воронин А. М.* Совместная работа кровельного ковра и стяжки при низких температурах // Промышленное строительство. 1968. № 10. С. 24–28.
2. *Поваляев М. И.* Анализ эксплуатационных воздействий на кровли // Тр. ЦНИИПромзданий. 1973. Вып. 25. С. 5–11.
3. *Никифоров И. А., Носиков С. К., Самохина Г. М.* Опыт применения армированной кровли // Промышленное строительство. 1965. № 9. С. 11–13.
4. *Воронин А. М., Иванов В. В.* Влияние дефектов в покровных слоях наплавляемого рулонного материала на его эксплуатационные свойства // Строительные материалы. 1984. № 5. С. 26–28.
5. *Вигли Д. А.* Механические свойства материалов при низких температурах. М. : Мир, 1974. 376 с.
6. *Горчаков Г. И., Лифанов И. И., Терехин Л. Н.* Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов. М., 1968. 167 с.
7. *Ли П. З., Луковенко Т.М., Якубович Э.И.* [и др.]. Исследование коэффициента линейного расширения стеклопластиков // Пластические массы. 1962. № 11. С. 36–40.
8. *Королева А. Н., Шевченко Е. Б.* Дилатометрические измерения / Центр. правление науч.-техн. об-ва приборостроит. пром-сть. М., 1965. 38 с.
9. *Бартенев Г. М.* Механическое и структурное стеклование // Стеклообразное состояние. М.-Л. : Изд. АН СССР, 1960. 166 с.

REFERENCES

1. Povalyaev M. I., Voronin A. M. Collaboration of roofing carpet and screed at low temperatures. *Promyshlennoe stroitel'stvo*,1968, no. 10, pp. 24–28. (In Russ.).
2. Povalyaev M. I. Analysis of operational impacts on roofs. *Trydy CNIIPromzdaniy*, 1973, vol. 25, pp. 5–11. (In Russ.).
3. Nikiforov I. A., Nosikov S. K., Samohina G. M. Experience in the use of reinforced roofing. *Promyshlennoe stroitel'stvo*,1965, no. 9, pp. 11–13. (In Russ.).
4. Voronin A. M., Ivanov V. V. Influence of defects in the cover layers of the deposited rolled material on its operational properties. *Stroitel'nye materialy*, 1984, no. 5, pp. 26–28. (In Russ.).
5. Vigli D. A. *Mekhanicheskie svojstva materialov pri nizkih temperaturah* [Mechanical properties of materials at low temperatures]. Moscow, Mir Publ., 1974. 376 p. (In Russ.).
6. Gorchakov G. I., Lifanov I. I., Terekhin L. N. *Koefficienty temperaturnogo rasshireniya i temperaturnye deformacii stroitel'nyh materialov* [Thermal expansion coefficients and thermal deformations of building materials]. Moscow, 1968. 167 p. (In Russ.).
7. Li P. Z., Lukovenko T. M., Yakubovich E.I. et al. Study of the coefficient of linear expansion of fiberglass. *Plasticheskie massy*, 1962, no. 11, pp. 36–40. (In Russ.).
8. Koroleva A. N., Shevchenko E. B. *Dilatometric measurements.* Centr. pravlenie nauch.-tekhn. ob-va priborostroit. prom. [Central Board of the Scientific and Technical Society of the Instrument-Making Industry]. Moscow, 1965. 38 p. (In Russ.).
9. Bartenyov G. M. Mechanical and structural glass transition. *Stekloobraznoe sostoyanie*. Moscow–Leningrad, AN SSSR Publ., 1960. 166 p. (In Russ.).