

# ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКИХ КРОВЕЛЬ

Для оценки долговечности того или иного компонента кровельной системы используются различные методы ускоренных испытаний, которые проводятся в лабораториях.

Часто для этих испытаний выбираются такие температурно-влажностные режимы, которые можно назвать скорее экстремальными, далекими от реальных. Поэтому выводы, которые делаются по результатам испытаний, могут быть некорректными. Важно, чтобы по результатам испытаний на ускоренное старение не отбраковывались те материалы, которые в реальных условиях хорошо себя зарекомендовали. Иными словами, режимы для испытаний не должны быть жестче, чем условия, в которых находятся материалы в реальной жизни. Поэтому нужно знать эти реальные условия, прежде всего температуру кровельной поверхности. К сожалению, в отечественной специальной литературе приводится не так много примеров натурных испытаний, целью которых был бы мониторинг температуры поверхности кровли. Цель настоящей статьи — привести факторы, которые определяют температуру кровельной поверхности, а также на основе отечественного и зарубежного опыта дать представление о реальных максимальных температурах на кровлях.

Энергия солнечного излучения включает в себя 5% ультрафиолетового (УФ) излучения, 45% — видимого света и 50% инфракрасного (ИК) излучения. Часть солнечной энергии, достигающей кровли, отражается, некоторая часть также возвращается в атмосферу в виде тепловой эмиссии. Часть энергии поглощается кровлей и, превращаясь в тепло, передается конвекционным путем воздуху непосредственно над кровельной поверхностью. Остальное тепло передается в здание.

Отражающая способность кровельной мембраны играет ключевую роль в определении суточных температур кровли. В ясный летний день температура черного кровельного покрытия может легко превысить 70° С, в то время как на кровле, покрытой белой гладкой мембраной, находящейся в идентичных условиях, она может не достигать 40° С. Кровли с лучшей отражающей способностью и, как следствие, с более низкими максимальными суточными температурами имеют больший срок эксплуатации. Очень высокие температуры поверхности кровельной мембраны ускоряют ее разру-

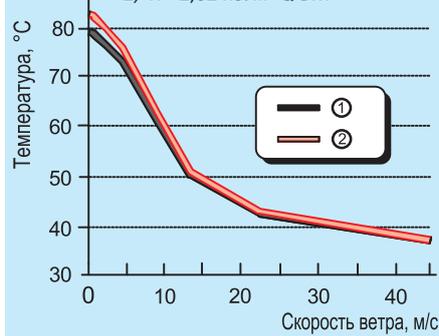


шение, поэтому таких режимов эксплуатации следует избегать.

Сегодня с помощью компьютера можно довольно точно вычислить температуры на поверхности кровли в случае, если известны характеристики кровельной конструкции и погодные (климатические) условия. Ниже будут рассмотрены факторы, которые в наибольшей степени влияют на поверхностную температуру кровли, а именно:

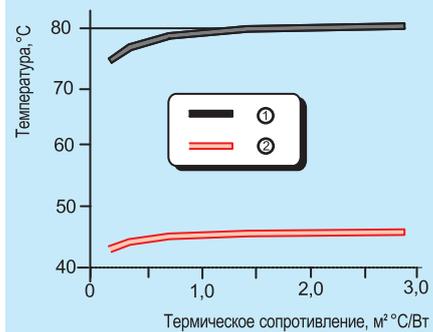
- цвет и текстура кровельной поверхности;
- интенсивность солнечного излучения;
- погодные условия (облака, осадки, ветер);
- кровельная теплоизоляция;
- тепловая эмиссия кровельной поверхности;
- масса кровельного покрытия.

Рис. 1. Влияние скорости ветра на максимальную температуру «черной» кровли для различных термических сопротивлений покрытий: 1)  $R = 0,35$  кв. м °С/Вт; 2)  $R = 2,82$  кв. м °С/Вт



Известно, что мембрана темного цвета поглощает больше солнечной энергии, чем светлая. Например, гладкая (без минеральной посыпки) битумная мембрана или черная ЭПДМ-мембрана поглощают до 94% солнечной энергии [1]. Следствием такого активного поглощения является интенсивный нагрев мембраны и ее деградация (разрушение). Белая ЭПДМ-мембрана поглощает только 20–30% солнечной энергии — это лучший показатель среди кровельных мембран. Часть солнечной энергии отражается от поверхности кровли обратно в атмосферу. Отражающая способность определяется как часть солнечного потока, отраженного поверхностью, выраженная либо в процентах, либо в диапазоне от 0 до 1. Согласно положениям программы Energy Star, разработанной Министерством охраны окружающей среды США, отражающая способ-

Рис. 2. Зависимость температуры кровельной поверхности от уровня теплоизоляции для поверхностей с различными коэффициентами отражения: 1) 0,1; 2) 0,7



ность вновь смонтированных плоских кровель должна составлять не менее 0,65 и не более 0,50 спустя три года эксплуатации. Этим требованиям Energy Star удовлетворяют только белые или светло-серые кровли [2]. Такие кровли получили название «прохладные» кровли (cool roof). Сообщается, что максимальные температуры кровельных мембран с очень высокой отражающей способностью выше температуры окружающего воздуха всего на 8–8,5 °С [2]. Кровли с низкой отражающей способностью могут нагреваться до температур, которые на 33–39 °С выше температур «прохладных» кровель. Чтобы защитить гладкую (без посыпки или балласта) битумную мембрану от ускоренной высокотемпературной деградации, следует выбирать легкие, периодически обновляемые кровельные покрытия с высокой отражающей способностью. Для защиты от деградации битумной мембраны с посыпкой следует выбирать для минеральной посыпки светлые тона. Кровельные полимерные термопластичные мембраны имеют, как правило, светлую окраску. Поэтому температура на их поверхности не бывает выше температуры окружающего воздуха более чем на 5–15 °С.

Солнце — основной источник энергии для кровли, которая способна нагреваться выше температуры окружающего воздуха. Количество принимаемого солнечного света меняется в зависимости от времени года, географического расположения (географической широты) объекта и местных погодных особенностей. В общем случае кровли, расположенные ближе к экватору или в горной местности, получают больше солнца, а поэтому сильнее нагреваются при прочих равных условиях. Однако высокая облачность или/и высокая влажность так же влияют на хорошее поглощение солнечной радиации и могут намного снизить количество принимаемого солнечного света.

В жаркий летний день солнце может нагреть черную кровлю до температуры 70 °С и даже 80 °С, причем температура окружающего воздуха будет находиться в диапазоне 25–35 °С. Поскольку масса кровель не очень велика и не может хранить большое количество тепла, такие природные явления, как быстрый ливень, прохладный ветер или даже большая туча, могут привести к снижению температуры кровли и температуры в помещении. Выполнить точное вычисление влияния этих воздействий на конкретную кровлю очень сложно, поскольку такие явления не регулярны и нет постоянных параметров для расчета.

На рис. 1 приведен график, приблизительно иллюстрирующий влияние скорости ветра на температуру поверхности кровли [3]. Максимальная температура кровли с покрытием из черной битумной мембраны в течение одной недели жаркого лета может быть меньше на 3–6 °С, если скорость



ветра возрастает от 0 до 15 км/ч, и на 13–16 °С ниже при скорости ветра 30 км/ч.

Для светлых мембран с высокой отражающей способностью разность между температурой на поверхности мембраны и температурой окружающего воздуха будет небольшой. Поэтому и величина быстрых изменений температуры, вызванных погодными условиями, будет гораздо менее резкой для белой кровли, чем для черной.

При прочих равных условиях кровля с более эффективной теплоизоляцией будет отдавать меньшее количество тепла в интерьер, чем кровля с меньшей теплоизоляцией, поэтому она будет нагреваться сильнее. Температура на кровле зависит от толщины (эффективности) теплоизоляции, однако эта зависимость носит ограниченный характер (рис. 2) [3].

Даже небольшое количество теплоизоляции, уложенной под кровельной мембраной, уже окажет действие: температура на кровле несколько поднимется. Однако дальнейшее увеличение толщины теплоизоляции не будет заметно влиять на температуру. Это можно объяснить тем, что на температуру на кровле влияет суммарный теплообмен: с одной стороны — между поверхностью кровли и внутренним пространством, с другой стороны — между поверхностью кровли и внешней средой. Если некоторое количество теплоизоляции уложено, теплообмен с интерьером (кондиционированным пространством) ограничен, и температура на поверхности кровли будет определяться, главным образом, внешними факторами, такими, как солнечная энергия, ветер, дождь и температура окружающего воздуха.

Разумеется, это не означает, что на кровле можно обойтись минимумом теплоизоляции: по-прежнему количество теплоизоляции на кровле сильно влияет на энергосбережение здания (и на счета за отопление/кондиционирование). Например, удвоение

толщины теплоизоляции приведет к повышению пиковых дневных температур всего на несколько градусов. Однако теплопотери через кровлю действительно снизятся почти вдвое.

Цвет кровли имеет гораздо большее влияние на температуру кровли, чем толщина теплоизоляции.

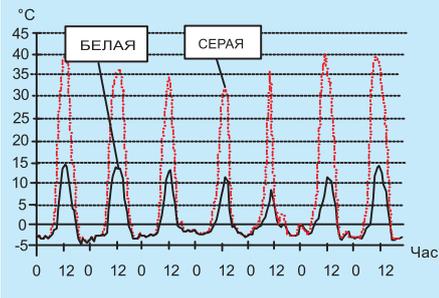
Разность расчетных температур на черной и серой поверхности кровли составляет около 8,5 °С, между белой и черной — 15 °С, в то время как разность поверхностных температур между кровлями с утеплением 25 мм и 125 мм составляет всего около 2 °С. Черная кровельная мембрана над теплоизоляцией толщиной 25 мм нагреется на 11 °С сильнее, чем белая мембрана поверх теплоизоляции толщиной 125 мм, и на 5,5 °С сильнее, чем серая мембрана поверх теплоизоляции толщиной 125 мм [4]. Таким образом, объем теплоизоляции влияет незначительно на процесс деградации битумной мембраны по сравнению с влиянием черного цвета кровли на этот процесс.

Коэффициент тепловой эмиссии (излучающая способность в инфракрасном диапазоне излучения) — безразмерный параметр, находящийся в диапазоне от 0 до 1, который характеризует способность объекта «избавляться» от части своего тепла посредством инфракрасного (ИК) излучения. Длина волны такого излучения находится в диапазоне от 5 до 40 мкм. Чем выше коэффициент тепловой эмиссии, тем ниже максимальная температура на поверхности кровли.

Несмотря на то, что отражающая способность различных кровельных материалов может отличаться значительно, тем не менее, большинство этих материалов имеют примерно одинаковые показатели тепловой эмиссии, близкие к 0,9.

Поверхность кровли излучает тепловую энергию в атмосферу и на соседние строения. В дневное время эти «потери» с лихвой

Рис. 3. Разность между температурой кровельной поверхности и температурой окружающего воздуха для белой и серой мембраны



компенсируются энергией солнца, поэтому кровельная поверхность может нагреться до температур, значительно превышающих температуру окружающего воздуха. Можно сказать, что такой фактор, как тепловая эмиссия кровельной поверхности, малоэффективен днем в теплое время года.

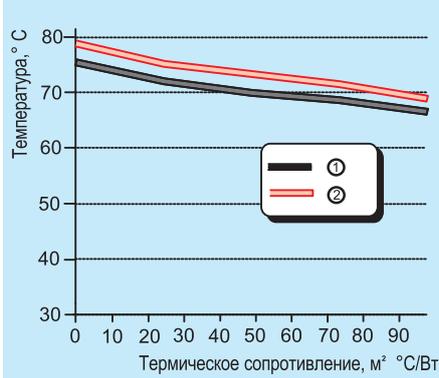
Ночью, в отсутствие солнечного излучения, значение тепловой эмиссии возрастает: температура кровельной поверхности может опуститься ниже температуры окружающего воздуха. Часто при ясной сухой погоде ночью температура на поверхности хорошо утепленной кровли опускается на  $10^{\circ}\text{C}$  ниже температуры воздуха. Причем эффект ночного охлаждения поверхности кровли одинаков как для темных, так и для светлых мембран (рис. 3) [3].

Если к кровельной поверхности добавить некоторую массу в виде, например, тротуарной плитки или гравийного балласта, кровля приобретет дополнительную тепловую инерцию. Воздействие дополнительной массы на температуру кровли будет проявляться в сглаживании суточных температурных колебаний. Как следствие, это приведет к снижению пиковых дневных температур по сравнению с кровлей без дополнительной массы.

На рис. 4 приведена зависимость температуры кровли от ее поверхностной массы. Из рисунка видно, что максимальная температура поверхности кровли снижается с увеличением поверхностной массы, причем влияние поверхностной массы имеет существенно большее влияние на температуру кровли, чем уровень теплоизоляции.

Отражающая способность кровли изменяется со временем, и, как следствие, меняется температура кровельной поверхности при прочих равных условиях. Как показывает опыт, черная битумная поверхность становится более отражающей, в то время как светлая кровля — менее отражающей (рис. 5). Эти изменения могут быть как полезными для состояния кровли и энергопотреблением здания, так и вредными. Вероятно, эти изменения связаны с поверхностным загрязнением, химическими реакциями, протекающими в

Рис. 4. Влияние поверхностной массы кровли на максимальные температуры для различных уровней теплоизоляции: 1)  $R = 0,35 \text{ кв. м}^{\circ}\text{C/Вт}$ ; 2)  $R = 2,82 \text{ кв. м}^{\circ}\text{C/Вт}$



кровельных материалах, и прочими факторами.

В 70-е гг. в Советском Союзе проводились исследования температурных режимов, в которых находятся пенополистирольные плиты в покрытиях промышленных зданий [5]. В лабораторных условиях (в климатической камере) исследовались фрагменты кровельных покрытий, а также в натуральных условиях Узбекской ССР определялись температурные режимы в слоях кровельных покрытий. Для сравнения отражающей способности тогда испытывались, в частности, следующие кровельные материалы:

- три слоя рубероида марки РМ-350 (с черной поверхностью) (рис. 6);
- четыре слоя рубероида марки РМ-350 с защитным слоем из мелкого известняково-щебня (рис. 7).

Оба типа кровель выполнялись по пенополистирольным плитам.

Для определения максимальных значе-

Рис. 6. Распределение температур в опытном образце покрытия

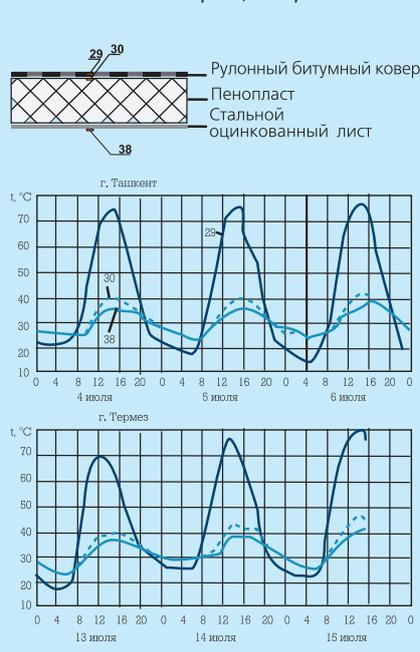
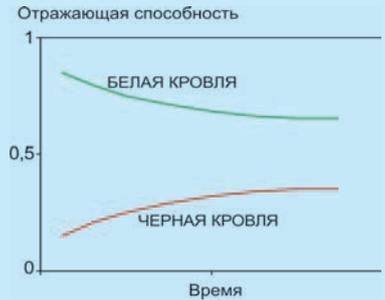


Рис. 5. Влияние погодных факторов на отражающую способность кровельной поверхности



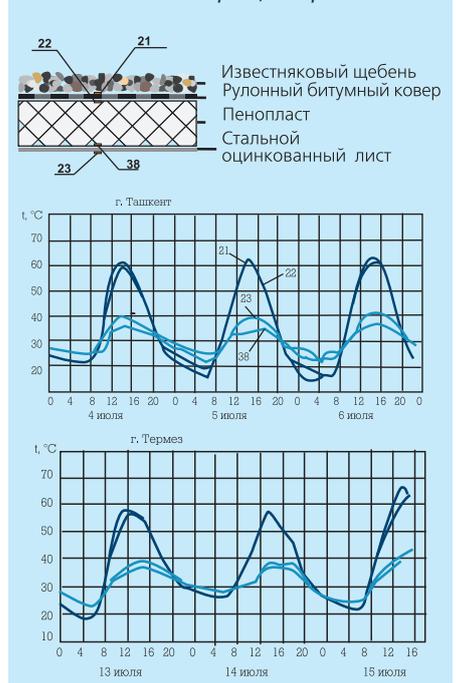
ний температур поверхности пенополистирольных плит под гидроизоляционным ковром были взяты результаты исследований в Ташкенте и Термезе в течение трех дней в июле 1969 г. Максимальная температура наружного воздуха в Ташкенте в этот период находилась в диапазоне  $34,7 - 37^{\circ}\text{C}$ , в Термезе  $37 - 40^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура воздуха составляла в Ташкенте  $28,35 - 30,3^{\circ}\text{C}$ , а в Термезе  $30,1 - 32,75^{\circ}\text{C}$ .

У фрагментов покрытий № 1 по основанию из оцинкованного листа температура на поверхности теплоизоляции находилась в пределах  $56 - 59^{\circ}\text{C}$  (в Ташкенте) и  $65 - 68,2^{\circ}\text{C}$  (в Термезе).

Толщина теплоизоляции, как показано ранее, и в этих исследованиях не играла значительной роли. Разница температур на поверхности пенополистирола во фрагментах, имеющих толщину теплоизоляции 30 мм и 80 мм, составляла всего  $2 - 3^{\circ}\text{C}$ .

Испытания битумной кровли в Канаде (г. Оттава) проводились с середины зимы до середины лета 1976 г. [6]. Конструкция

Рис. 7. Распределение температур в опытном образце покрытия



кровли состояла из бетонного основания, пароизоляции, плит экструдированного пенополистирола, битумной кровельной мембраны и балласта из гравия. Авторы исследования отмечают, что в летнее время максимальная температура поверхности кровли превышала температуру окружающего воздуха в безоблачный день на 12–17 °С. Абсолютный максимум температуры поверхности мембраны составил 68 °С.

Цель другого долгосрочного исследования — изучить влияние озеленения поверхности кровли на теплотехнические характеристики кровельной конструкции [7]. Экспериментальный участок плоской поверхности кровли площадью около 72 кв. м был разделен на две равные части, разделенные перегородкой. На одной половине поверхности синтетической мембраны была смонтирована экстенсивная «зеленая» кровля. Вторая часть использовалась в качестве эталона и представляла собой классическую кровлю с битумно-полимерной изоляцией, покрытой светло-серыми гранулами. Исследования проводилось в течение 660 дней в период с ноября 2000 г. по сентябрь 2002 г. в Оттаве. Результаты показали значительно более высокие температуры кровельной поверхности на эталонной кровле по сравнению с «зеленой» кровлей. В дневное время эти температуры достигали 70 °С и 25 °С, соответственно.

В табл. 1 приводится сравнение количества дней в период исследования, в течение которых температура мембраны превышала определенное значение. Из таблицы видно, например, что температура эталонной мембраны находилась в диапазоне от 50 °С до 60 °С в течение 219 дней, а превышала 70 °С в течение всего двух дней.



Рис. 8 иллюстрирует суточные флуктуации температуры (разность между максимальной и минимальной температурой) поверхности мембраны на эталонной и «зеленой» кровле, а также температуру окружающего воздуха. Можно видеть, что «зеленая» кровля значительно смягчает флуктуации температуры в весенне-летний период по сравнению с эталонной кровлей. Средние значения флуктуаций в летнее время составляют около 45 °С для эталонной кровли и всего 6 °С для «зеленой» кровли.

Следует отметить, что оба испытания в Канаде [6, 7] проводились на географической широте, приблизительно соответствующей Краснодару. Температура окружающего воздуха превышала 30 °С в течение 63 дней (т. е. 10% дней) в период испытаний.

В заключение можно сделать следующие выводы. Температура кровли определяется, главным образом, отражающей способностью кровельной поверхности: чем более светлым является верхний слой, тем меньше нагревается кровля. Отражающая способ-

ность светлой кровли снижается со временем, а черной — наоборот, повышается. Зависимость температуры кровли от толщины (эффективности) теплоизоляции незначительна. Влияние погодных факторов (ветер, облачность, дожди) кратковременно, хотя может быть существенным. В жаркую безветренную погоду в южных регионах максимальная температура на поверхности черной битумной мембраны может кратковременно превышать 70 °С. В то же время светло-серая синтетическая мембрана, гравийный балласт или битумная мембрана со светлой посыпкой не нагреваются выше 60 °С.

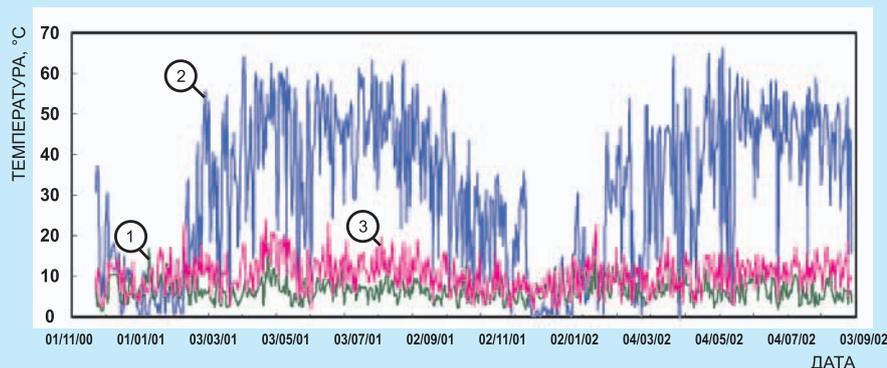
Озеленение кровли значительно снижает температурную нагрузку на кровельную мембрану, уменьшая суточные флуктуации температуры.

**А. М. ВОРОНИН**, руководитель отдела кровельной изоляции ЦНИИПромзданий,  
**Ю. Н. ОРЛОВ**, начальник технического отдела Primaplex

Табл. 1

Температура мембраны более чем (°С)	Эталонная кровля		Зеленая кровля	
	Кол-во дней	дней (%)	Кол-во дней	дней (%)
30	342	51,8	18	2,7
40	291	44,1	0	0
50	219	33,2	0	0
60	89	13,6	0	0
70	2	0,3	0	0

Рис. 8. Суточные флуктуации температуры кровельной мембраны для озелененной (1) и классической (2) кровли по отношению к температуре окружающего воздуха (3)



#### Литература.

1. J. S. Parker et al. (2000). Laboratory Testing of the Reflectance Properties of Roofing Material. FSEC-CR-670-00. Florida Solar Energy Center, Cocoa, FL
2. D. L. Roodvoets, W. A. Miller, A. O. Desjarlais (2004). Long Term Reflective Performance of Roof Membranes.
3. E. I. Griggs, T. R. Sharp, J. M. MacDonald (1989). Guide for Estimating Differences in Building Heating and Cooling Energy Due to Changes in Solar Reflectance of Low-Sloped Roof. ORNL-6527. Oak Ridge National Laboratory.
4. C. W. Griffin. Plug the Energy Leaks in Your Roof, Journal of Building Physics, 1978; 1; 206.
5. «Температурный режим теплоизоляции из пенополистирольных плит в покрытиях промышленных зданий», ЦНИИПромзданий, Труды института, вып. 25, 1973.
6. H. O. Laaly. Temperature of bituminous roofing membrane and its relation to ambient conditions. Symposium on Roofing Technology, Gaithersburg, 21–23 September, 1977.
7. K. Liu, B. Baskaran (2003). Thermal Performance of Extensive Green Roofs through Field Evaluation, NRCC-46412.