

УДК62-59.002.68:691.16

**ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ
НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КРОВЕЛЬНЫХ
БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В.П. Ярцев, М.В. Долженкова

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: битумные материалы; долговечность кровли; кровля; физические константы; эксплуатационные факторы.

Аннотация: Исследовано влияние нагрузки и температуры на долговечность мягких кровельных материалов. С позиций кинетической концепции прочности выявлены закономерности их разрушения и получены величины физических констант для всех битумных композиций. Предложена экспресс-методика прогноза долговечности мягких кровельных материалов с учетом реальных условий эксплуатации.

Основными эксплуатационными параметрами определяющими долговечность любого конструкционного материала являются нагрузка и температура. Кроме того, в течение всего срока эксплуатации большинство строительных материалов, включая и кровельные, подвергаются воздействию неблагоприятных факторов внешней среды (агрессивные жидкости, УФ-облучение), что значительно снижает их долговечность.

Согласно кинетической концепции разрушения твердых тел долговечность – время свершения критического события – τ (образования трещин или разделения тела на части) связано с напряжением σ и температурой T уравнением [1]

$$\tau = Ae^{-\beta\sigma} = \tau_m \exp\left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m}\right)\right], \quad (1)$$

где A , β , τ_m , U_0 , γ и T_m – константы материала, имеющие определенный физический смысл; A – константа статической долговечности; β – структурная константа; τ_m – минимальная долговечность; время равное периоду колебания кинетических единиц (атомов, групп атомов, сегментов); U_0 – максимальная энергия активации процесса разрушения; γ – структурно-механическая константа; T_m – температура полюса, предельная температура существования твердого тела; R – универсальная газовая постоянная.

Исследования долговечности мягких кровельных материалов проводили для рубероида, рубемаста, стекломаста, битумной черепицы, ондулина, линокрома, унифлекса, бикроста, биполя, техноэласта. Образцы в виде «восьмерок» и прямоугольных пластин вырубали из листов специальным ножом. Длительные испытания проводили на многопозиционных стендах при вариации заданных постоянных нагрузок и температур при одноосном растяжении и срезе [2]. Эти виды нагружения наиболее близки к эксплуатационным. Температуру испытаний создавали накладной термокамерой и поддерживали постоянной терморегулятором с точностью ± 1 °С. В результате испытаний автоматически фиксировали время до разрушения образцов с помощью электронного моста [2].

Экспериментальные данные при срезе для всех исследованных кровельных материалов обрабатывали в координатах $\lg t - \sigma$ (рис. 1). Из рисунка видно, что временные зависимости прочности в полулогарифмических координатах при комнатной температуре для биполя, бикроста и ондулина имеют линейный характер, а для линокрома, унифлекса и техноэласта – нелинейный. Нелинейность указывает на нестабильность структуры кровельных материалов под нагрузкой. В биполе, бикросте и ондулине наполнитель ожестчивает битум. При срезе эти материалы деформируются незначительно. В линокроме, унифлексе и техноэласте битум сохраняет пластичность, что вызывает при срезе значительные линейные и угловые деформации, приводящие к увеличению микроплотности с увеличением напряжения и плавному изменению структурной константы β . Зависимость β от σ при постоянной температуре можно описать уравнением

$$\beta = K\sigma^{-n}, \quad (2)$$

где K и n – эмпирические коэффициенты.

В логарифмических координатах $\lg t - \lg \sigma$ нелинейные зависимости линеаризуются, что позволяет найти константу статической долговечности для любого из исследованных кровельных материалов.

При вариации температуры зависимости образуют семейства прямых или кривых в координатах $\lg t - \sigma$ (рис. 2). Веерообразные прямые могут сходиться

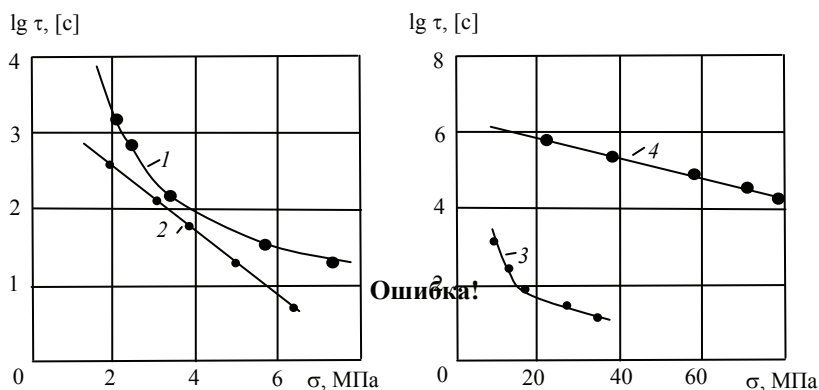


Рис. 1 Зависимость долговечности времени до разрушения при срезе от напряжения для линокрома (1), биполя (2), техноэласта (3) и ондулина (4) (температура испытания +18 °С)

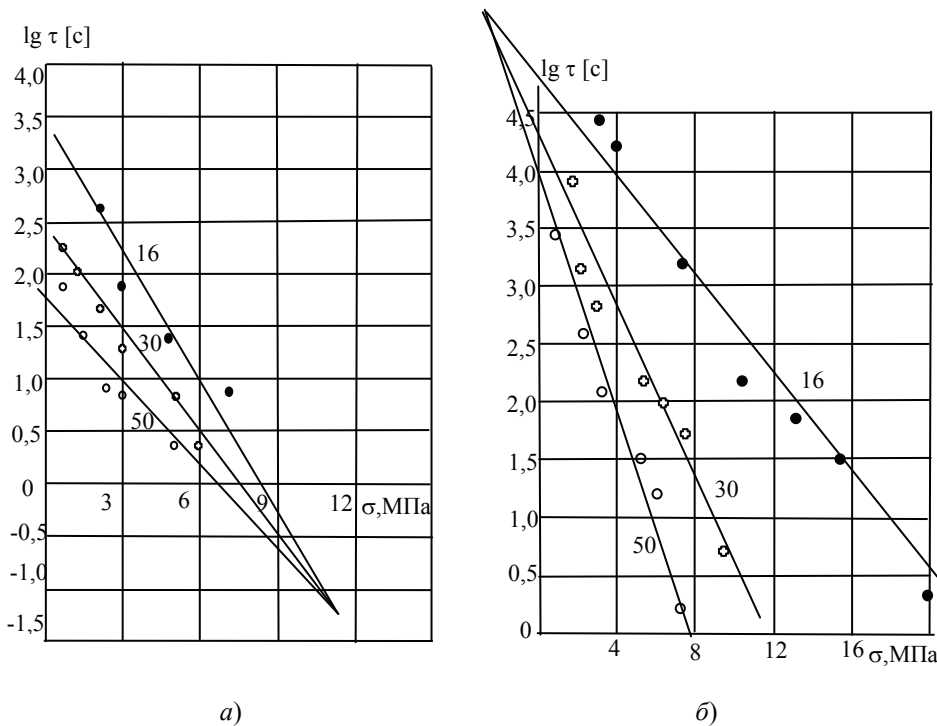


Рис. 2 Зависимость долговечности при одноосном растяжении от напряжения и температуры (цифры у прямых, °С) для рубероида РКК-420А (а) и стекломата (б)

в пучок при очень малых временах (прямой пучок) или очень больших (обратный пучок). Прямой пучок описывается уравнением (1), а обратный уравнением [3]

$$\tau = \tau_m^* \exp \left[\frac{U_0^* - \gamma^* \sigma \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right)}{RT} \right], \quad (3)$$

где τ_m^* , U_0^* , γ^* и T_m^* – константы не имеющие физического смысла.

Для описания криволинейных зависимостей $\lg \tau - \sigma$ Г.М. Бартевым предложено уравнение

$$\tau = B \sigma^{-m} e^{U/RT}, \quad (4)$$

где U – эффективная энергия активации; B и m – константы не имеющие физического смысла.

Значения констант, входящих в уравнения (1) и (3) можно определить графоаналитическим способом [2] из экспериментальных зависимостей, представленных на рис. 2. Их величины для кровельных материалов с разной основой и вяжущим приведены в табл. 1.

Из табл. видно, что для рубероида разных марок величины констант U_0 и τ_m близки. Существенно различаются T_m – предельная температура существования твердого тела и γ – структурно-механическая константа. Для битумных композитов T_m связана с температурой размягчения битума (перехода его в жидкое состояние). У кровельного рубероида с крупнозернистой посыпкой (РКК-420А)

Таблица 1

**Физические и эмпирические константы битумных композитов
при одноосном растяжении**

Материал	Константы			
	U_0, U_0^* , кДж/моль	γ, γ^* , (кДж/моль·МПа)	τ_m, τ_m^* , с	T_m, T_m^* , К
Рубероид РПП-300Б	96	20	10^{-1}	343
Рубероид РКК-420А	90	14	$10^{-1,2}$	400
Рубемаст	145	5,9	$10^{-0,15}$	385
Стекломаст	30	-8	$10^{5,3}$	238
Черепица битумная	35	-12	$10^{5,3}$	263

температура размягчения T_m на 37 °С выше, а γ на 1/3 ниже, чем у подкладочного рубероида с пылевидной посыпкой (РПП-300А). Это, очевидно, связано с действием наполнителя [3] в покровном слое. У рубемаста U_0 увеличивается в 1,5 раза, γ – уменьшается 2–3 раза, τ_m повышается на порядок и T_m близка к кровельному рубероиду. В комплексе такое поведение констант определяет существенный рост долговечности рубемаста по сравнению с рубероидом за счет химического и физического взаимодействия битума с полимерной добавкой.

Для стекломаста и битумной черепицы характер зависимости меняется, что, по-видимому, связано со стекловолокнутой основой. Рассчитанные для них константы не имеют физического смысла. Однако для битумной черепицы γ^* меньше, а T_m^* больше, чем у стекломаста. Это также определяет более высокую долговечность битумной черепицы и указывает на некую физическую основу эмпирических констант.

Таким образом, влияние нагрузки и температуры на долговечность битумных кровельных материалов в первом приближении можно оценить по уравнениям (1), (3), (4).

Однако следует иметь в виду, что в процессе эксплуатации нагрузка и температура не постоянны. Они колеблются суточно и сезонно, а нагрузка еще и в периоды техобслуживания и ремонта кровли. Переменность нагрузок и температур можно учесть с помощью принципа Бейли [4] и тогда уравнения примут вид

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau[T(t), \sigma(t)]} = \int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau[T_3, \sigma_3]} = 1, \quad (5)$$

где t_p – время потери несущей способности по первой группе предельных состояний, T_3 и σ_3 – постоянные температура и напряжение эквивалентные суммарному действию переменных температур и напряжений в рассматриваемый период эксплуатации.

Суточные и сезонные колебания температур учитываются поправками, определенными экспериментально. Для этого в режиме заданных постоянных напряжений длительные испытания проводятся на открытом воздухе. Одновременно учитываются колебания влажности и действие УФ-облучения.

Периоды испытания принимаются равными часу, суткам, неделе, месяцу, кварталу и году (рис. 3). Из рисунка видно, что в полученных в течение года зави-

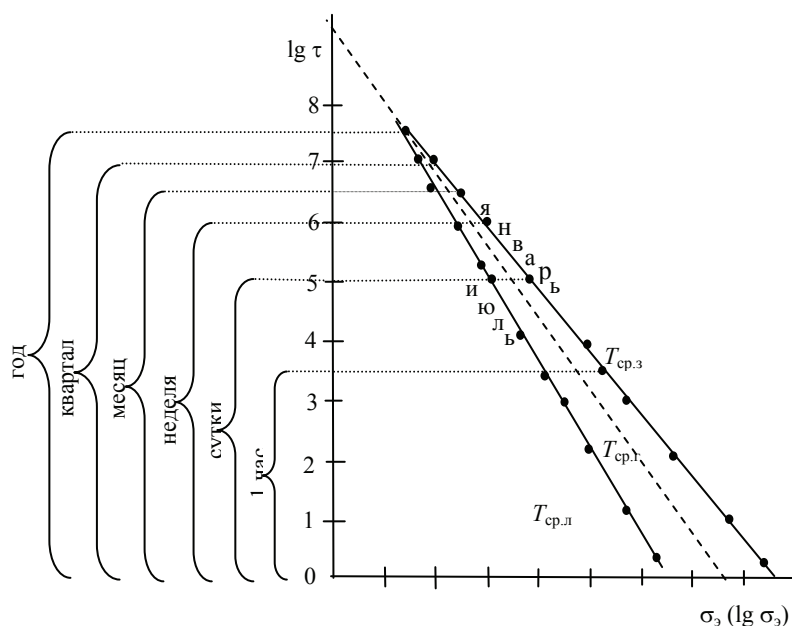


Рис. 3 Схема определения потенциального срока службы битумных кровель:
 $T_{ср.л}$ – среднемесячная температура июля; $T_{ср.з}$ – среднемесячная температура января;
 $T_{ср.г}$ – среднегодовая температура

симостях $2/3$ составляют суточные экспериментальные результаты. Это позволяет с большой достоверностью при прогнозе долговечности ограничиться экспресс-испытаниями в течение 1 суток в самом холодном и теплом месяцах года. Для переноса полученных результатов в другие климатические районы используем уравнения (1), (3) и (4), в которые подставляем σ_3 и среднюю годовую температуру $T_{ср}$.

Действие на битумные кровли большинства жидких агрессивных сред несущественно [5] и им при прогнозе долговечности можно пренебречь.

Список литературы

1. Ратнер С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / Ратнер С.Б., Ярцев В.П. – М.: Химия, 1992. 320 с.
2. Ярцев В.П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений. / Ярцев В.П. Учеб. пособие. Тамбов: 2001. 149 с.
3. Ярцев В.П. Физико-технические основы работоспособности органических материалов в деталях и конструкциях. / Ярцев В.П. Дисс. ... д-ра техн. наук. Воронеж: 1998. 350 с.
4. Bailey R.W. The utilization of creep data in engineering design / Bailey R.W. // The Institution of Mechanical Engineering Proceeding. 1935. V. 131
5. Гурова Е.В. Влияние агрессивных сред на прочностные характеристики композиций на основе битума / Гурова Е.В., Грушо-Новицкая А.О., Ярцев В.П. // Труды ТГТУ: Сб. научн. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Вып. 14. С. 36–38.

The Influence of Maintenance Factors on the Life Cycle of Roof Bitum Materials

V.P. Yartsev, M.V. Dolzhenkova

Department "Construction of Buildings and Structures", TSTU

Key words and phrases: bitum; life cycle; roof; kinetic concept; physical constants; maintenance factors.

Abstract: The influence of load and temperature on the life cycle of soft roof materials is studied. From the point of kinetic concept of durability the regularities of their destruction are found out and values of physical constants for all types of bitum compositions are obtained. The express-method of forecasting life cycle of soft roof materials with the account of factual operating conditions is proposed.

Einfluß der Betriebsfaktoren auf die Lebensdauer der Dachbitumenstoffe

Zusammenfassung: Es ist der Einfluß der Belastung und der Temperatur auf die Lebensdauer der weichen Dachmaterialien untersucht. Von den Positionen der kinetischen Haltbarkeitskonzeption sind die Gesetzmäßigkeiten ihrer Zerstörung gezeigt und es sind die Größen der physischen Konstanten für alle Bitumenkompositionen erhalten. Es ist die Expres-Methodik der Prognose der Lebensdauer der weichen Dachmaterialien unter Berücksichtigung der realen Ausnutzungsbedingungen vorgeschlagen.

Influence des facteurs d'exploitation sur la longévité des matériaux bitumineux de couverture

Résumé: Est étudiée l'influence de la charge et de la température sur la longévité des matériaux bitumineux de couverture souples. A partir de la conception cinétique de la solidité sont montrées les régularités de leur destruction et sont reçues les valeurs des constantes physiques pour tous les composants bitumineux. Est proposée l'express-méthode de la prévision de la longévité des matériaux souples de couverture compte tenue des conditions réelles de l'exploitation.
