

УДК 625.7/.8:625.083.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОДРОМНЫХ БИТУМНО-
ПОЛИМЕРНЫХ ГЕРМЕТИКОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

Канд. техн. наук **А.В. Бураков**
(Военный учебно-научный центр

Военно-воздушных сил

«Военно-воздушная академия

имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина»)

Конт. информация: schetchik777@mail.ru

Актуальной проблемой в области аэродромного обеспечения полетов государственной авиации является разработка перспективных технических решений и технологий, обеспечивающих долговечность деформационных швов жестких аэродромных покрытий, которая во многом определяется физико-механическими характеристиками применяемых для их герметизации битумно-полимерных герметиков (БПГ).

В статье представлены результаты механических испытаний образцов БПГ, обработанных постоянным магнитным полем различной напряженности. Предложен математический аппарат, который с достаточной точностью позволяет прогнозировать механическое поведение БПГ в деформационных швах жестких аэродромных покрытий. Дано сравнение реологических характеристик БПГ 35 с эксплуатационными на основе результатов определения температуры хрупкости про Фраасу БПГ 35, модифицированного в магнитном поле различной напряженности.

Ключевые слова: жесткое аэродромное покрытие, деформационный шов, битумно-полимерный герметик (БПГ), реологические характеристики, ползучесть, релаксация напряжений.

Анализ эксплуатации жестких покрытий аэродромов государственной авиации показал, что температурно-влажностные напряжения совместно с напряжениями от динамических нагрузок, создаваемые пневматиками авиационных судов, приводят к повреждению деформа-

ционных швов жестких аэродромных покрытий. Разгерметизация швов жестких аэродромных покрытий значительно снижает срок их эксплуатации [1-4]. Высокая интенсивность полетов усиливает отрицательный эффект вышеуказанных факторов и ускоряет процесс разрушения герметизирующего материала в деформационных швах покрытий. Разрушение, применяемых для герметизации битумно-полимерных композитов (аэродромных битумно-полимерных герметиков – БПГ), приводит к попаданию естественной влаги в основание конструкции, тем самым снижая её технические характеристики. Следствием этого является возникновение и развитие трещин, а также нарушение ровности покрытия. Появление сквозных трещин создает условия для проникания воды в жесткое основание, что снижает несущую способность аэродромного покрытия.

Таким образом, техническое состояние деформационных швов, как конструкционного элемента жестких аэродромных покрытий, напрямую зависит от физико-механических характеристик применяемых для герметизации швов битумно-полимерных герметиков.

Использование материалов на основе битумов, модифицированных полимерами, относится к одной из наиболее стремительно развивающейся технологий аэродромного и дорожного строительства [5-8].

Такие полимерные герметизирующие материалы должны обладать следующими свойствами: прочностью при повышенной температуре, т.е. теплостойкостью; эластичностью при отрицательных значениях температуры, т.е. морозостойкостью; сопротивлением сжатию, удару, разрыву под воздействием движущихся авиационных судов, при этом обеспечивая хорошее сцепление с сухой и влажной поверхностью минеральных материалов и сохраняя в течение длительного времени первоначальную вязкость и прочность [9-11].

Однако герметики, применяемые в настоящее время для герметизации деформационных швов и санации трещин жестких аэродромных покрытий, имеющие невысокую стоимость, такие, как БПГ, в свою очередь обладают невысокими механическими показателями. К таким показателям, стандартизированным ГОСТ 30740-2000 «*Материалы герметизирующие для швов аэродромных покрытий. Общие технические условия*» можно отнести адгезию, теплостойкость, температуру хрупкости и растяжимость. По своей сути, представленные в ГОСТ 30740-2000 методики для определения эксплуатационных характеристик аэродромных БПГ касаются простых испытаний, косвенно характеризующих механические свойства данных материалов и не дающих представления о внутренней структуре аэродромных БПГ, обладающих сложной реоло-

гией. Кроме того, отсутствие математического аппарата для моделирования деформативности данных материалов с учетом фундаментальных законов реологии для сложных насыщенных полимерных систем исключает возможность проведения дальнейших научно-технических разработок относительно прикладных задач, направленных на повышение качества герметизации деформационных швов жестких покрытий аэродромов государственной авиации.

Таким образом, для разработки перспективных технических решений и технологий, обеспечивающих долговечность деформационных швов жестких аэродромных покрытий необходимы новые научные подходы в исследовании механики насыщенных битумно-полимерных композитов.

На современном этапе исследования по активации магнитным полем полимера в жидкотекучем состоянии или при его отверждении [12] позволили получить следующее:

- экспериментальные результаты воздействия электромагнитного поля на исследуемый аэродромный битумно-полимерный композит, а также выбор рациональных режимов обработки герметизирующего материала в постоянном магнитном поле;
- математический аппарат прогнозирования деформативности данных полимерных материалов, позволяющий выявить увеличение физико-механических характеристик исследуемых материалов, модифицированных магнитным полем и в последующем разработать математическую модель прогнозирования деформативности реологически-нестабильных насыщенных битумно-полимерных композитов.

Рассмотренными в статье исследованиями предполагалось дополнительное воздействие на аэродромный битумно-полимерный герметик постоянным магнитным полем. Кроме того, были проведены испытания исследуемого аэродромного герметизирующего материала на ползучесть и релаксацию и было предложено математическое описание данных процессов, с учетом реологических особенностей механического поведения герметика под нагрузкой.

Испытания проводились в «Центре коллективного пользования имени профессора Ю.М. Борисова» Воронежского государственного технического университета. Испытания аэродромного герметизирующего материала на ползучесть и релаксацию проводились путем приложения к испытываемым образцам герметика постоянных сжимающих нагрузок и измерений деформаций ползучести и напряжений релаксации при

заданных температуре материала, напряженности магнитного поля и времени обработки (рис. 1).

В качестве опытного образца герметика, постоянно используемого на аэродромах государственной авиации при производстве ремонтно-строительных работ, был выбран битумно-полимерный герметик БПГ 35* Индекс звездочка (*) при аббревиатуре БПГ 35* означает важное свойство насыщенных битумно-полимерных композитов находиться в «упруго-вязком» или для этих материалов – в «высокоэластичном состоянии» в достаточно широком температурном диапазоне их эксплуатации в камере деформационных швов жестких аэродромных покрытий.

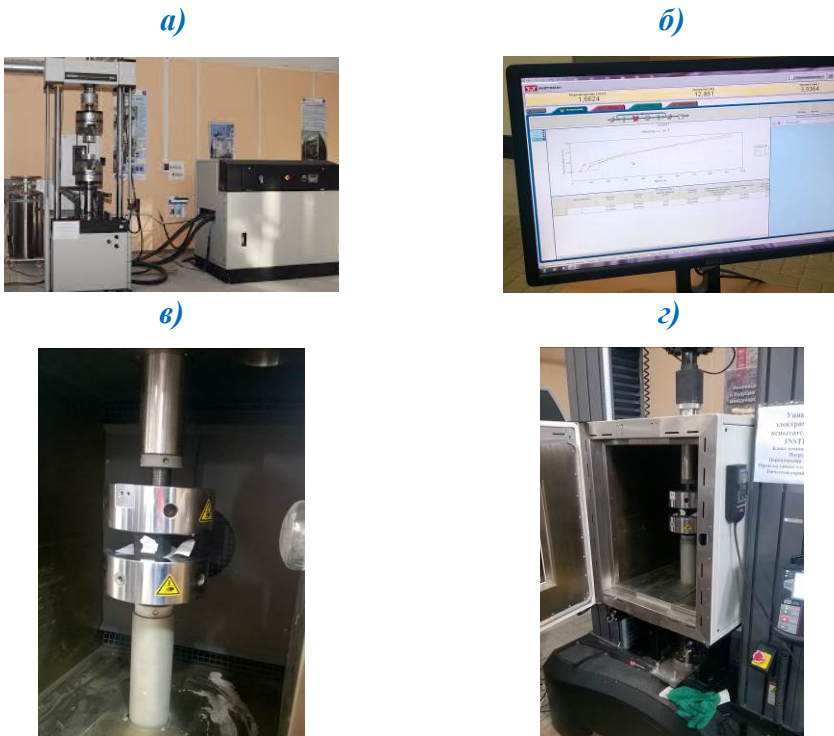


Рис. 1. Универсальная электромеханическая испытательная система «INSTRON 5982»:

- а) общий вид установки; б) измерительный узел;
в) система нагружения; г) температурная камера

Согласно ГОСТ 30740-2000 «Материалы герметизирующие для швов аэродромных покрытий. Общие технические условия» и ГОСТ 33143-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод температуры хрупкости по Фраасу», этот температурный диапазон определяется температурой хрупкости по Фраасу (BPFr) или определением температуры гибкости БПГ и температурой размягчения. Интервал температур между температурой хрупкости (которая обычно имеет значение от минус 17°C и ниже) и температурой размягчения (которая обычно имеет значение от плюс 3°C и выше) называется рабочим диапазоном вяжущего или температурным интервалом эксплуатации материала в камере шва покрытия. Именно в этих условиях герметизирующий материал находится в высокоэластичном или рабочем упруго-вязком состояниях. Упруго-вязкое состояние характеризуется тем, что при малых сдвиговых нагрузках материал ведет себя как твердое тело, при превышении некоторого предела текучести материал проявляет себя как жидкость. Далее индекс звездочка (*) при аббревиатуре БПГ 35* использоваться не будет.

Для испытаний были подготовлены образцы битумно-полимерного герметика в форме призмы размером 40×40 мм (рис. 2).



Рис. 2. Образцы испытуемого аэродромного битумно-полимерного герметика (БПГ 35*)

В рамках реализации поставленной научной задачи разработана экспериментальная электромагнитная установка для обработки образцов битумно-полимерных композитов в постоянном магнитном поле.

Основными элементами установки являются (рис. 3):

- наборный прямоугольный сердечник сечением 26 см² (марка стали 3424 ГОСТ 21427.4-78) – элемент № 1;
- катушки индуктивности, изготовленные из провода ПЭТВ-2 диаметром 1 мм по 550 витков каждая – элемент № 2;
- лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) со следующими характеристиками: диапазон напряжений 0-250 В, максимальная сила тока 9 А – элемент № 3;
- амперметр на 10 А – элемент № 4;
- медная емкость для испытуемого образца аэродромного герметика – элемент № 5;
- устройство для нагревания образца аэродромного герметика горячим воздухом в диапазоне температур от + 20°C до + 200°C – элемент № 6;
- выпрямительный мост на 10 А и сглаживающий конденсатор – элемент № 7;
- теплоизоляция сердечника, изготовленная из стекловолокна и тефлона – элемент № 8.

Напряженность магнитного поля экспериментальной установки регулируется величиной подаваемого тока.

Кроме того, работа установки была исследована на однородность магнитного поля датчиком Холла.

Установка позволяет создавать магнитное поле со средней индукцией магнитного поля до 430 мТл или 34×10^4 А/м при максимальной силе тока 10 А. Условие однородности магнитного поля между полюсами установки выполняется.

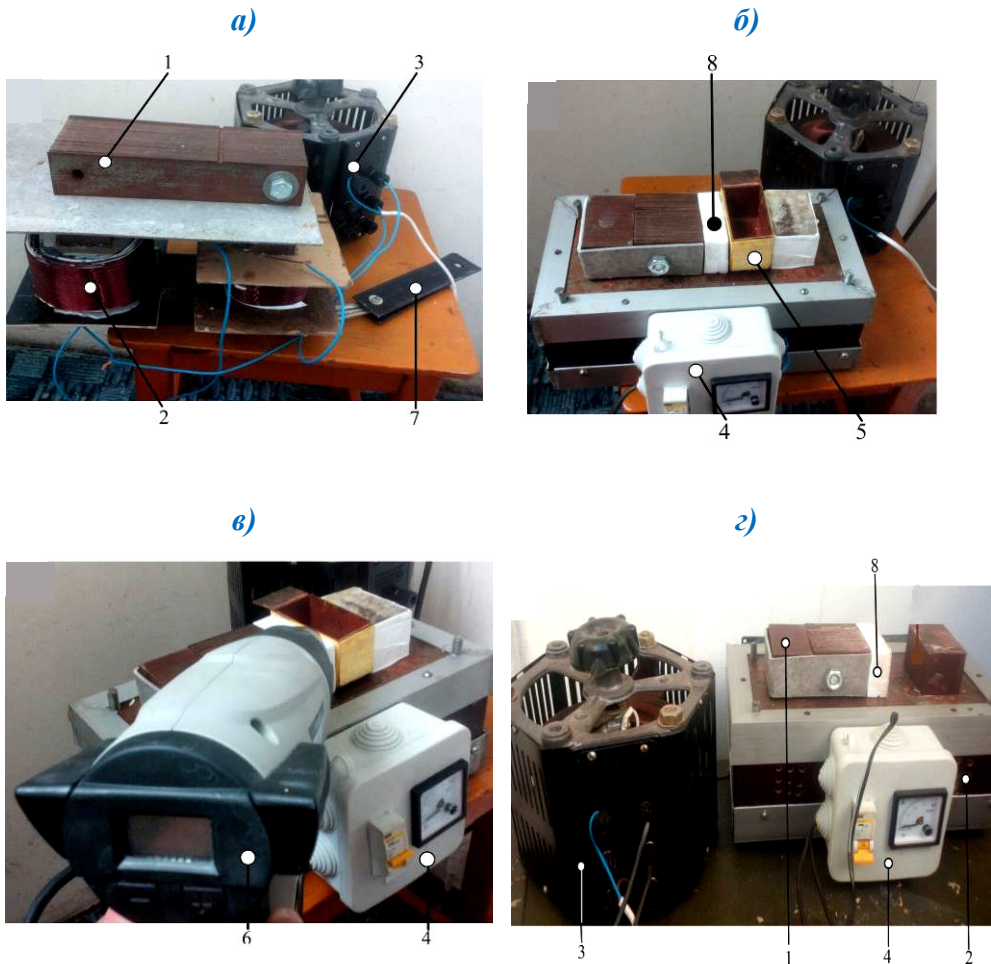


Рис. 3. Экспериментальная электромагнитная установка для обработки образцов битумно-полимерных композитов в постоянном магнитном поле:

а), б), в) вид установки по элементам; г) общий вид установки;
 1 – наборный прямоугольный сердечник; 2 – катушки индуктивности;
 3 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 4 – амперметр;
 5 – медная емкость для испытуемого образца аэродромного герметика (рабочая ячейка); 6 – устройство для нагревания образца аэродромного герметика горячим воздухом в диапазоне температур от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+200^{\circ}\text{C}$; 7 – выпрямительный мост на 10 А и сглаживающий конденсатор; 8 – теплоизоляция сердечника, изготовленная из стекловолокна и тефлона

Результаты численных расчетов тарировки электромагнитной установки по модифицированию битумно-полимерных герметиков в постоянном магнитном поле представлены на **рис. 4**.

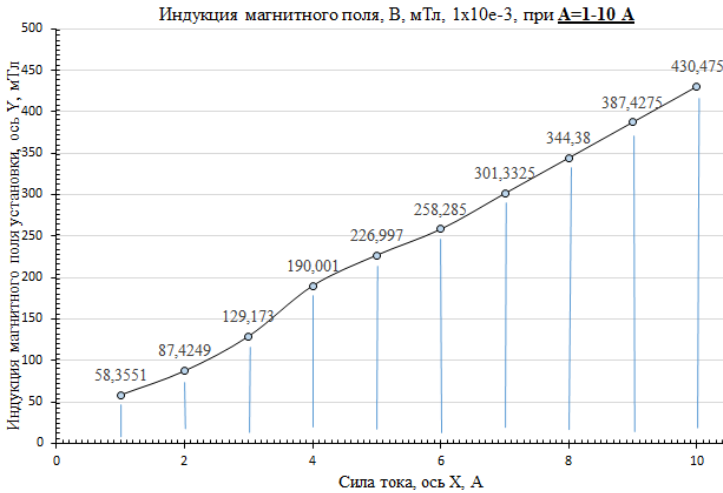


Рис. 4. Тарировочный график для экспериментальной электромагнитной установки

Механические испытания на ползучесть и релаксацию БПГ 35, модифицированного магнитным полем различной напряженности, проводились по следующей методике:

- обработка подготовленных образцов БПГ в постоянном магнитном поле на экспериментальной электромагнитной установке при напряженности магнитного поля до 34×10^4 А/м с шагом в $8,5 \times 10^4$ А/м (предварительно материал был разогрет до рабочей температуры: 170°C);
- максимальное время обработки образцов – 10 мин, с шагом в 2,5 мин.

Используемая испытательная система включала:

- систему нагружения;
- измерительный узел;
- температурную камеру.

При помощи нагружающего механизма обеспечивалось быстрое приложение нагрузки с погрешностью, не превышающей 1 % от заданной статической нагрузки; при максимальной величине рабочей нагрузки нагружающего механизма обеспечивалось статическое напряжение в образце не менее 0,7 долей от предела кратковременной прочности при отрицательном температурном пороге эксплуатации испытуемого материала.

Система нагружения включала демпферные устройства для предотвращения возникновения колебаний в нагружающем механизме и образце за счет внешних источников.

Постоянный и заданный температурно-влажностный режим испытаний обеспечивался при помощи температурной камеры.

Измерительный узел испытательной системы включал датчики деформаций и напряжений, а также цифровой канал их автоматической регистрации.

Что касается физико-механических свойств БПГ 35, то изучали упруго-вязкие деформации материала, обусловленные его температурной, магнитной нестабильностью, а также нестабильностью при напряженном состоянии. При определении физико-механических характеристик БПГ 35, таких как ползучесть и релаксация при помощи электро-механической испытательной системы «INSTRON 5982» (рис. 1), соблюдалось условие быстрого приложения нагрузки на исследуемые образцы герметика. Это условие необходимо для определения такой физико-механической характеристики БПГ, как мгновенный модуль упругости, измерение которого возможно при условии мгновенного приложения нагрузки прессом к образцам БПГ 35 и мгновенным его измерением, что составляет 10^{-3} секунды – скорость распространения упругих волн в упруго-вязких средах. Данное условие обеспечивалось благодаря применению датчиков установки «INSTRON 5982». Результаты измерений мгновенного модуля упругости модифицированного БПГ представлены на рис. 5, 6.

Мгновенный модуль упругости БПГ 35 измерялся на установке «INSTRON 5982» в начальный период его деформирования, а именно – 10^{-3} секунды, далее в материале развиваются упруго-вязкие деформации, а не пластические, как принято считать некоторыми исследователями. Пластические деформации характерны для сред, где когезионные связи во внутренней структуре обусловлены силами трения, например, грунты (характеризующиеся своим гранулометрическим составом).

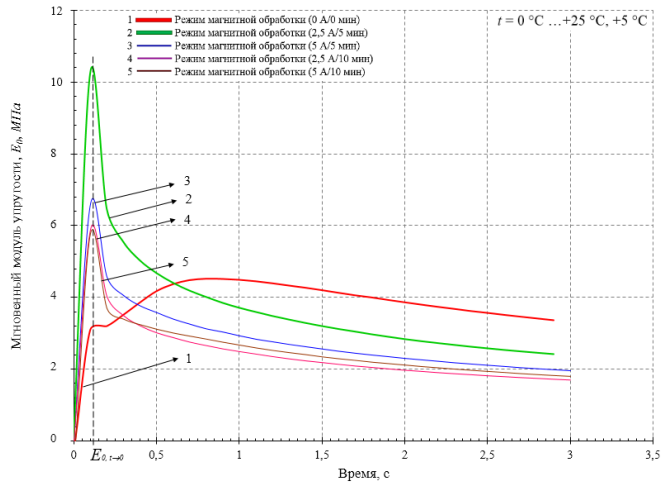


Рис. 5. Экспериментальные значения мгновенного модуля упругости для заданных режимов магнитной обработки исследуемого БПГ 35 при температуре $t =$ плюс 25°C

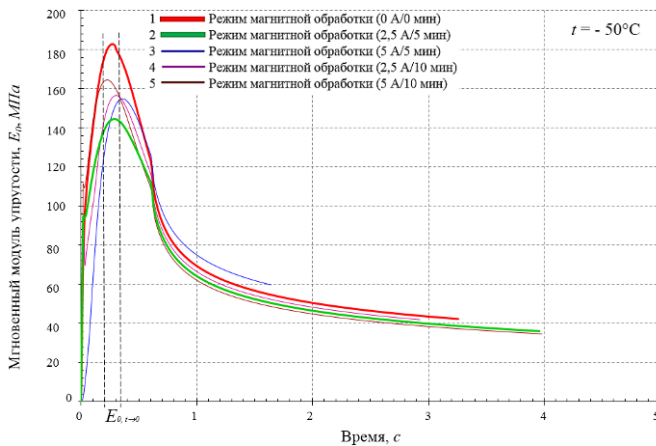


Рис. 6. Экспериментальные значения мгновенного модуля упругости для заданных режимов магнитной обработки исследуемого БПГ 35 при температуре $t =$ минус 50°C

БПГ – это насыщенный битумно-полимерный композит (гомогенная многокомпонентная коллоидная система), внутренняя структура которого представляет сшитый гомогенный каркас объемных высокомолекулярных эластомеров (стирол-бутадиен-стирол (СБС), стирол-бутадиен полибутадиен и др.). В результате получается, что битум «диспергирован» в непрерывной полимерной фазе, а асфальтены и смолы «захвачены» сетью полимера СБС. Внутренние силы трения в данной коллоидной системе отсутствуют. Следовательно, деформациями пластичности пренебрегаем (рис. 7).

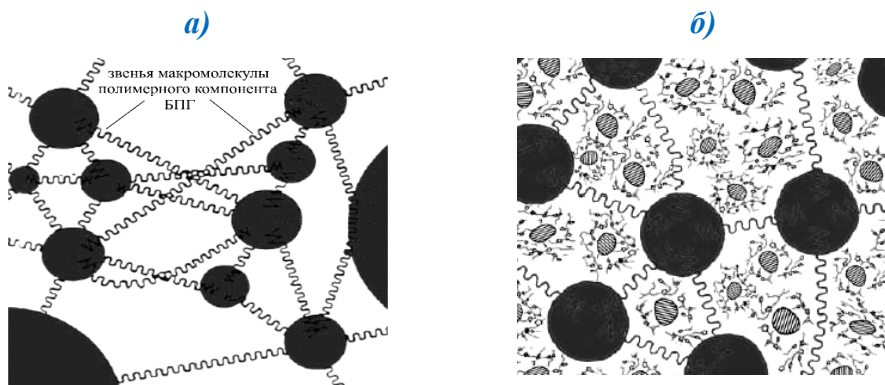


Рис. 7. Трехмерная сеть полимера СБС:
а) структура полимера СБС;
б) структура битума, модифицированного СБС

При воздействии на БПГ 35 постоянным магнитным полем происходит надмолекулярное ориентирование полимерного каркаса и преднатяжение аморфных прослоек в некоторых звеньях макромолекул СБС полимера. Это приводит к увеличению высокоэластичности БПГ, а именно увеличение на 45 % значений мгновенного модуля упругости при плюс 25°C и магнитной обработке образца герметика при режиме: 129 мТл (при силе тока 5 А) и времени обработки 5 мин (рис. 5). Соответственно при $t =$ минус 50°C (режим обработки 129 мТл) происходит уменьшение значений мгновенного модуля упругости на 40 % (рис. 6). Посредством обработки БПГ 35 в магнитном поле получена особая высокоэластичная форма надмолекулярной структуры полимерного компонента герметика.

Результаты натурных испытаний на ползучесть образцов БПГ 35, модифицированного магнитным полем различной напряженности при заданной температуре и времени обработки, представлены на **рис. 8-11**.

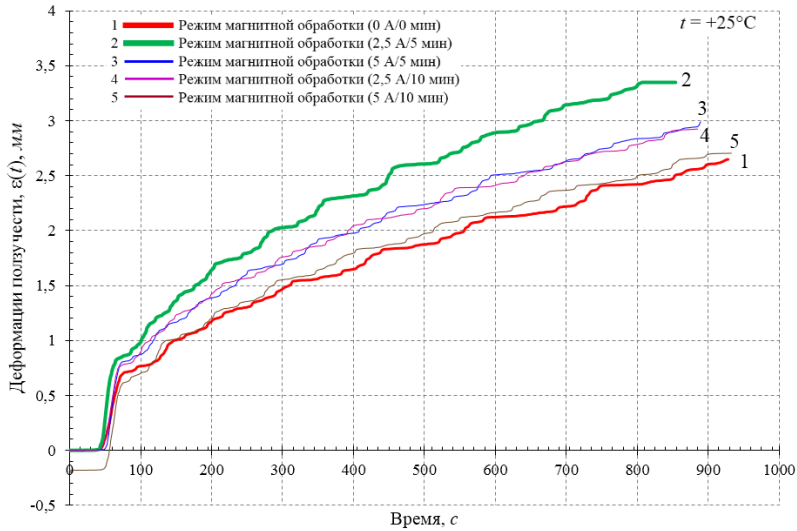


Рис. 8. Результаты натурных испытаний БПГ 35 на ползучесть при температуре $t = \text{плюс } 22^\circ\text{C}$

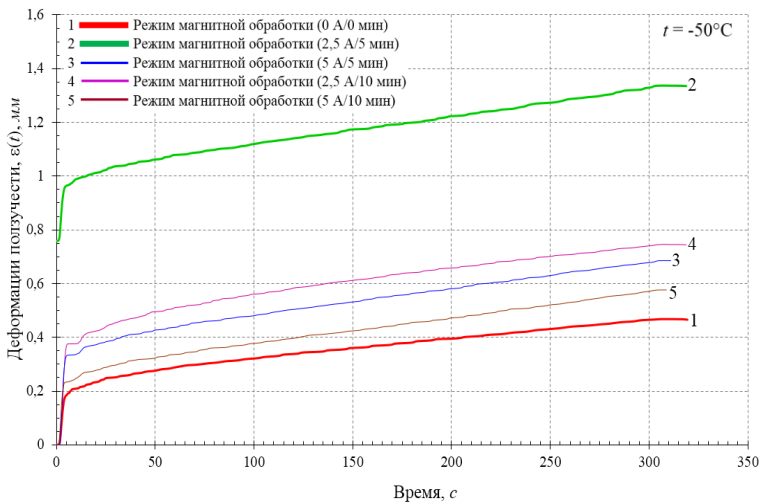


Рис. 9. Результаты натурных испытаний БПГ 35 на ползучесть при температуре $t = \text{минус } 50^\circ\text{C}$

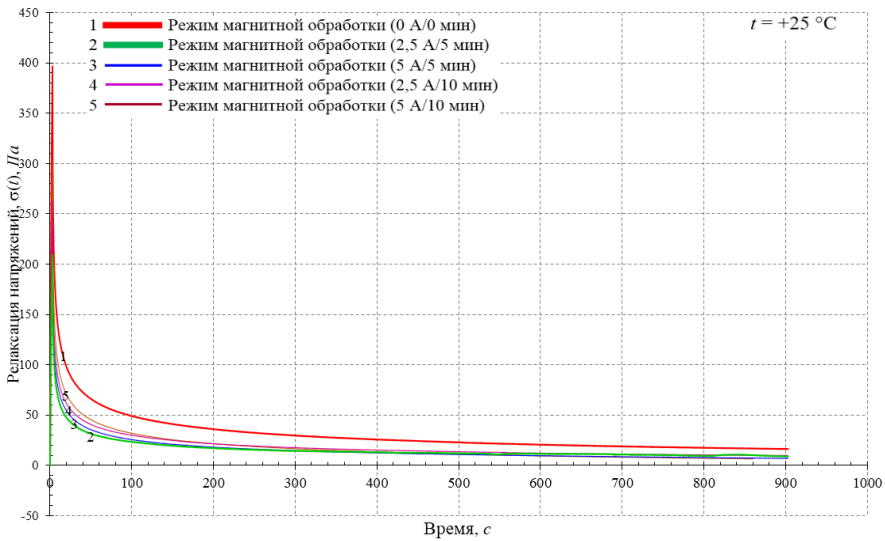


Рис. 10. Результаты натурных испытаний БПГ 35 на релаксацию напряжений при температуре $t = \text{плюс } 25^\circ\text{C}$

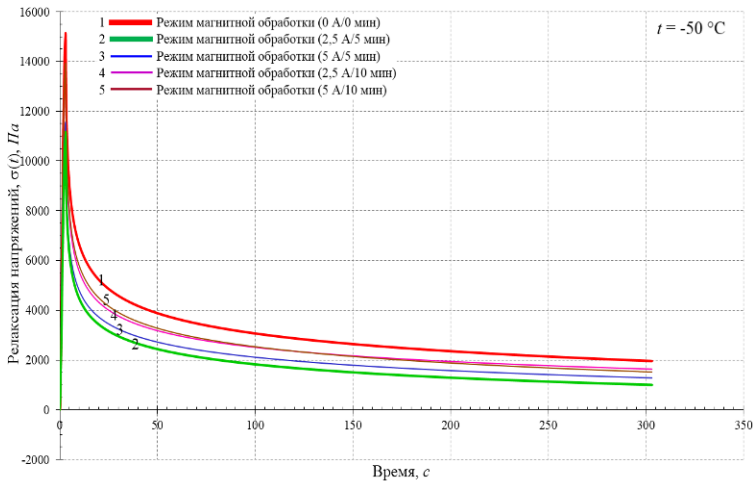


Рис. 11. Результаты натурных испытаний БПГ 35 на релаксацию напряжений при температуре $t = \text{минус } 50^\circ\text{C}$

Установлено, что наиболее эффективным является модифицирование БПГ 35 при следующем режиме обработки герметизирующего материала в магнитном поле: напряженность магнитного поля — 129 мТл; время обработки — 5 мин. При этом максимальное значение

ползучести герметика (рис. 8-9) увеличивается в среднем на 45 % по сравнению с необработанным образцом БПГ 35.

Анализ полученных зависимостей (рис. 10-11) показал, что максимальные значения релаксации БПГ 35 также увеличились в среднем на 35 %, что свидетельствует о появлении после обработки композита в магнитном поле особой формы состояния его полимерного наполнителя – высокоэластического состояния полимера.

Для математического моделирования механического поведения аэродромных битумно-полимерных композитов, модифицированных магнитным полем, предложено использовать теорию наследственности Больцмана – Вольтерры для случая линейных свойств деформации исследуемых полимерных материалов. Уравнение, которое описывает деформативность аэродромных битумно-полимерных композитов, имеет вид интегрального уравнения Вольтерры 2-го рода:

$$s(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d(\tau), \quad (1)$$

а для релаксации, соответственно:

$$\sigma(t) = E s(t) - E \int_0^t T(t-\tau) s(\tau) d(\tau), \quad (2)$$

где

$\sigma(t)$ и $\varepsilon(t)$ - напряжения и деформации в момент наблюдения t при одноосном напряженном состоянии образца герметика, Па;

τ – предшествующее моменту t время, с;

E – мгновенный модуль упругости материала, Па;

$K(t-\tau)$ – функция влияния напряжений $\sigma(\tau)$ на деформацию образца герметика, мм/с;

$T(t-\tau)$ – функция влияния деформации $\varepsilon(\tau)$ на внутренние напряжения в полимерном материале, см²/кгс.

При $\sigma(t) = \sigma_k$, $\sigma(t) = \sigma_k = const$ из уравнения (1) получаем уравнение для ползучести исследуемых упруго-вязких полимерных материалов:

$$s(t) = \frac{\sigma_k}{E} \left[1 + \int_0^t K(\tau) d(\tau) \right], \quad (3)$$

где

σ_k – напряжения в материале в момент наблюдения t , Па;

$1 + \int_0^t K(\tau) d\tau$ – податливость герметизирующего материала, см²/кгс.

Аналогично полагая, что $\varepsilon(t) = \varepsilon_k = \text{const}$ из уравнения (2), получаем уравнение для релаксации напряжений:

$$\sigma(t) = E \varepsilon_k \left[1 - \int_0^t T(\tau) d\tau \right], \quad (4)$$

где

ε_k – деформации в материале в момент наблюдения t ;

$1 - \int_0^t T(\tau) d\tau$ – модуль релаксации полимерного материала, см²/кгс.

Дифференцируя обе части уравнений (4 и 5) по t , получим:

$$K(t) = \frac{E}{\sigma_k} \frac{d\sigma(t)}{dt}; \quad (5)$$

$$T(t) = -\frac{1}{E \varepsilon_k} \frac{d\sigma(t)}{dt}. \quad (6)$$

Функция влияния $K(t)$ пропорциональна функции скорости ползучести $K(t - \tau)$. При $t = 0$: $d\varepsilon / dt \rightarrow \infty$, причем согласно уравнению (3) интеграл от $K(t)$ должен быть конечной величиной. Функция скорости ползучести $K(t)$ является слабосингулярной или функцией со слабой особенностью. Такие слабосингулярные функции хорошо описывают скорости релаксационных процессов.

Для верификации исследований реологических характеристик БПГ 35 с эксплуатационными, стандартизированными по ГОСТ 33143-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод температуры хрупкости по Фраасу», были исследованы те же образцы БПГ 35, модифицированные в магнитном поле различной напряженности. Результаты определения температуры хрупкости по Фраасу БПГ 35 представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты определения температуры хрупкости по Фраасу
БПГ 35, модифицированного в магнитном поле
различной напряженности*

<i>№ n/n</i>	<i>Наимено- вание об- разца герметика</i>	<i>Напря- женность магнитно- го поля, мТл</i>	<i>Время обра- ботки, мин</i>	<i>Результат измерения темпера- туры хрупко- сти, минус °С</i>	<i>Среднее значение темпера- туры хрупко- сти, минус °С</i>
<i>1</i>	БПГ 35	0	0	- 18,5	- 18,6
				- 19,1	
				- 18,2	
<i>2</i>	БПГ 35	123	5	- 39,8	- 39,7
				- 39,9	
				- 39,5	
<i>3</i>	БПГ 35	123	10	- 39,5	- 39,2
				- 39,1	
				- 39,0	
<i>4</i>	БПГ 35	227	5	- 37,5	- 37,1
				- 37,0	
				- 36,7	
<i>5</i>	БПГ 35	227	10	- 32,0	- 32,6
				- 32,9	
				- 32,0	

Результаты оказались еще более эффективными, чем для физико-механических характеристик, представленных в данной статье. Однако эксплуатационные характеристики для БПГ, стандартизированные ГОСТ 30740-2000 и ГОСТ 33143-2014, не дают фундаментального описания строения и структуры аэродромных БПГ, обладающих сложной реологией, а также не имеют математического аппарата для моделирования деформативности данных материалов с учетом фундаментальных законов реологии для сложных насыщенных полимерных композитов. Методики, предложенные в ГОСТ 30740-2000, представляют собой простые механические испытания, косвенно свидетельствующие о механических свойствах данных материалов.

ВЫВОДЫ

1. В ходе механических испытаний образцов БПГ 35, обработанных постоянным магнитным полем различной напряженности, установлено, что оптимальное время обработки аэродромного герметизирующего материала составляет 2-3 минуты при напряженности поля 123 мТл. Скорость ползучести и релаксации герметизирующего материала при этом увеличивается на 35-45 % по сравнению с необработанным герметиком, в том числе и при отрицательном пороге эксплуатации материала.
2. Для прогнозирования механического поведения аэродромных битумно-полимерных герметиков в деформационных швах жестких аэродромных покрытий предложен математический аппарат, который с достаточной точностью позволяет прогнозировать механическое поведение данных герметизирующих материалов в камере деформационных швов жестких аэродромных покрытий.
3. Для верификации исследований реологических характеристик БПГ 35 с эксплуатационными представлена таблица результатов определения температуры хрупкости по Фраасу БПГ 35, модифицированного в магнитном поле различной напряженности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вторушин В.Н. Как обеспечить долговечность покрытий / В.Н. Вторушин, В.П. Попов // Аэропорты. Прогрессивные технологии. – 1999. – № 4. – С. 17-21.
2. Виноградов А.П. Оценка эксплуатационно-технического состояния цементобетонных покрытий аэродромов / А.П. Виноградов // Труды ГосРГПИИГА. – М., 1984. – Вып. 237. – С. 11-13.
3. Смирнов В.С. Диагностика повреждений аэродромных покрытий / В.С. Смирнов, Г.Я. Ключников. – М.: Транспорт, 1984. – 121 с.
4. Швидко Я.И. Аэродромные покрытия с применением полимерных материалов (ремонт и содержание) / Я.И. Швидко, Э.Л. Марьямов. – М.: Транспорт, 1982. – 85 с.
5. Гулимов А.Г. Герметичность швов цементобетонных покрытий / А.Г. Гулимов, А.М. Шейнин, П.Т. Петербургский // Автомобильные дороги. М.: Союздорнии, 1988. – № 7. – С. 11-15.

6. Давлятова Д.Ю. Прогноз показателей. Методы нормирования реологических характеристик вязких дорожных битумов / Д.Ю. Давлятова, Э.В. Котлярский // Автомобильные дороги. – 2013. – № 1. – С. 75-78.
7. Ярцев В.П. Битумные композиты / В.П. Ярцев, А.В. Ерофеев. – Тамбов: Изд-во: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 80 с.
8. Hussein I.A. Influence of Mw of LDPE and Vinyl Acetate Content of EVA on the Rheology of Polymer Modified Asphalt / I.A. Hussein, M.H. Iqbal, H.I. Al-Abdul Whhab // Rheologica Acta. 2005. – Vol. 45. – P. 92-104.
9. Mahrez A. Rheological evaluation of age in properties of rubber crumb modified bitumen / A. Mahrez, M.R. Karim // J. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2003. Vol. 5. – P.820833.
10. Платонов А.П. Полимерные материалы в дорожном и аэродромном строительстве / А.П. Платонов. – М.: Транспорт, 1994. – С. 92-96.
11. Полякова С.В. Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве / С.В. Полякова // Применение полимерно-битумных вяжущих на основе блоксополимеров типа СБС: сб. ст. / Центр метрологии, испытаний и сертификации Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-та (техн. ун-та). – М., 2001. – С. 87-88.
12. Isacsson U. Properties of bitumens modified with elastomers and plastomers / U. Isacsson, X. Lu. // Proc. 2nd Eurasphalt and Eurobitume Congress. – Barcelona. – 2000. – Book II. – P. 342-349.
13. Попов В.М. Влияние магнитной обработки полимерных клеев на прочность клеевых соединений на их основе / В.М. Попов, А.П. Новиков, А.В. Иванов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Том № 18. – № 3. – С. 414-421.

L I T E R A T U R A

1. Vtorushin V.N. Kak obespechit' dolgovechnost' pokrytij / V.N. Vtorushin, V.P. Popov // Aeroporty. Progressivnye tekhnologii. – 1999. – № 4. – С. 17-21.
2. Vinogradov A.P. Ocenka ekspluatacionno-tehnicheskogo sostoyaniya cementobetonnyh pokrytij aerodromov / A.P. Vinogradov // Trudy GosRGIIGA. – М., 1984. – Vyp. 237. – С. 11-13.
3. Smirnov B.C. Diagnostika povrezhdenij aerodromnyh pokrytij /

-
- B.C. Smirnov, G.Ya. Klyuchnikov. – M.: Transport, 1984. – 121 s.*
4. *Shvidko Ya.I. Aerodromnye pokrytiya s primeneniem polimernyh materialov (remont i sodержanie) / Ya.I. Shvidko, E.L. Mar'yamov. – M.: Transport, 1982. – 85 s.*
 5. *Gulimov A.G. Germetichnost' shvov cementobetonnyh pokrytij / A.G. Gulimov, A.M. Shejnin, P.T. Peterburgskij // Avtomobil'nye dorogi. M.: Soyuzdornii, 1988. – № 7. – S. 11-15.*
 6. *Davlyatova D.Yu. Prognoz pokazatelej. Metody normirovaniya reologicheskikh harakteristik vyazkih dorozhnyh bitumov / D.Yu. Davlyatova, E.V. Kotlyarskij // Avtomobil'nye dorogi. – 2013. – № 1. – S. 75-78.*
 7. *Yarcev V.P. Bitumnye kompozity / V.P. Yarcev, A.V. Erofeev. – Tambov: Izd-vo: FGBOU VPO «TGTU», 2014. – 80 s.*
 8. *Hussein I.A. Influence of Mw of LDPE and Vinyl Acetate Content of EVA on the Rheology of Polymer Modified Asphalt / I.A. Hussein, M.H. Iqbal, H.I. Al-Abdul Whhab // Rheologica Acta. 2005. – Vol. 45. – P. 92-104.*
 9. *Mahrez A. Rheological evaluation of age in properties of rubber crumb modofied bitumen / A. Mahrez, M.R. Karim // J. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2003. Vol. 5. – P.820833.*
 10. *Platonov A.P. Polimernye materialy v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve / A.P. Platonov. – M.: Transport, 1994. – S. 92-96.*
 11. *Polyakova S.V. Primenenie modificirovannyh bitumov v dorozhnom stroitel'stve / S.V. Polyakova // Primenenie polimerno-bitumnyh vyazhushchih na osnove bloksopolimerov tipa SBS: sb. st. / Centr metrologii, ispytanij i sertifikacii Mosk. gos. avtomobil.-dorozh. in-ta (tekhn. un-ta). – M., 2001. – S. 87-88.*
 12. *Isacsson U. Properties of bitumens modified with elastomers and plastomers / U. Isacsson, X.Lu. // Proc. 2nd Eurasphalt and Eurobitume Congress. – Barcelona. – 2000. – Book II. – P. 342-349.*
 13. *Popov V.M. Vliyanie magnitnoj obrabotki polimernyh kleev na prochnost' kleevyh soedinenij na ih osnove / V.M. Popov, A.P. Novikov, A.V. Ivanov // Mekhanika kompozicionnyh materialov i konstrukcij. – 2012. – Tom № 18. – № 3. – S. 414-421.*

.....
**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS
OF AIRFIELD BITUMINOUS-POLYMER SEALANTS
MODIFIED BY MAGNETIC FIELD**

*Ph. D. (Tech.) A.V. Burakov
(Military Educational and Research Center
of Air Force «Air Force Academy named
after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»)
Contact information: schetchik777@mail.ru*

The actual problem relating to airfield support of state aviation flights is the development of advanced technical solutions and technologies that ensure the durability of expansion joints of rigid airfield pavements, which is largely determined by the physical and mechanical characteristics of the bituminous-polymer sealants used for their sealing.

The paper presents the results of mechanical tests of BPG samples treated by a constant magnetic field of different intensity. A mathematical apparatus has been proposed, which makes it possible to predict with sufficient accuracy the mechanical behavior of BPG in expansion joints of rigid airfield pavements. A comparison of rheological characteristics of BPG 35 with operational ones on the basis of the results of determination of the Fraass breaking point of BPG 35 modified in the magnetic field of different intensity is given.

Key words: *rigid airfield pavement, expansion joint, bituminous-polymer sealant (BPG), rheological characteristics, creep, stress relaxation.*

Рецензент: канд. техн. наук Б.П. Кутько (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 07.04.2022 г.