



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ГУММИРОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Проведены экспериментальные исследования теплообмена при охлаждении гуммированного изделия. В качестве основных (первичных) факторов, влияющих на качество готовых обкладок, приняты температура обработки  $T$ , продолжительность термообработки  $\tau$ , толщина металлического слоя  $\delta_{ст}$  и обкладки  $\delta_{об}$ . Исследованиями установлено, что при повышенных температурах вулканизирующей среды значительно сокращается общее время вулканизации обкладок и необходимо учитывать влияние тепловых эффектов вулканизации, чтобы не произошло порообразования и деструкции полимера в вулканизате.

Температурное поле, режим вулканизации, гуммировочное покрытие, температура обработки, псевдоожиженный инертный теплоноситель, толщина покрытия, планирование эксперимента.

При изготовлении и эксплуатации резинометаллических изделий наличие клеевых соединений между гуммировочным покрытием и металлом, а также между слоями покрытия вносит особенности в формирование температурных полей [1, 3, 4, 5].

Процесс вулканизации обкладок гуммированных объектов – один из наиболее сложных тепловых процессов, протекающих в изменяющихся во времени тепловых потоках и теплообмене между теплоносителем и нагреваемым объектом, зависящих от нестационарного распределенного поля температур в вулканизуемом объекте [4, 5].

Выбор режима вулканизации основан на анализе температурных полей в резинометаллическом изделии и на объективной оценке результатов их воздействия на процесс вулканизации [6].

Определение температурного поля листового резинометаллического изделия при вулканизации в псевдоожиженном инертном теплоносителе и методом простой конвекции измерением температуры одновременно в нескольких точках объема эластомера проведено на установке периодического действия [6].

На процесс вулканизации обкладок в инертном зернистом теплоносителе влияет большое количество факторов (температура термообработки, продолжительность вулканизации, толщина металлического слоя, толщина обкладки, состав и технологические свойства резиновых смесей, скорость оживающего агента и др.), и проверить на опыте все возможные сочетания этих факторов практически невозможно из-за их большого количества. В связи с этим при проведении экспериментов использовали методику рационального планирования эксперимента [1, 4, 5]. В качестве основных (первичных) факторов, влияющих на качество готовых обкладок, приняты температура обработки  $T$ , продолжительность термообработки  $\tau$ , толщина металлического слоя  $\delta_{ст}$  и обкладки  $\delta_{об}$ . На рисунке 1 приведен пример планирования

опытов по вулканизации обкладок для четырех факторов и четырех вариантов из них.

Изменение температуры в массиве резиновой обкладки, в стальном слое и окружающей среде контролировали электронными потенциометрами типа КВТ. Измерения температур проводили с помощью хромель-копелевых термопар ХК. Расчет погрешности измерений термопарами из-за потерь теплоты через термопару термоотводом, из-за охлаждения измеренного участка изделия и нагрева термопары проводили по методике, описанной в работе [6]. Продолжительность испытаний определяли временем достижения установившегося теплового состояния, когда температуры во всех контролируемых точках стабилизировались.

Такое состояние соответствовало тепловому равновесию резинометаллического образца и характеризовало начало наиболее теплонапряженного режима вулканизуемых обкладок. Термопары устанавливали перед вулканизацией между слоями, на стыке соседних слоев эластомеров и на стыке обкладок с металлическим слоем.

В зависимости от состава эластомера, толщины обкладки и стального слоя, условий термообработки установившийся режим наступал через 780...2400 с. На рисунке 2 представлены результаты изменения температуры в обкладках марки 1814+1976 на основе синтетического бутадиенового каучука СКБ. Очевидно, что температурное поле в резинометаллическом образце ассиметрично относительно оси симметрии обкладки. В начале процесса вулканизации покрытий из-за малой теплопроводности резины возникает значительный перепад температуры между поверхностью изделия и его серединой. Наиболее высокую температуру внутри образца в этот момент времени наблюдали в наружных слоях: стальном слое и внешнем слое обкладки из резины марки 1976 на основе каучука СКБ, самую низкую температуру в начальный период вулканизации – в подслое из эбонита, примыкающем к стальному слою.



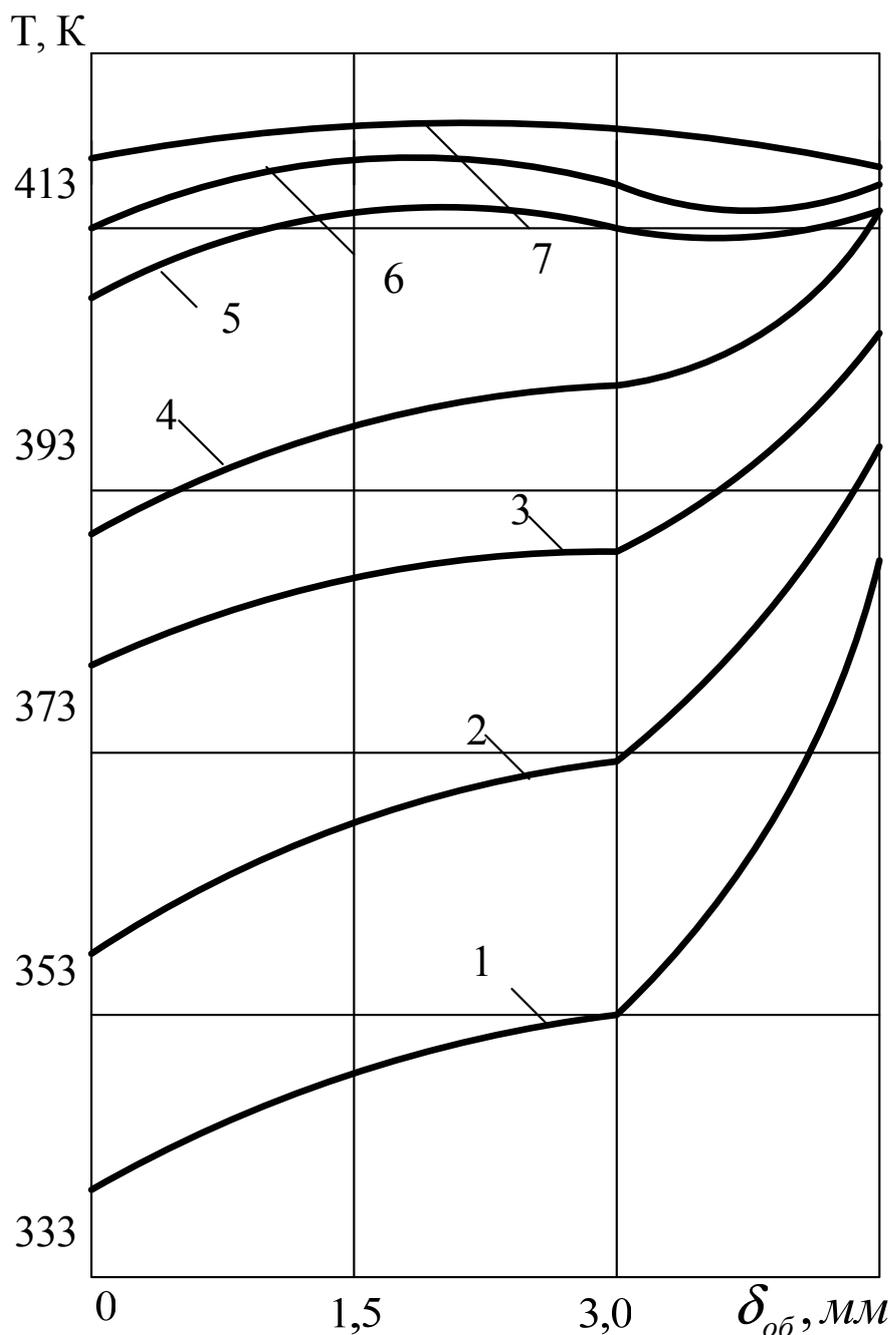


Рис. 2. Кривые распределения температуры в покрытии марки 1814 (СКБ) + два слоя 1976 (СКБ) при  $\delta_{об} = 2$  мм и  $T_c = 418$  К и различном времени вулканизации: 1 – 90 с.; 2 – 150 с.; 3 – 240 с.; 4 – 300 с.; 5 – 780 с.; 6 – 900 с.; 7 – 1400 с.

Особенно это заметно при высоких температурах вулканизации (выше 428 К). Результаты экспериментов по вулканизации покрытий марок 1814 + 2566 и 1752 при толщине стальной основы 2 мм показали, что время установления теплового состояния, при котором температура во всех контролируемых точках равна температуре среды ( $T_c = 418$  К), растет с увеличением толщины покрытия.

Исследования по определению времени прогрева покрытий марок 1814 (СКБ) + четыре слоя 2566 (НК + СКБ) и четыре слоя 1752 (НК + СКБ) показали, что

время достижения установившегося теплового состояния обкладок ( $T_c = 423$  К) растет также с увеличением толщины металлического слоя.

Однако влияние геометрических параметров покрытий на прогрев резиноталлических изделий с резиновыми и эбонитовыми обкладками неодинаково: указанные факторы больше влияют на прогрев резиновых обкладок. С повышением температуры инертного зернистого теплоносителя уменьшается время прогрева резиноталлического изделия, что влияет на скорость вулканизации обкладок.

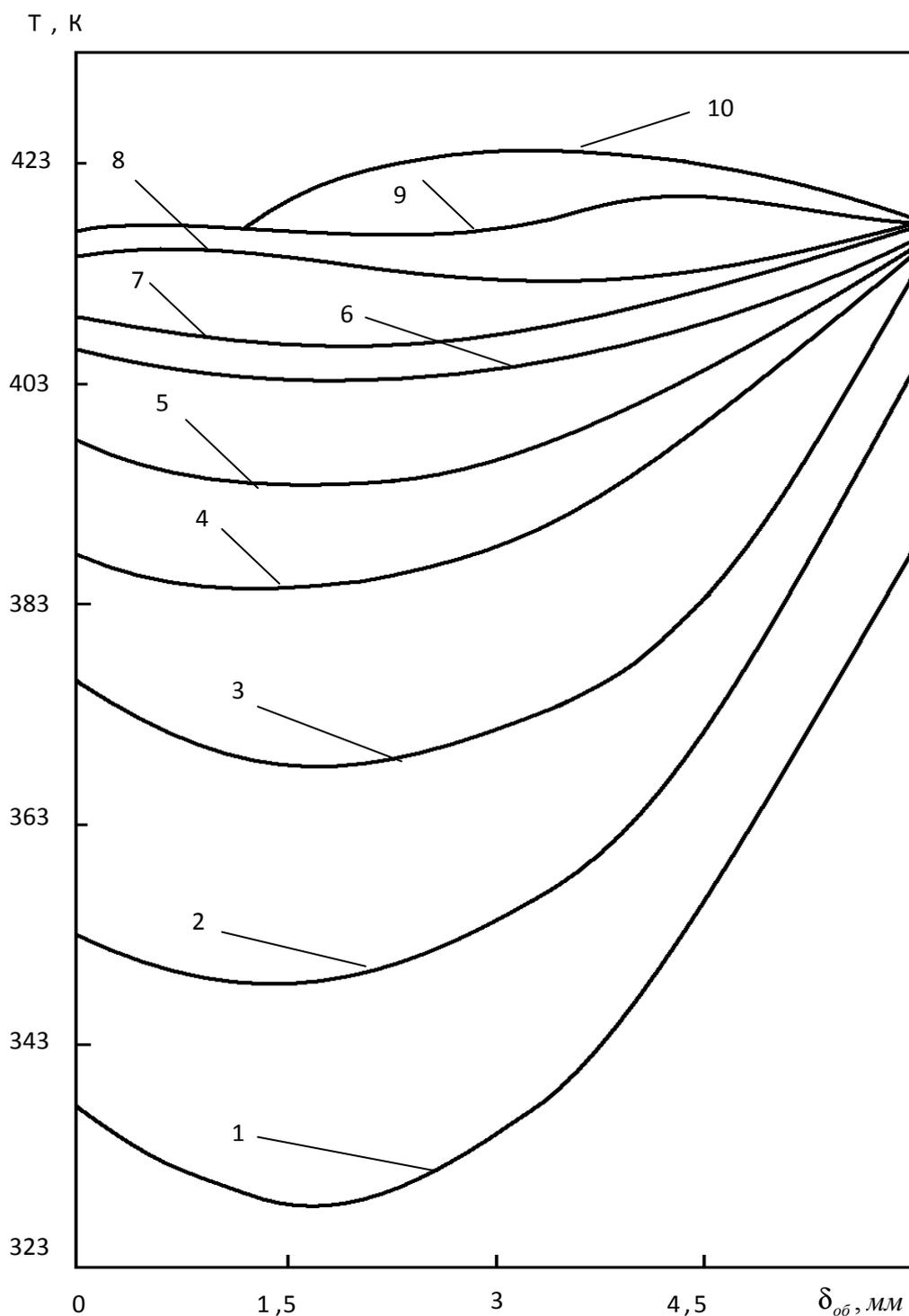


Рис. 3. Кривые распределения температуры в четырехслойном покрытии марки 1752 (НК + СКБ) при  $\delta_{об} = 2$  мм и  $T_c = 418$  К и различном времени вулканизации: 1 – 30 с.; 2 – 60 с.; 3 – 120 с.; 4 – 180 с.; 5 – 240 с.; 6 – 360 с.; 7 – 600 с.; 8 – 720 с.; 9 – 1530 с.; 10 – 1800 с.

Таким образом, при повышенных температурах вулканизирующей среды значительно сокращается общее время вулканизации обкладок и необходимо учитывать влияние тепловых эффектов вулканизации, чтобы не произошло порообразования и деструкции полимера в вулканизате.

#### Литература

1. Аваев, А. А. Температурное поле резинометаллического изделия в процессе вулканизации его эластомерной обкладки / А. А. Аваев, Ю. Р. Осипов // Инженерно-физический журнал. – 1978. – Т. 35, № 3. – С. 550.

2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1971. – 283 с.
3. Лукомская, А. И. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий / А. И. Лукомская, П. Ф. Баденков, Л. М. Кеперша. – Москва : Химия, 1972. – 359 с.
4. Осипов, Ю. Р. Физико-математический анализ тепловых режимов термообработки гуммировочных покрытий / Ю. Р. Осипов, Т. А. Рожина // Техника и технология. – 2005. – № 3 (9). – С. 51–54.
5. Осипов, Ю. Р. Решение краевой задачи нестационарной теплопроводности при предварительной обработке многослойных эластомерных материалов / Ю. Р. Осипов, Т. А. Рожина, С. Ю. Осипов // Конструкции из композиционных материалов. – 2005. – № 6 – С. 35–40.
6. Осипов, Ю. Р. Термообработка и работоспособность покрытий гуммированных объектов / Ю. Р. Осипов. – Москва : Машиностроение, 1995. – 232 с.
7. Осипова, В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова. – Москва : Энергия, 1979. – 320 с.

*N.A. Bormosov, T.A. Kochkareva*  
*Vologda State University*

#### HEAT EXCHANGE RESEARCH WHEN COOLING RUBBER COATING

The experimental study of heat exchange when cooling rubber products has been conducted. The main (primary) factors, which influence the quality of ready coatings, have been considered to be processing temperature  $T$ , heat processing time  $\tau$ , the thickness of metal layer  $\delta_{ст}$  and coating  $\delta_{об}$ . The study has shown that when the temperature of vulcanizing environment rises, the total time of vulcanization of coatings reduces significantly and the impact of heat effects of vulcanization shall be taken into consideration to avoid pore formation and destruction of a polymer in vulcanizate.

Temperature field vulcanization regime, rubber coating, processing temperature, fluidized inert heat carrier, coating thickness, experiment planning.