



ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ЛЕГКОЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ШИН НА БАЗЕ ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ С ПАРОВОЗДУШНОЙ НЕСУЩЕЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Леонид Сырицын, Геннадий Власов, Вячеслав Чемеринский

*ОАО «Шинный комплекс «АМТЕЛ-Черноземье»,
Россия, 394074 Воронеж, ул. Ростовская, 41.
Эл. почта: tchemerinski@amtelyre.ru*

Получено 02 03 2005; принято 24 03 2005

Аннотация. Проанализированы технические и экологические аспекты аппаратного оформления заготовительного участка протекторных заготовок в производстве шин транспортными системами с паровоздушной несущей прослойкой для организации «чистой зоны». Подобное техническое решение способно реализовать процесс адсорбции легколетучих соединений из клеевой плёнки протектора в область паровоздушной среды несущей прослойки. Рассмотрена схема десорбции насыщенного адсорбента при электроконтактном способе подвода тепла. Представлены результаты математического моделирования процесса адсорбции легколетучих соединений клеевой композиции.

Ключевые слова: клеевая композиция, протекторное полотно, клеевая плёнка, паровоздушная несущая прослойка, процесс адсорбции, легколетучие соединения.

APPLICATION OF VOLATILE ADSORPTION PROCESS TO TIRE COMPONENT STOCK PREPARATION TECHNOLOGY EMPLOYING AIR-STEAM BED CONVEYOR TRANSPORT

Leonid Syritsyn, Genadij Vlasov, Viatcheslav Tchemerinski

*OAO Complex „AMTEL-Chernozemje“, Rostovskaja 41, 394074 Voronezh, Russia
E-mail: tchemerinski@amtelyre.ru*

Received 2 Mar 2005; accepted 24 Mar 2005

Abstract. The paper describes technical and environmental aspects of hardware implementation of air-steam bed conveyor system aimed at creating a pollution-free zone at the stock preparation department of a tire factory. The approach presented will facilitate volatile compound adsorption into the air-steam space from an adhesive film formed by assembling solution on the tread surface. A model of saturated adsorbent desorption, with electric contact heat applied, is developed. The results of mathematical modeling of assembling solution-volatile matter adsorption are presented.

Keywords: assembling / adhesive formulation, tread strip, adhesive film, air-steam carrying interlayer, adsorption process, volatile compounds.

1. Введение

Переработка резиновой композиции в протек-

торные заготовки представляет собой сложный тип производства с рядом технологических процессов, обеспечивающих получение шин с заданными

свойствами эксплуатации. Необходимость развития современного поточного оборудования для производства протекторных заготовок с позиций экологии и ресурсосбережения предопределяет потребность в новых, достаточно нетрадиционных транспортно-технологических устройствах. В этой связи в условиях поточного изготовления профилированного протекторного полотна перспективным является промышленное использование транспортных средств, реализующих принцип несущей прослойки с полностью или частично замкнутым оборотом рабочей среды. Для обеспечения высокой прочности связи (адгезии) между слоями и деталями при сборке шин широко применяются процессы нанесения клеевых покрытий на шприцованные резиновые заготовки с последующей их сушкой. Вследствие сравнительно низкой интенсивности удаления растворителя из клеевой композиции покрытия в процессе сушки традиционными способами и техническими решениями время сушки до необходимого влагосодержания чрезмерно велико. Поэтому досушка зачастую происходит при вылежке полуфабрикатов, что приводит к несанкционированным выбросам насыщенных паров в атмосферу складских помещений и окружающую производственную сферу.

Исследование процесса сушки клеевого покрытия протектора на несущей прослойке (НП) технологической среды является первоочередной задачей при разработке экологически чистых пневмоконвейерных систем [1].

В традиционно эксплуатируемых механических сушильных транспортерах сушка клея осуществляется в воздушном потоке. Данная схема обработки характеризуется тем, что летучие соединения клеевой композиции отводятся неравномерно, образуется поверхностная корка, что негативно сказывается на качестве клеевого покрытия.

Перспективным направлением интенсификации процесса сушки является исследование устройств бесконтактной транспортировки профилированного полотна на НП сушильного агента. Под ней понимается достаточно тонкий слой газа, пара или их комбинации, ограниченный двумя поверхностями, одна из которых свободна и находится под действием заданной системы внешних сил. Именно наличие свободной поверхности, ограничивающей слой сушильного агента, и определяет интенсивность теплообменных процессов в системе «клеевая пленка – протектор».

Данная схема обработки клеевого покрытия позволяет исключить или свести к минимуму возможные отклонения в режимах сушки, вызванные механическими контактами с объектом в традиционной технике. В этом случае НП, кроме названных транспортных функций, выполняет обязанности сушильного агента (воздушного, парового или комбинированного). При этом привлечение паро-воздушной смеси в качестве

рабочей среды в несущей прослойке способствует полному снятию статического электричества с полимера и организации взрывобезопасного производства. Кроме того, установлена возможность рекуперации летучих соединений использовавшегося растворителя со 100-процентным возвратом в производственный цикл. При работе на сушильных установках происходит интенсивное выделение паров растворителей. И только сушка паро-воздушной смесью клеепромазанных резиновых поверхностей оправдывает повышение уровня предельно допустимой концентрации в отработанном агенте по сравнению с традиционными схемами обработки.

Кроме того, при использовании добавок пара в воздух повышается влагосодержание смеси, режим сушки становится более мягким и, несмотря на небольшое уменьшение некоторой интенсивности процесса сушки, качественные показатели высушиваемого слоя клея существенно улучшаются. Например, не образуется так называемая «поверхностная корка» высушиваемого клея. Дополнительно происходит быстрый прогрев поверхности протекторной заготовки до температуры, близкой к 100 °С. Это характеризуется малой теплотой испарения и высокой летучестью удаляемого в этот момент растворителя.

2. Формулировка проблемы

Установлено, что немаловажным недостатком в традиционной схеме сушки клеепромазанного резинового профиля является выброс паров растворителя в окружающую среду, что приводит к ухудшению экологической обстановки и загрязнению производственной сферы. Следует констатировать наличие возможности возникновения очагов пожаров за счет образования взрывоопасной среды (смесь паров растворителя и воздуха). В настоящее время сформировалась гамма технических средств, обеспечивающих соблюдение экологических норм технологической обработки профилированного полотна путем применения эффектов смазочно-несущей гидродинамической прослойки рабочей среды. Однако, несмотря на очевидные преимущества, до настоящего времени комплексный подход к разработке единой концепции основ теории, расчёта и проектирования такого рода устройств как составляющих общего экологически чистого протекторного агрегата не был проработан. Этим и определяется научная проблематика проекта.

3. Методы исследований

Для организации процесса сушки клеевого покрытия протекторного полотна с замкнутым циклом потребления воды и 100-процентным возвратом паров летучих соединений клеевой композиции в производственный процесс была разработана конструкция пневмоконвейера с несущей прослойкой,

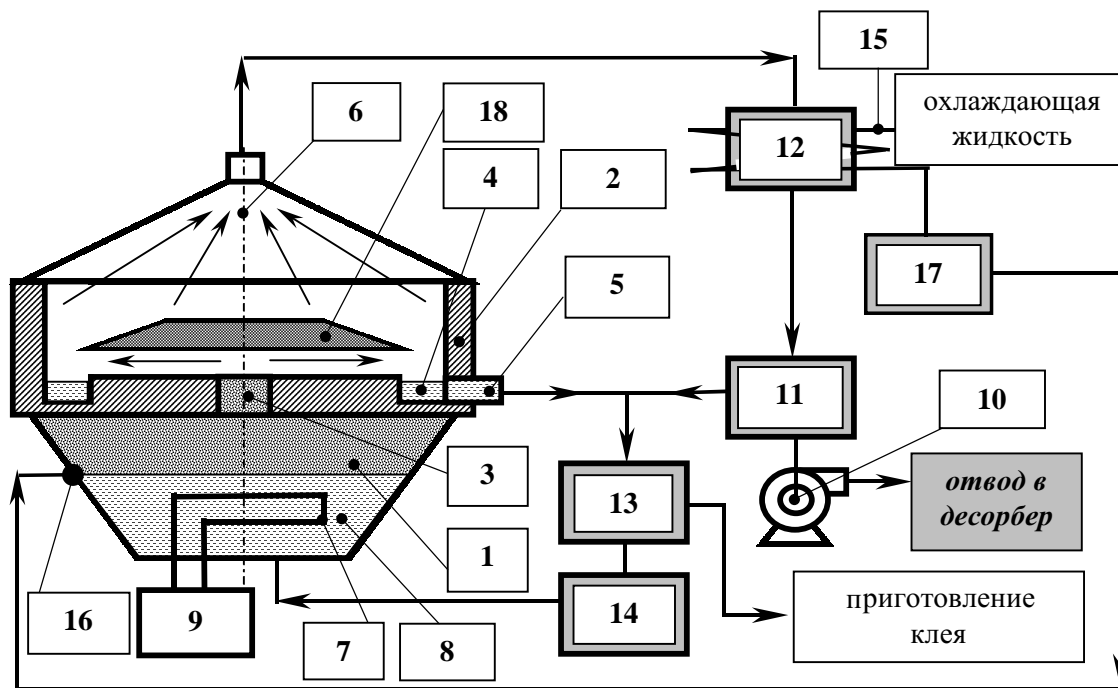


Рис. 1. Принципиальная схема пневмоконвейерной системы сушки клеевого покрытия протекторного полотна на паровой несущей прослойке

Fig 1. Principled scheme of pneumoconveyor system for drying adhesive film of tread strip in air-steam carrying interlayer

принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

Транспортно-сушильный модуль пневмоконвейера содержит камеру 1 для создания динамической подушки под обрабатываемым материалом в форме усеченной пирамиды, смонтированную на ней несущую плиту 2 со сквозными питающими отверстиями 3 для выхода рабочей среды из камеры 1. В несущей плите 2 выполнены продольные сливные каналы 4 с отводными патрубками 5. Сверху устройства расположена система вытяжки 6 в виде короба с выходным патрубком, плотно прилегающего к несущей плите 2.

Камера 1 из теплоизоляционного материала снабжена тепловыми электронагревателями (ТЭН) 7, полностью погруженными в слой жидкой рабочей среды (воды) 8, которая частично заполняет камеру 1. ТЭН снабжены регуляторами мощности 9. Система циркуляции рабочей среды включает в себя вытяжной вентилятор 10 с гидрозатвором 11, конденсатор 12, отстойник 13 и регулирующий гидрозатвор 14 для возврата в камеру образованного при термообработке конденсата. Подпитка циркуляционной системы осуществляется от жидкостной охлаждающей рубашки 15 конденсатора 12. Устройство снабжено установленным в камере 1 исполнительным датчиком 16 уровня рабочей среды. Датчик 16 уровня рабочей среды 8 в камере 1 и исполнительный механизм 17 регламентируют подачу жидкости из охлаждающей системы 15.

Пневмоконвейер работает следующим образом. Регулятором мощности 9 подается электронапряжение на ТЭН, которые доводят до кипения слой воды 8 в камере 1. Профилированный полимерный материал 18 после нанесения клеевого покрытия со смежной технологической операции поступает на несущую поверхность плиты 2. При этом перегретый пар, образующийся при кипении воды в камере 1, вырывается через питающие отверстия 3 в плите 2 и создает паровую подушку под обрабатываемой опорной поверхностью протекторного полотна 18. При сушке испаряемые из клеевого покрытия пары органического растворителя смешиваются с нагнетаемым в область НП водяным паром.

Поскольку температура протекторного полотна 18 на стадии сушки клеевого покрытия близка к температуре кипения рабочей среды, то перегретый водяной пар частично конденсируется в НП. При этом образовавшийся конденсат под динамическим воздействием пара поступает в сливные каналы 4. Остальная смесь из отработанного водяного пара и пара органического растворителя клеевой композиции с помощью вытяжного вентилятора 10 подается в конденсатор 12. В конденсаторе пары, охлаждаясь рубашкой 15, превращаются в жидкость (конденсат), и образующаяся жидкая смесь вместе со смесью из сливных каналов 4 поступает по отводящим патрубкам 5, а из конденсатора 12 – через гидрозатвор 11. В отстойнике 13 образовавшийся органический растворитель отбирается на повторное использование, а через гидрозатвор 14 возвращается

в камеру 1, восполняя рабочий уровень слоя жидкости 8. Для компенсации той доли жидкости, которая неизбежно теряется в окружающей среде в виде пара, камера 1 оборудована датчиком 16 уровня воды.

В случае критического падения уровня жидкости датчик 16 по системе сигнализации включает исполнительный механизм 17, который регламентирует подачу воды из водяной рубашки 15 конденсатора 12 в камеру 1. Отбор жидкости осуществляется на выходе из охлаждающей рубашки. Тем самым вода подается с повышенной температурой кипения слоя рабочей среды. Регулятором 9 устанавливается уровень мощности ТЭН 7, необходимый для поддержания выбранной температуры пара при кипении воды в камере 1.

Рассмотренная схема реализует возможность рекуперации паров органического растворителя с последующим возвратом воды в кипящий слой, а полученного жидкого растворителя – на смежную технологическую операцию приготовления клеевой композиции.

Кроме того, практически решена проблема и устранены предпосылки возгорания паров растворителя вследствие организации процесса сушки протекторного полотна на паровоздушной несущей прослойке.

Анализ используемых в настоящее время технологий рекуперации летучих растворителей с использованием в качестве адсорбента активированного угля позволил выявить наиболее перспективные направления исследований. Одним из них является отказ от использования в процессе десорбции десорбирующего агента (водяного пара). Осуществить данный процесс можно путём электроконтактного подвода тепла, который позволит исключить стадию сушки адсорбента горячим воздухом,

представляющую пожароопасность, интенсифицировать процесс десорбции, сократить механический износ активированного угля, снизить себестоимость рекуперации.

4. Математическая модель процесса десорбции паров многокомпонентного растворителя при электроконтактном подводе тепла

На основании предложенной схемы возможна реализация такого процесса для доочистки газовых выбросов после конденсатора 11. Здесь газовая насыщенная фракция из гидрозатвора вентилятором подаётся в десорбер. При десорбции паров растворителя из токопроводящего активированного угля нагрев слоя адсорбента осуществляется одновременно с вакуумированием десорбера. Расчётная схема процесса десорбции представлена на рис. 2.

Математическое описание кинетики десорбции понижением давления при объёмном подводе тепла к токопроводящему адсорбенту основано на уравнении теплового баланса:

$$mCdT + m_{жс}C_{жс}dT + rdU = EI d\tau. \quad (1)$$

Первый член левой части уравнения характеризует расход тепла на нагрев насыщенного адсорбента, второй – расход тепла на испарение испарителя. Первая часть уравнения представляет собой приток тепла, определяемый мощностью источника.

Расшифровка буквенных обозначений и символов физико-химических характеристик и технологических параметров в нетрадиционной форме отражена в авторских работах [2–6].

Величина напряжения в (1) может быть выражена через удельное сопротивление проводника и его геометрические параметры:

$$I = \frac{E}{R'}, \text{ где } R' = \rho'_z \frac{l}{S} = \rho'_z \frac{l^2}{V_{вл}}. \quad (2)$$

Объём насыщенного адсорбента можно записать как сумму объёмов абсолютно сухого адсорбента и поглощенного жидкого растворителя:

$$V_{вл} = V_M + \sum_{i=1}^n V_{жсi} = \frac{M_M}{\rho_M} + \sum_{i=1}^n \frac{M_{жсi}}{\rho_{жсi}}. \quad (3)$$

В результате основное уравнение кинетики десорбции понижением давления при объёмном подводе тепла может быть получено на основании уравнения (1) путем его деления на $d\tau$ и M_M с учетом уравнений (2) и (4):

$$\left(C_M + \sum_{i=1}^n C_{жсi} U_i \right) \frac{dT}{d\tau} + \sum_{i=1}^n r_i \frac{dU_i}{d\tau} = E^2 \left(\frac{l}{\rho_M} + \sum_{i=1}^n r_i \frac{U_i}{\rho_{жсi}} \right) / \rho'_z l^2. \quad (4)$$

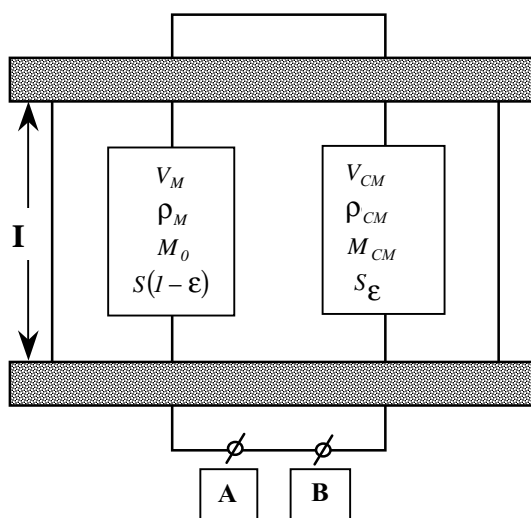


Рис. 2. Схема процесса десорбции (фрагмент увлажнённого адсорбента)

Fig 2. Scheme of desorption process (fragment of damp adsorber)

Величину теплоёмкости C_m активированного угля определяли экспериментально.

Поскольку концентрация паров i -го компонента в смеси выражается через общую концентрацию паров и массовую долю i -го компонента жидкости $U_i = Um_i$, то:

$$dU_i = dUm_i + dm_i U . \tag{5}$$

Уравнение (4) с учётом (5) принимает вид:

$$\left(C_m + \sum_{i=1}^n C_{жци} U_i \right) \frac{dT}{d\tau} + \frac{dU}{d\tau} \sum_{i=1}^n r_i m_i + U \sum_{i=1}^n r_i \frac{dm_i}{d\tau} = E^2 \left(\frac{1}{\rho_m} + \sum_{i=1}^n r_i \frac{U_i}{\rho_{жци}} \right) / \rho'_z I^2 . \tag{6}$$

Уравнение (6) связывает скорость сушки $dU/d\tau$ и скорость нагрева адсорбента $dT/d\tau$. Решая это уравнение относительно скорости сушки, получим:

$$\frac{dU}{d\tau} = \frac{E^2 \left(\frac{1}{\rho_m} + \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{\rho_{жци}} \right) C_m + \sum_{i=1}^n C_{жци} U_i}{\rho'_z I^2 \sum_{i=1}^n r_i m_i} \cdot \frac{dT}{d\tau} - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{dm_i}{d\tau} \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n r_i m_i} \cdot U . \tag{7}$$

Проверка адекватности математической модели регулированием режима десорбции показывает, что экспериментальные точки укладываются в 95-процентный доверительный интервал.

Изменение температуры паровой фазы может быть определено на основе уравнения теплового баланса.

Как уже отмечалось, объём слоя насыщенного адсорбента может быть определён уравнением (3). При пропускании через слой электрического тока между электродами А и В, помещёнными в нём, проводник можно рассматривать как параллельное соединение двух элементов (см. рис. 2).

Тогда общее сопротивление определяется уравнением:

$$1/R' = 1/R'_m + 1/R'_{см} . \tag{8}$$

Принимая во внимание уравнение (2), получим:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{\rho'_m S (1-\epsilon)} + \frac{1}{\rho'_{см} S \epsilon} . \tag{9}$$

Уравнение (8) с учетом уравнений (2) и (4) после деления на M_m можно представить в виде:

$$\rho'_z = \frac{\rho'_m \rho'_{см} \left(\frac{1}{\rho_m} + \sum_{i=0}^n \frac{U_i}{\rho_{жци}} \right)}{V_{эл} \left[\rho'_m \epsilon + \rho'_{см} (1-\epsilon) \right]} . \tag{10}$$

Видно, что уравнение (10) описывает зависимость удельного электрического сопротивления насыщенного адсорбента и его свойств.

Используя уравнение (7) в качестве математической модели, были выявлены кинетические закономерности десорбции растворителя из активированного угля при объёмном подводе тепла. Полученные результаты расчётов изменения скорости сушки $dU/d\tau$ и скорости нагрева адсорбента $dT/d\tau$ от величины напряжения на электродах представлены на рис. 3 и 4.

Анализ графических зависимостей показывает, что увеличение напряжения приводит к интенсивному нагреву адсорбента и повышению скорости десорбции бензина.

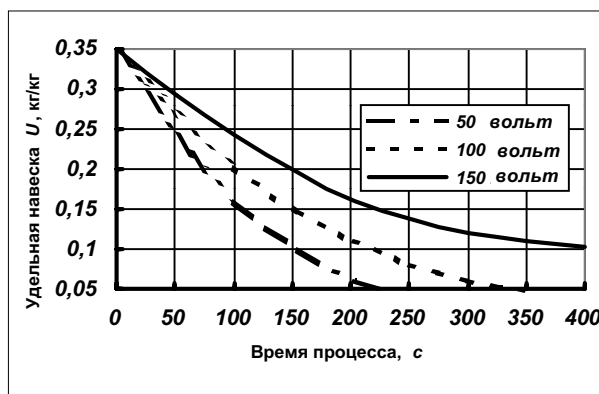


Рис. 3. Зависимость скорости десорбции бензина из активированного угля от величины напряжения на электродах

Fig 3. Dependence of the rate of petrol desorption from activated carbon on electrode tension

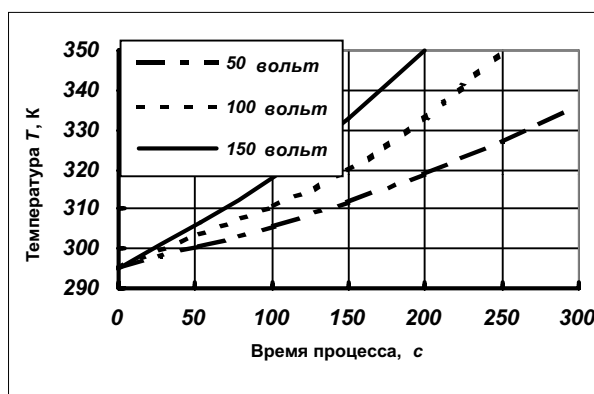


Рис. 4. Зависимость скорости роста температуры увлажненного насадка активированного угля от величины напряжения на электродах

Fig 4. Dependence of the rate of temperature increase in damp probe of activated carbon on electrode tension

5. Математическая модель процесса десорбции многокомпонентного растворителя в режиме вакуумного осцилляции

Процесс десорбции может быть представлен как совокупность последовательно протекающих стадий.

Первая стадия представляет собой удаление паров конденсированной в порах адсорбента смеси. Испарение смеси происходит с постоянной интенсивностью в основном с поверхности адсорбента и обусловлено движением конденсированной жидкости из внутренних слоёв гранул угля по порам за счёт градиента капиллярного давления

$$dU/d\tau = \text{const}. \quad (11)$$

Для описания закономерностей процесса можно воспользоваться дифференциальным уравнением ТМП, преобразованным в виде:

$$CdT_m = U \sum_{i=1}^n r_i dm_i + dU \sum_{i=1}^n r_i m_i. \quad (12)$$

Образующийся над адсорбентом пар находится в равновесии с конденсированной жидкостью, имеет одинаковый состав в свободном объёме десорбера и мгновенно отводится в конденсатор.

При этом скорость изменения концентрации i -го компонента в паровой смеси определяется на основе дифференциального уравнения материального баланса простой перегонки:

$$dm_i = \frac{m_i}{U} \left[\frac{\ln(A_i - B_i/T_m)}{\sum_{i=1}^n m_i (A_i - B_i/T_m)} \right] dU. \quad (13)$$

Общее давление в десорбере зависит от состава удаляемой смеси паров и подчиняется закону Дальтона:

$$P = \sum_{i=1}^n \left[\frac{m_i \ln(A_i - B_i/T_m)}{\mu_i \sum_{i=1}^n m_i / \mu_i} \right]. \quad (14)$$

Понижение давления в десорбере осуществляется за счёт отвода газа вакуумным насосом и конденсации смеси паров на охлаждающих поверхностях.

Математическое описание процесса конденсации паров сводится к уравнению теплового баланса:

$$dQ = M_0 \left[\sum_{i=1}^n (U_n - U) C_{жci} dT_m - U \sum_{i=1}^n r_i m_i - dU \sum_{i=1}^n r_i m_i \right], \quad (15)$$

а расчётная производительность холодильного агента определяется по формуле: $N_x = dQ/d\tau$.

Вторая стадия десорбции представляет собой теплообмен в слое агента при радиальной фильтрации теплоносителя. Процесс десорбции понижением давления осуществляется в адиабатических условиях,

при этом количество десорбирующего пара растворителя зависит от изменения теплосодержания и остаточного давления в аппарате. Периодический подвод тепла к адсорбенту обеспечивает высокую скорость испарения адсорбированного растворителя. Поэтому для устранения выделения паров растворителя в окружающую среду нагрев адсорбента осуществляют конвекцией в замкнутом цикле теплоносителя. Дифференциальное уравнение переноса энергии для парогазовой смеси в цилиндрических координатах при равномерном распределении теплоносителя в слое адсорбента записывается в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{Q_v}{F\varepsilon} \cdot \frac{\partial T}{\partial R_{an}} = \frac{\alpha f (T_m - T)}{C_{cm} \rho_{cm} \varepsilon}, \quad (16)$$

а дифференциальное уравнение теплового баланса для адсорбента без учёта термического сопротивления гранул активированного угля имеет вид:

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \frac{\alpha f (T - T_m)}{C \rho_0 (1 - \varepsilon)}. \quad (17)$$

Краевые условия для системы уравнений (16), (17) можно записать как граничные условия (ГУ):

$$T(\tau, R_{an,m}) = T_n = \text{const}. \quad (18)$$

Начальные условия (НУ):

$$\begin{cases} T_m(0, R_{an}) = T_{mn}; \\ T(0, R_{an}) = T_{mn}. \end{cases} \quad (19)$$

Для гранул адсорбента, обладающих термическим сопротивлением, теплообмен с парогазовой смесью осуществляется в сочетании с теплопроводностью внутри самой гранулы:

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} + \frac{T}{x} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial x} \right]. \quad (20)$$

В этом случае краевые условия (18–19) дополняются ГУ третьего рода:

$$\lambda \left(\frac{\partial T_m}{\partial x} \right)_{x=R_m} = \alpha (T_m - T) \quad (21)$$

и условием симметричности: $\left. \frac{\partial T_m}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$.

Нагрев адсорбента парогазовой смесью обеспечивает перераспределение паров по сечению гранул. Начальные условия перед последующей стадией вакуумирования могут быть записаны аналогично формулам (19), если $U(0, R_{an}, x) = U_n$.

Третьей стадией десорбции является удаление паров из капиллярно-пористого адсорбента понижением давления во втором периоде процесса. В этом процессе наблюдается постепенное углубление зоны

испарения вглубь гранул. Описание процесса можно представить в следующем виде:

$$U_{li} = (U_{ni} - U_{\zeta i}) \frac{x - R_m}{\zeta} + U_{ni}; \quad (22)$$

$$T_{1m} = (T_{m\eta} - T_{m\zeta}) \frac{x - R_m}{\zeta} + T_{m\eta}; \quad (23)$$

$$U_{2i} = U_{\zeta i} - (U_{\zeta i} - U_{\zeta i}) \left[\frac{x}{R_m - \zeta} \right]^2; \quad (24)$$

$$T_{2m} = T_{m\zeta} - (T_{m\zeta} - T_{m\zeta}) \left[\frac{x}{R_m - \zeta} \right]^2. \quad (25)$$

Граничные условия для системы уравнений (22–25) записываются по зонам.

- Зона испарения:

$$\left. \begin{aligned} T_{m\eta} &= T; \\ \alpha_{mli} \rho_0 \frac{U_{ni} - U_{\zeta i}}{\zeta} + \alpha_{mli} \rho_0 \frac{T_{m\eta} - T_m}{\zeta} + K_p \frac{P_i - P_{\zeta i}}{\zeta} - \\ &- j_{ni}(\tau) = 0; \\ U_{ni} &= \alpha_{\phi i} (P_i / P_{mi})^{n_i}. \end{aligned} \right\}$$

- Зона, содержащая пары растворителя:

$$\left[\begin{aligned} \lambda_1 \frac{T_{m\eta} - T_{m\zeta}}{\zeta} &= -\lambda_2 \left[\frac{r}{R_m - \zeta} (T_{m\zeta} - T_{m\eta}) \right] - \sum_{i=1}^n r_i j_i(\tau); \\ \alpha_{mli} \left(\frac{U_{ni} - U_{\zeta i}}{\zeta} + \delta_{li} \cdot \frac{T_{m\eta} - T_{m\zeta}}{\zeta} + \frac{K_p}{\rho_0} \cdot \frac{P_i - P_{\zeta i}}{\zeta} \right) &= \\ &= 2\alpha_{m2i} \left(\frac{U_{\zeta i} - U_{\zeta i}}{R_m - \zeta} + \delta_{2i} \cdot \frac{T_{m\zeta} - T_{m\zeta}}{R_m - \zeta} \right). \end{aligned} \right]$$

Скорость углубления поверхности испарения ζ определяется по известной методике, основанной на анализе температурных кривых, и в общем виде может быть представлена уравнением регрессии:

$$\zeta(\tau) = b_0 + b_1\tau + b_1\tau + b_2\tau^2 + b_3\tau^3 + \dots \quad (26)$$

Связь между температурой адсорбента и парциальным давлением i -го компонента на поверхности испарения определяется уравнением:

$$P_{\zeta i} = \exp \left\{ \left(A_i - \frac{B_i}{T_{m\zeta}} \right) + \left(-\frac{2\sigma_i \rho_{np1}}{\rho_{\text{жс}i} r_k \ln(A_i - B_i / T_{m\zeta})} \right) \right\}. \quad (27)$$

Поток паров по i -му компоненту $j_{ni}(\tau)$ зависит

от режима работы конденсатора и может быть определён по уравнению (15), а скорости изменения парциальных давлений компонентов $dP_i/d\tau$ и температуры паровой смеси $dT/d\tau$ – по уравнению материального и теплового балансов.

Блок-схема алгоритма расчёта процесса десорбции по математической модели, представленной системой уравнений (11–27), приведена на рис. 5.

Расчёт по этому алгоритму ведётся в следующей последовательности. После ввода исходных данных, представляющих собой сведения о теплофизических характеристиках конденсированных жидкостей, паров, газа, насыщенного адсорбента и свойств дисперсного слоя, ЭВМ проверяет условие, по которому определяется дальнейший порядок вычислительных операций. Если начальное содержание паров в адсорбенте больше содержания паров в первой критической точке ($U > U_{кр1}$), то расчёт ведётся по уравнениям (11–14), относящимся к первому периоду десорбции. При ($U < U_{кр1}$) расчёт ведётся по уравнениям (22–27), описывающим процесс десорбции во втором периоде. Одновременно с расчётом кинетики процесса определяются режимные параметры системы конденсации по уравнениям (15), после чего проверяется соотношение между остаточным давлением в десорбере и заданным оптимальным значением. Если остаточное давление в десорбере ниже заданного, то процесс нагрева слоя адсорбента рассчитывается без учёта термического сопротивления гранул ($\lambda > \lambda_{эф}$) или с его учётом. Расчёт прекращается при достижении конечного значения содержания паров растворителя в адсорбенте.

Для решения системы уравнений (11–27) необходимо использовать численные методы расчёта. Проверка адекватности полученной математической модели осуществлялась в производственных условиях

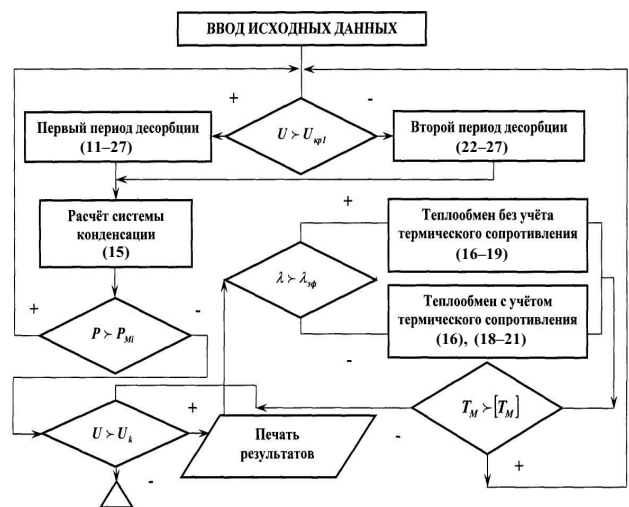


Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчёта

Fig 5. Scheme of calculation algorithm

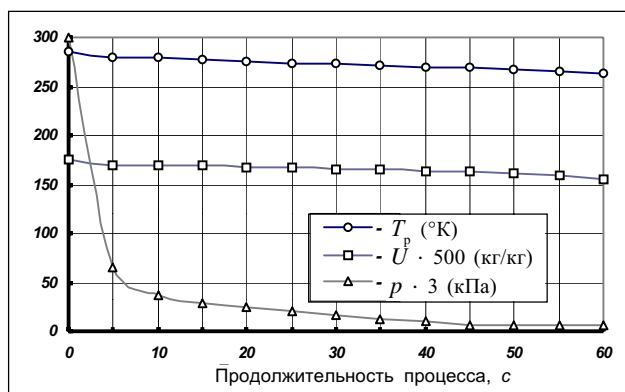


Рис. 6. Зависимость температуры адсорбента, количества десорбированного растворителя и остаточного давления от продолжительности первого периода процесса десорбции

Fig 6. Dependence of adsorbent temperature, amount of desorption solution and residual pressure on the duration of the first period of the desorption process

ОАО «Шинный комплекс «АМТЕЛ – Черноземье» с применением лабораторной адсорбционной установки с электроконтактным подводом тепла. Полученные результаты статистической обработки экспериментальных и расчётных данных представлены на рис. 6.

Представленные данные подтверждают, что разработанная математическая модель удовлетворительно описывает первый период десорбции на лабораторной установке. Расхождение между экспериментальными и расчётными значениями не превышает 7–8 %.

Выводы свидетельствуют о возможности использования модели для описания первого периода на опытно-промышленном образце.

6. Заключение

Разработанные и принятые к реализации на ОАО «Шинный комплекс «Амтел-Черноземье» концепции природоохранной стратегии производства шинных

изделий на основании решения экологических проблем характеризуются:

1) использованием новых ресурсо-, энергосберегающих и экологически безопасных технологий на каждой операции заготовительного производства деталей шин;

2) нетрадиционным конструкционным оформлением наиболее эффективных способов улавливания и рекуперации вредных газообразных выбросов;

3) использованием экологически полноценных ингредиентов резиновых смесей на заготовительных стадиях, что предопределяет необходимость внедрения новаторских разработок и комплексных НИР.

Литература

1. Сырицын, Л. М. Моделирование процессов формообразования, транспортирования и технологической обработки протекторного полотна в системах с несущими прослойками. Москва: ТУП «НИИШП», 2003. 405 с.
2. Сырицын, Л. М.; Власов, Г. Я.; Чемеринский, В. Б. Процесс десорбции вулканизационных газов при пониженном давлении и электроконтактном способе подвода тепла. *Химическая промышленность*, т. 81, № 11, 2004, с. 584–587.
3. Власов, Г. Я.; Сырицын, Л. М.; Чемеринский, В. Б. Утилизация легколетучих компонентов в процессе вулканизации шин. *Вопросы химии и химической технологии*, № 5, 2004, с. 90–96.
4. Власов, Г. Я.; Сырицын, Л. М.; Чемеринский, В. Б. Метод расчёта параметров десорбции паров летучих соединений вентиляционных выбросов на шинных заводах. *Производство и использование эластомеров*, № 2, 2004, с. 27–31.
5. Власов, Г. Я.; Сырицын, Л. М.; Сафин, Р. Г., Чемеринский, В. Б. Улавливание газовых выбросов при вулканизации шин. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, № 9, 2004, с. 44–48.
6. Власов, Г. Я.; Сырицын, Л. М.; Чемеринский, В. Б. Исследование процесса газовых выбросов при вулканизации деталей шины. *Каучук и резина*, № 11, 2004, с. 18–25.

TECHNINIAI LAKIŲJŲ ORGANINIŲ JUNGINIŲ ADSORBAVIMO PADANGŲ DETALIŲ GAMYBOS METU TRANSPORTINIULOSE ĮRENGINIULOSE SU ORO GARŲ TARPSLUOKSNIAIS SPRENDIMAI

L. Syricyn, G. Vlasov, V. Čemerinskij

S a n t r a u k a

Išanalizuoti padangų detalių gamybos transportiniuose įrenginiuose su oro garų tarpsluoksniais techniniai ir ekologiniai aspektai. Klijavimo metu išsiskyrę lakieji organiniai junginiai adsorbuojami į oro garų tarpsluoksnį. Straipsnyje pateikta adsorbento, prisotinto naudojant elektrokontaktinę šilumą, schema. Pateikti matematinio modeliavimo rezultatai leidžia geriau įvertinti lakiųjų organinių junginių adsorbicijos procesą.

Raktažodžiai: klijavimas, padangų detalių gamyba, oro garų tarpsluoksnis, adsorbicijos procesas, lakieji organiniai junginiai.

Leonid SYRITSYN, Genadij VLASOV, Viatcheslav TCHEMERINSKI. OAO Complex „AMTEL-Chernozemje“, Russia, 394074 Voronezh, Rostovskaja 41, E-mail: tchemerinski@amteltire.ru

Research interests: assembling / adhesive formulation, tread strip, adhesive film, air-steam carrying interlayer, adsorption process, volatile compounds.