

ВАКУУМНО-ТЕМПЕРАТУРНАЯ СУШКА ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

М.В. Елфимова;

Г.Ф. Архипов, кандидат технических наук, доцент. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлены недостатки существующей системы обслуживания пожарных рукавов. Перечислены методы вакуумной сушки изделий, показаны закономерности удаления влаги с материалов. Для сушки напорных пожарных рукавов предложен вакуумно-температурный метод сушки пожарных рукавов, основанный на принципе интенсивного испарения жидкостей при повышенной температуре в условиях пониженного давления окружающей среды. Приведены результаты экспериментальной отработки технологии и выбора оптимального времени вакуумно-температурной сушки пожарных рукавов.

Ключевые слова: методы сушки, вакуумно-температурная сушка, экспериментальная отработка технологии

VACUUM-WARM-UP DRYING OF FIRE HOSES

M.V. Elfimova; G.F. Arhipov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Lacks of existing system of service of fire hoses are presented. Methods of vacuum drying of products are listed; the basic physical laws of removal of moisture from materials are stated. For drying of delivery fire hoses the vacuum-warm-up method of drying of the fire hoses, based on a principle of intensive evaporation of liquids is offered at the raised temperature in the conditions of the lowered pressure of environment. Results of experimental working off of technology and choice of optimum time of vacuum-warm-up drying of fire hoses are resulted.

Key words: methods of the drying, vacuum-warm up drying, experimental work-off of technologies

В федеральной противопожарной службе МЧС России на сегодняшний день слабым звеном в существующей системе технического обслуживания является сушка пожарных рукавов. Для обеспечения сушки пожарных рукавов промышленностью выпущен ряд специализированного оборудования, в который заложен общий принцип – продувка горячим воздухом. Настоящая система обслуживания требует значительного времени на постановку пожарных рукавов в боевой расчет, а также недостатком системы является и некачественное обслуживание, что приводит к частым ремонтам пожарных рукавов, быстрому их износу и списанию. Существующие виды сушилок не позволяют качественно проводить сушку пожарных рукавов [1]. Некачественная сушка приводит к плохому хранению пожарных рукавов и значительному уменьшению срока их эксплуатации. В связи с этим предложен способ сушки пожарных рукавов, основанный на принципе интенсивного испарения жидкостей при повышенной температуре в условиях пониженного давления окружающей среды.

Удаление жидкости производится одним из следующих методов сушки: конвективным, температурным, односторонним вакуумированием, общим вакуумированием, комбинированным, вакуумно-температурным.

При выборе метода сушки необходимо учитывать особенности изделия и требования, предъявляемые к нему, а также допустимые режимы нагрева материала изделия.

Под конвективным методом сушки [2] надо понимать сушку изделия путем обдува внутренней или внешней поверхностей его горячим воздухом, при этом длительность сушки должна быть увеличена на 20 %. Допускается сушка изделий с применением воздуха,

подогретого до температуры не ниже 40 °С. Изделия необходимо сушить в специальной камере, оборудованной естественной или искусственной вентиляцией. Температура воздуха в помещении должна быть не ниже 15 °С, влажность не более 80 %.

Под температурным методом сушки изделий следует понимать сушку в термокамере, термошкафу или в помещении при естественных условиях. Сушка изделий производится при температуре выше 15 °С и относительной влажности до 60 %. Допускается сушка изделий в камере при температуре от 40 °С и более, и относительной влажности воздуха в помещении до 80 %, при этом продолжительность сушки необходимо увеличивать на 20 % по сравнению с расчетной. Сушильная камера должна иметь естественную или искусственную вентиляцию. При общей сушке изделий данным методом при температуре более 80 °С рекомендуется производить периодическую продувку камеры и изделия в течение пяти минут воздухом, подогретым до температуры сушки. Периодичность продувки не менее одного раза в час.

Под методом одностороннего вакуумирования следует понимать сушку при таких условиях, когда вакуум создается с одной стороны стенки изделия. При сушке методом одностороннего вакуумирования изделие необходимо помещать в термокамеру или барокамеру; относительная влажность воздуха в помещении не должна превышать 80 %. При сушке изделий односторонним методом вакуумирования сначала необходимо выйти на температурный режим, достичь заданной температуры стенки изделия, после чего включить вакуумный насос и обеспечить необходимый вакуум. Допускается сушка изделий методом одностороннего вакуумирования без помещения в термокамеру. В этом случае должен быть обеспечен равномерный обогрев изделий.

Под методом общего вакуумирования следует понимать сушку изделий в термобарокамере с обеспечением определенного вакуума в изделии и камере и температуры изделия, когда период нагрева чередуется с периодом выдержки без нагрева в соотношении 1:10 (первая цифра определяет период нагрева, вторая – выдержка без нагрева).

Комбинированный метод представляет собой сушку последовательно несколькими методами при различных температурах, в том числе и при естественных условиях (при температуре от 15 °С и выше) при различных величинах вакуума. Комбинированный метод сушки применяется в том случае, если продолжительность сушки изделия при максимально допустимой температуре или вакууме ограничена и недостаточна для полного удаления влаги; по технологическому циклу имеется большой промежуток времени между операциями сушки, который может быть использован для температуры сушки в естественных условиях, если относительная влажность воздуха в помещении до 60 %; пропускная способность оборудования недостаточна.

Изыскивая пути совершенствования обслуживания пожарных рукавов, снижение затрат при эксплуатации и снижения времени простоя при сушке, предложен способ сушки пожарных рукавов, который основан на принципе интенсивного испарения жидкостей при повышенной температуре в условиях пониженного давления окружающей среды.

Вакуумно-температурный метод представляет собой сушку изделия в установке с обеспечением определенного вакуума и температуры изделия. При сушке данным методом сначала необходимо включить нагревательное устройство, а после достижения требуемой температуры сушки включить вакуумный насос и обеспечить необходимый вакуум [2]. Таким образом, из всех перечисленных методов вакуумной сушки изделий для сушки напорных пожарных рукавов наиболее подходящим является метод вакуумно-температурной сушки.

Вакуумно-температурная сушка является сложным технологическим процессом, зависящим от большего количества факторов, знание которых существенно для анализа и расчета процесса. Некоторые изделия с ограниченной температурой нагрева с целью ускорения выпаривания влаги сушат при пониженном давлении. Во всех случаях при вакуумно-температурной сушке удаляется (в виде пара или жидкости) легколетучий

компонент (вода, органический растворитель, смесь). Влагосодержанием тела U называется отношение массы влаги W , содержащийся в теле, к массе сухого тела G :

$$U = W/G.$$

При изложении практических вопросов сушки обычно пользуются понятием влажности тела ω :

$$\omega = W/ W+ G$$

где W – масса влаги; G – масса сухого тела.

Из предыдущих соотношений следует:

$$\omega = U/1+U \quad (1)$$

При малых значениях влагосодержания ($U \ll 1$) величина $(1+U)$ в (1) почти равна единице и влажность тела почти не отличается от его влагосодержания.

В процессе вакуумно-температурной сушки влажное тело стремится к состоянию равновесия с окружающей средой, поэтому влагосодержание тела U и температура T зависят от времени τ и от координат точки тела x_1, x_2, x_3 :

$$U = U(x_1, x_2, x_3, \tau)$$
$$T = T(x_1, x_2, x_3, \tau).$$

Данные зависимости характеризуют кинетику процессов сушки и нагрева. Интенсивность сушки определяется скоростью сушки, которая уменьшается и обычно стремится к нулю

$$dU / d \tau = 0$$

Одним из наиболее существенных параметров, определяющих продолжительность сушки, является масса несливаемого остатка жидкости и характер его распределения во внутренних полостях осушиваемых изделий. По широко распространенной в настоящее время в сушильной технике классификации видов связи влаги с материалом общая масса жидкости, оставшаяся в изделии после слива, может быть определена, как:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4,$$

где G_1 – масса адсорбционно-связанной жидкости; G_2 – масса жидкости, связанной в капиллярах; G_3 – масса жидкости смачивания; G_4 – масса свободной жидкости.

Каждый вид жидкости может удаляться разным способом. Например, свободная жидкость может удаляться путем отсасывания, продувки, протирки или испарения; жидкость смачивания – путем испарения или протирки; капиллярная жидкость – путем испарения или под давлением, превышающим капиллярное; адсорбционно-связанная жидкость удаляется только испарением. Под связанной понимается жидкость, адсорбируемая из окружающего воздуха на внешних и внутренних макромолекул, и жидкость капилляров. Для определения массы адсорбционно-связанной жидкости используется несколько методов, из которых наиболее распространенным является метод дифференциальной теплоты набухания материала. Сущность метода состоит в том, что строится экспериментальная кривая «теплота смачивания – начальное влагосодержание» (рис.1).

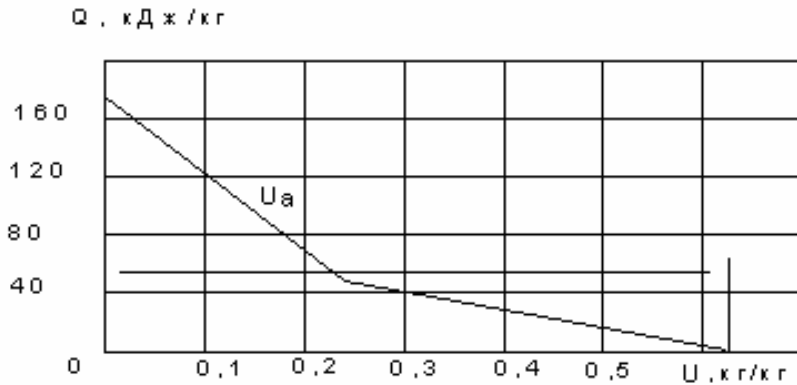


Рис.1. Зависимость между теплотой смачивания Q и начальным влагосодержанием U_a

По точке пересечения кривой с осью влагосодержания определяется максимальное удельное содержание влаги U_a , поглощаемое материалом с выделением теплоты. Это содержание принимается равным массе адсорбционно-связанной жидкости. Согласно многочисленным экспериментам, толщина адсорбционных слоев составляет $(1-3) \cdot 10^{-5}$ см.

При нормальном барометрическом давлении заполняются только микрокапилляры, радиус которых не превышает 10^{-5} см. Причем сорбция пара из влажного воздуха происходит независимо от смачивания стенок капилляра. Необходимым условием сорбции является только удовлетворение неравенства

$$p'_s \geq p_n,$$

где p'_s – давление насыщенного пара над жидкостным мениском в капилляре; p_n – парциальное давление в окружающей среде.

Масса жидкости, попадающая в капилляр, определяется с помощью дифференциального уравнения жидкости в одиночном капилляре:

$$\frac{d^2 h}{d\tau^2} + \frac{1 \cdot (dh)^2}{h \cdot (d\tau)} + \frac{8\eta'}{r^2 \rho_{ж}} \cdot \frac{dh}{d\tau} + g \cdot \sin \varphi - \frac{2\delta \cdot \cos g}{r \rho_{ж} \cdot h} = 0$$

где h – длина заполненной части капилляра; η' – коэффициент динамической вязкости; g – ускорение свободного падения; τ – время контакта капилляра с жидкостью; φ – угол наклона капилляра к горизонту; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; δ – толщина жидкостной пленки; r – радиус капилляра.

Данная формула используется для пористых материалов. После преобразования формулы с учетом выбора и исключения, имеющих невысокие значения, для воды с температурой 20°C при полном смачивании формула принимает вид:

$$h_{\max} = 46 \sqrt{r \cdot \tau}.$$

К смачивающей жидкости относится тонкая пленка, образующаяся на освобождаемых поверхностях при сливе за счет поверхностного натяжения. Общая масса жидкости, содержащаяся в этой пленке, равна:

$$G_3 = \rho_{жк} \delta_в F_в + \rho_{жк} \delta_г F_г,$$

где $F_в$ – освобождаемая при сливе площадь поверхности вертикальных элементов изделия; $F_г$ – освобождаемая при сливе площадь поверхности горизонтальных элементов изделия; $\delta_в$ и $\delta_г$ – толщины жидкостной пленки, образующейся на вертикальных и горизонтальных поверхностях, освобождаемых при сливе элементов изделия.

Поверхность жидкостной пленки, образующейся на стенках изделия, имеет довольно сложную форму, которая зависит от физических свойств жидкости, скорости опускания ее уровня, а также чистоты и формы поверхности стенок. Однако при расчете суммарной массы несливаемых остатков жидкости достаточно знать толщину пленки, осредненной по всей смоченной поверхности. В общем случае толщину пленки можно представить в виде функции от скорости опускания, плотности, коэффициента динамической вязкости и коэффициента поверхностного натяжения, то есть:

$$\delta = f(W, \tau, g, \rho, \eta, \sigma).$$

Это уравнение выражает зависимость между семью размерными величинами. Свободную жидкость составляют гидравлические остатки после слива жидкости из изделия. Обычно точное количество определяется весовым способом, основанном на измерении массы жидкости по разности результатов «мокрого» и сухого изделия. Однако такой способ применим только для изделий с небольшой массой. В противном случае погрешность взвешивания оказывается сравнимой с определяемой массой жидкости, и ошибка в нахождении массы жидкости весовым способом будет весьма значительной.

Известно, что интенсивность испарения зависит от температуры испаряющейся жидкости и окружающего давления. Уменьшение давления при неизменной температуре испаряемой жидкости резко увеличивает скорость испарения. Это приводит к возрастанию затрат теплоты на фазовые превращения жидкости в пар. Жидкость быстро охлаждается, интенсивность испарения падает. Поэтому, чтобы процесс испарения и сопровождающие процессы теплообмена протекали беспрепятственно, к поверхности жидкости необходимо подводить определенное количество теплоты.

Экспериментальные отработки технологии и выбор оптимального времени вакуумной сушки пожарных рукавов проводились в четыре этапа. Целью каждого этапа являлось определение оптимального времени, необходимого для сушки латексированного пожарного рукава с покрытием из синтетических нитей диаметром 77 мм [2, 3]. Результаты проведения испытаний представлены в таблице и на рис. 2.

Таблица. Результаты проведения испытаний латексированного пожарного рукава с покрытием из синтетических нитей диаметром 77 мм

| Результаты проведения испытаний | Время вакуумирования, ч | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Вес рукава после сушки, кг | 11,815 | 11,230 | 10,120 | 9,735 | 9,735 |
| Вывод | Рукав не высох | Рукав не высох | Рукав высох | Рукав пересох | Рукав пересох |

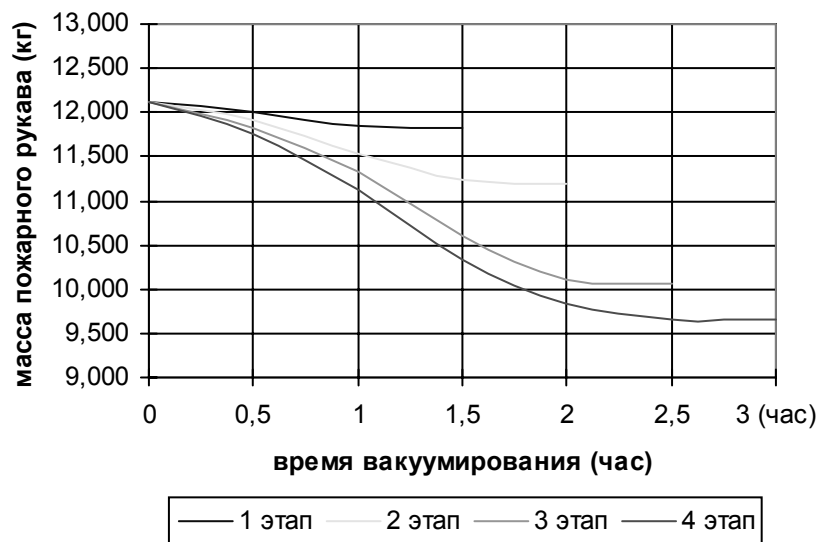


Рис. 2. График времени сушки латексированного рукава с покрытием из синтетических нитей диаметром 77 мм

В результате проведенного эксперимента оптимальное время сушки для латексированного рукава составляет два часа.

Таким образом, способ вакуумно-температурной сушки пожарных рукавов показал себя с положительной стороны и позволяет устранить недостатки существующей сушки рукавов. В настоящее время проводится ряд экспериментов с пожарными рукавами различного типа и диаметра.

Литература

1. Безбородько М.Д. Пожарная техника. М.: АГПС МЧС России, 2004. 550 с.
2. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М., 2004. 715 с.