

УДК 677.017.2/7

DOI (заполняется редакцией)

**ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРПРОНИЦАЕМОСТИ И ПАРОЁМКОСТИ
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**EXPRESS METHOD FOR ASSESSING THE VAPOR PERMEABILITY AND VAPOR
CAPACITY OF FIBROUS MATERIALS**

И.А. ШЕРОМОВА¹, А.С. ЖЕЛЕЗНЯКОВ¹

I.A. SHEROMOVA¹, A.S. ZHELEZNYAKOV¹

(¹ФГБОУ ВО «Владивостокский Государственный университет», Владивосток, Россия)

(¹Vladivostok State University (VVSU), Vladivostok, Russia)

E-mail: Irina.Sheromova@mail.ru

В работе рассматриваются разработанное устройство и результаты исследований экспресс-метода для оценки паропроницаемости и пароемкости текстильных материалов. Выполнены поисковые научные исследования существующей методической и технической базы для определения массообменных характеристик материалов легкой промышленности при взаимодействии с газообразными средами различной природы, выявлены основные недостатки, в том числе ограничения по технологическим возможностям и области применения, длительность проведения эксперимента, что указывает на необходимость ее совершенствования. На основе результатов патентного поиска и анализа специальной литературы предложено техническое решение для оценки паропроницаемости и пароемкости волокнистых композитов, отличающееся от известных аналогов широкими технологическими возможностями, в том числе использованием компьютерных технологий для регистрации искомых параметров и формирования электронной базы данных. Апробация предлагаемого устройства, выполненная на базе специально созданного экспериментального стенда, конструктивно и функционально базирующегося на разработанном техническом решении, и результаты проведенных исследований доказали работоспособность и целесообразность его использования для оценки рассматриваемых массообменных характеристик свойств волокнистых материалов. В ходе апробации определены фактические затраты времени на проведение испытаний, свидетельствующие о том, что реализуемый с помощью устройства метод можно отнести к разряду экспресс-методов.

The exploratory scientific research of the existing methodological and technical

basis for determining the mass transfer characteristics of light industry materials when interacting with gaseous media of various natures, carried out in the work, indicates the presence of its significant shortcomings. Among the identified problems, there were, among other things, limitations in the technological capabilities of existing devices, the scope of their application and the duration of the experiment, which indicates the need to develop new technical and methodological solutions. The purpose of the work is to develop a device and conduct research on an express method for assessing the vapor permeability and vapor capacity of textile materials. Based on the results of a patent search and analysis of specialized literature, a technical solution has been proposed for assessing the named parameters of fiber composites, which differs from known analogues in its wide technological capabilities, including the use of computer technology to register the required parameters and generate an electronic database. Approbation of the proposed device, carried out on the basis of a specially created experimental stand, structurally and functionally based on the developed technical solution, and the results of the studies proved the performance and feasibility of its use for assessing the considered mass transfer characteristics of the properties of fibrous materials. During testing, the actual time spent on testing was determined, indicating that the method implemented using the device can be classified as an express method for determining the vapor permeability and vapor capacity of textile fabrics.

Ключевые слова: материалы легкой промышленности, волокнистые композиты, массообменные характеристики, паропроницаемость и пароемкость, оценка свойств, техническая и методическая база, техническое устройство, экспресс-метод, компьютерные технологии

Keywords: light industry materials, fiber composites, mass transfer characteristics, vapor permeability and vapor capacity, properties assessment, technical and methodological base, technical device, express method, computer technology

Введение

При проектировании одежды из текстиля и композиционных материалов практически любого назначения, а также иных изделий легкой промышленности, надеваемых на тело человека, для выполнения всего комплекса требований необходимо учитывать вид материала, особенности его строения, физико-механические свойства и перечень массообменных характеристик. К массообменным характеристикам материалов относятся, в том числе, характеристики проницаемости и поглощения.

Одной из важнейших массообменных характеристик является паропроницаемость, характеризующая способность материалов, в том числе волокнистых, к проникновению парообразной влаги и паров различных техногенных сред. За счет проницаемости через материал водяных паров при соответствующем сырьевом составе можно

обеспечить удовлетворительные параметры микроклимата в пододежном пространстве даже для изделий из плотных материалов, обладающих незначительной воздухопроницаемостью. Уровень проницаемости паров техногенных сред через материал специального назначения, в числе прочих характеристик, определяет его защитную способность. Проникновение паров через толщу материала сопровождается их частичным поглощением, т.е. свойства материалов при проникновении паров веществ можно дополнительно характеризовать еще и пароемкостью.

Паропроницаемость определяется как природными свойствами волокон и структурой материала (видом, формой, размерами, количеством пор, состоянием поверхности, плотностью, толщиной и т.п.), так и рядом факторов, не имеющих отношения к

материалу как таковому, в частности, физическими и режимными параметрами воздухообмена, температурным перепадом и относительной влажностью воздуха с обеих сторон материала [1, 2], давлением водяных паров [3] и др. Этим объясняется изменение в широких пределах измеряемых параметров и непредсказуемость истинных значений паропроницаемости и пароемкости материалов.

Основной количественной характеристикой названного свойства материалов является коэффициент паропроницаемости, значение которого для одежных текстильных полотен в среднем находится в интервале от 1,1 до 1,7 мг/(м²ч). Учитывая, что величина показателя в значительной степени изменяется под влиянием таких факторов, как перепад температуры и давления проникающей среды, а также относительной влажности воздуха, применительно к одежде бытового назначения для приближения условий испытаний к условиям эксплуатации целесообразно проводить измерение характеристик паропроницаемости при температуре воздуха, соответствующей температуре тела человека (35-36,2⁰С).

На практике при оценке массообменных характеристик одежных полотен вышеназванные характеристики могут определяться как в изотермических, так и неизотермических условиях. Изотермические условия проведения испытаний предполагают равенство и постоянство температуры паровоздушной среды над и под пробой материала (20±2)⁰С. При соблюдении неизотермических условий эксперимента разница температур паровоздушной среды над и под пробой материала поддерживается постоянной на протяжении всего испытания, при этом температура над пробой меньше температуры под пробой материала.

Следует отметить, что стандартизированный метод определения паропроницаемости текстильных материалов бытового назначения отсутствует. Известен только стандартный метод испытаний, предназначенный для оценки названной характеристики свойств мембранных материалов и швов в специальной одежде для защиты от

химических веществ (ГОСТ Р 12.4.287-2013).

В практической сфере при исследовании паропроницаемости одежных материалов при проникновении водяных паров широко используется достаточно простой метод, предусматривающий использование эксикатора для обеспечения постоянной влажности воздуха и проведение испытаний при температуре воды и воздуха 35-36,6⁰С и стабильности других параметров, что приближает условия эксперимента к условиям эксплуатации одежды. Однако данный метод имеет достаточно ограниченные технологические возможности, не позволяет работать с различными техногенными средами, требует длительного времени для получения искомых параметров и предполагает выполнение всех необходимых процедур в ручном режиме.

Анализ специальной литературы и патентный поиск глубиной более 40 лет позволили выявить более 30 методов и устройств, предназначенных для определения массообменных характеристик композиций, в том числе волокнистых, при взаимодействии с газообразными средами. В числе заслуживающих внимания методов с учетом цели настоящего исследования можно отметить установку [4] для определения паропроницаемости материалов в широком диапазоне положительных температур; устройство [5] для определения паропроницаемости с возможностью получения расширенного объема экспериментальных данных по сорбционным свойствам волокнисто-пористых материалов и пакетов бытового и специального назначения в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации; экспресс-метод [6] для оценки проницаемости текстильных полотен, устройство [7,8], позволяющее проводить исследования проницаемости и сорбционной способности волокнисто-пористых материалов и их пакетов в зависимости от температуры, влажности воздуха и интенсивности воздушного потока; методику [9] определения уровня паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов различной струк-

туры; портативное устройство для качественного экспресс-измерения паропрооницаемости пленочных материалов [10]; способ и устройство для оценки проницаемости газообразных сред композитных материалов [11,12] с записью результатов в электронную базу данных и др.

При анализе методической базы для определения показателей проницаемости одежных материалов при взаимодействии с газообразными средами, применяемой в международной практике [13,14,15], был выявлен целый ряд методов для исследования данных характеристик свойств текстильных и мембранных материалов, в том числе такие тесты для оценки паропрооницаемости, как: метод вращающейся платформы, тест с «вертикально стоящей чашкой» (JIS L 1099 A-1, Япония), тест с «перевернутой чашкой» (JIS L 1099 B-1, Япония), тест с «потеющей пластиной» или RET (ISO — 11092), модифицированный исследовательской лабораторией института Hohenstein RET-тест с дополнительным тестированием реальных образцов одежды носчиками на беговой дорожке и др.

Проведенный анализ показал, что практически все рассмотренные методы и технические средства имеют недостатки, ограничивающие возможности их применения. К наиболее существенным недостаткам, в той или иной степени присущим выявленным технико-технологическим решениям, можно отнести: ограничения по технологическим возможностям или области применения; длительность проведения испытаний; сложность конструктивного исполнения устройства и невозможность получения информации в электронном варианте при варьировании режимов обработки или действующих сред; отсутствие возможностей формирования электронной базы данных о результатах исследования.

Все выше перечисленное свидетельствует об актуальности и необходимости проведения дальнейших исследований в области разработки методической и технико-технологической базы для оценки паропрооницаемости и пароемкости материалов, используемых швейной промышленностью.

Таким образом целью настоящего исследования стала разработка нового экспресс-метода определения паропрооницаемости и пароемкости волокнистых композитов и технического решения для его реализации.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо было решить комплекс задач технической, технологической и исследовательской направленности, а именно: определить направления совершенствования исследовательской базы; разработать техническое решение устройства для реализации предлагаемого в работе экспресс метода оценки паропрооницаемости материалов и методику проведения испытаний; провести апробацию предлагаемых технико-технологических решений.

Методы

Для исследования теоретических аспектов и существующей методической и технико-технологической базы для определения паропрооницаемости различных материалов использован анализ специальной литературы, в том числе и контент-анализ, а также патентный поиск, глубина которого определялась давностью разработки и применения используемых на практике по настоящее время методов и устройств и составила более 40 лет.

Разработка устройства осуществлялась с применением общенаучных и инженерных методов и базировалась на положениях теории тепломассообмена. В основу расчета характеристик паропрооницаемости положено классическое уравнение состояния идеального газа.

Экспериментальные исследования проводились на базе специально изготовленного испытательного стенда с вариантом разработанного экспресс-метода оценки паропрооницаемости и пароемкости материалов, используемых при изготовлении швейных изделий.

Результаты исследования

По результатам научно-технического и патентного поиска было предложено техническое решение устройства, предназначенного для реализации экспресс-метода оценки паропрооницаемости и пароемкости композитных волокнистых материалов

(рис. 1 – структурно-кинематическая схема устройства: 1 – проба; 2 – парогенератор, редуктор давления; 3 и 4 – камеры; 5 – опора с шарниром и возможностью поворота рабочей камеры 4 и 6 – упруго-рычажный механизм; 7 и 9 – цифровые манометры; 10 – центральный затвор-шторка механического типа с замыкающимися сегментами поворотного типа; 11 и 12 – цифровые гигрометры; 13 и 14 – цифровые термометры; 15 – блок адаптеров; обеспечивающий интерфейс с цифровыми измерительными приборами; 16 – процессор; 17 – обратный клапан; 18 – сливные магистрали).

Рис.1

Устройство состоит из двух сообщающихся камер, между которыми закрепляют образец текстильного материала. В камеру 3 запускают паровоздушную среду, а после установившегося состояния процесса открывают мембрану перед образцом. Под действием избыточного парциального давления паровоздушная среда (ПВС) перетекает в камеру 4. Одновременно в обеих камерах измеряется температура, давление и влажность среды. При этом используются цифровые приборы: мультиметры и осциллограф HS4, подключенные к процессору 16 через интерфейс USB 15. Датчики давления, хромель-алюмелевые термопары и цифровой осциллограф Tie-PieHS4 входят в комплект цифрового мультиметра APPA.

ПВС из парогенератора 2 подается в накопительную камеру 3 до установившегося состояния, затем открывается клапан-затвор 10, и накопленная ПВС перетекает в принимающую камеру 4. Измерение параметров процесса в обеих камерах проводится с помощью комплекта цифровых приборов. Исходя из результатов анализа собранных данных и начальных условий проведения эксперимента выполняется оценочный расчёт искомых параметров.

В ходе процесса измерения осуществляется регистрация температуры, давления, влажности ПВС в принимающей и нагнетательной камерах. После выравнивания дав-

лений в обеих камерах по синхронным графикам самописцев рассчитывается паропроницаемость исследуемого материала.

Если предположить, что водяные пары из паровоздушной среды частично впитываются волокнами образцов, то можно оценить пароемкость пробы. Для этого достаточно определить число молей паровоздушной среды в обеих камерах до открывания затвора и завершения процесса.

В массиве измеренных значений отражаются величины давления и температуры паровоздушной смеси в обеих камерах в ходе процесса и в момент равновесия. По расчётным формулам оценивается число молей водяных паров в принимающей камере и, следовательно, паропроницаемость.

Пароемкость определяется из разности числа молей паровоздушной среды в обеих камерах до начала процесса и после его завершения.

Расчёт оценочных параметров паропроницаемости и пароемкости пробы текстильного материала проводится, исходя из анализа массива данных, полученных с помощью Tie-PieHS4, согласно алгоритму программы (рис. 2 – блок-схема алгоритма программы для расчета параметров паропроницаемости и пароемкости).

Рис. 2

Для нахождения массы пара в обеих камерах определяется число молей соответственно.

В основу расчета положено классическое уравнение состояния идеального газа [13]:

$$\text{формула (1)}$$

где V – объём камеры, p – парциальное давление водяного пара в Па (паскалях), ν – количество водяных паров.

Парциальные давления водяного пара, P_a , рассчитываются по формуле 2 [13]:

$$\text{формула (2)}$$

где ϕ – относительная влажность воздуха, Θ – температура в градусах Цельсия.

Давление пара во влажном воздухе определяется как:

$$\text{формула (3)}$$

где p_{env} – давление паровоздушной смеси.

Следовательно,

формула (4)

где p_0 , T_0 – давление и температура до подачи паровоздушной среды в камеру, v определяется из измерений давления в накапливающей камере до отпирания затвора в камере:

формула (5)

В настоящей работе разработан и исследован специальный испытательный стенд, конструктивно и функционально базирующийся на техническом решении устройства (рис. 1) с возможностью решения задач экспресс-оценки паропроницаемости и пароемкости волокнистых материалов, где используется интерфейсный вариант компьютерной технологии, обеспечивающей формирование базы данных на электронных носителях информации. На базе разработанного стенда и компьютерной технологии проведены исследования искомых параметров на пробе из 3-х слоев бязи по ГОСТ 29298-2005 с поверхностной плотностью 140-145 г/м² и толщиной 0,25 мм и получены зависимости температуры и давления в накапливающей и принимающей камерах от времени (рис. 3 – экспериментальные графики зависимости режимных параметров в рабочих камерах от времени).

Рис.3

По зафиксированным данным значения давлений выравниваются на 890-й секунде и равняются 0.35 кгс/см² (см. рис. 3). Затвор открывали на 723-ей секунде, следовательно, время установления давлений в обеих камерах равняется 167с. Таким образом, общая длительность испытания составляет около 15 минут, что позволяет отнести предлагаемую компьютерную технологию определения параметров паропроницаемости и пароемкости к классу экспресс-методов.

ЛИТЕРАТУРА

При относительной влажности воздуха в принимающей камере, равной 100%, водяной пар находится в термодинамическом равновесии с жидкой фазой, следовательно, можно оценить парциальное давление водяных паров и рассчитать характеристики паропроницаемости и пароемкости исследуемого материала. Так, измеренное значение паропроницаемости 3-х слоев бязи составило 16,77 мг/см² час (рис. 4 – листинг Mathcad-программы расчёта паропроницаемости 3-х слоев бязи).

Рис. 4

Выводы

1. Проведены поисковые научные исследования существующих технических решений для измерения параметров паропроницаемости и пароемкости швейных материалов и на основе выявленных направлений совершенствования технической и методической базы для оценки названных характеристик разработана принципиально новая схема технического решения устройства для реализации предложенной компьютерной технологии.

2. Выполнена экспериментальная апробация предложенного технического решения, проведены необходимые исследования, позволившие установить фактическое время проведения испытаний, и получить оцифрованные результаты, характеризующие паропроницаемость и пароемкость исследуемого материала.

3. На основе полученных экспериментальных данных в сопоставлении с имеющимися результатами можно утверждать, что компьютерная технология оценки параметров паропроницаемости и пароемкости волокнистых и композитных материалов, реализуемая на основе предлагаемого устройства, может быть отнесена к классу экспресс-методов. Кроме того, в ходе экспериментальной апробации показана возможность формировать электронную базу данных по результатам исследования.

1. Куришин А.П. Закономерности изменения проницаемости пористых сред при фильтрационных течениях // Ученые записки ЦАГИ. – 2008, Т. XXXIX, № 1 – 2. С. 125-135.

2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник // Теплоэнергетика и теплотехника. Справочная серия. Кн. 2 / под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. 561 с.
3. *Thierry Duforestel, Imane Oubrahim, Rafik Belarbi, Hanaa El Hardouz, Mathilde Colmet Daïge* Assessment of the water vapor permeability: Effect of the total pressure // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2022, 196(2). – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123210
4. А.С. 1029051 СССР, МПК G 0 1N 15/08. Устройство для определения паропроницаемости пористых материалов / Чалых А.Е., Злобин В.Б., Андрианова Г.П. 3305290; заявлено 14.04.81; заявитель и патентообладатель Инс-т физ. химии АН СССР и Моск. технол. инс-т легкой пром-ти; опубл. 15.07.83, Бюл. 26.
5. Пат. 1819346 СССР, МПК G 01 N 15/08. Устройство для определения паропроницаемости текстильных материалов / Мычко А.А., Бегун В.П., Очкурено В.И. 4905409/25; заявлено 17.12.90; заявитель и патентообладатель ВНИИТ-БХП; опубл. 30.05.93, Бюл. 20.
6. *Луныков М.А., Куличенко А.В.* Разработка экспресс-метода оценки паропроницаемости текстильных полотен // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2007, № 3С (302). С. 24–26.
7. *Шустов Ю.С., Нечушкина Е.А.* Исследование паропроницаемости текстильных материалов и пакетов в динамических условиях // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2011, № 3 (332). С. 23–26.
8. Пат. 2276345 РФ, МПК⁷ G 01 N 15/08. Устройство для исследования паропроницаемости волокнисто-пористых материалов и их пакетов / Васильева Н.О., Степень Р.А., Нечушкина Е.А. 2005106448/28, заявлено 09.03.2005; заявитель и патентообладатель Красноярский гос. торгово-эконом. инс-т; опубл. 10.05.06, Бюл. 13.
9. *Ивашко Е.И., Буркин А.Н.* Методика определения паропроницаемости водозащитных материалов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2023, № 2 (45). С. 9–16. – DOI: doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-9-16
10. *Роенко (Дудник) А.О., Армеев Г.А., Трофимчук Е.С., Яминский И.В.* Портативная ячейка для качественной оценки паропроницаемости пленочных материалов // *Наноиндустрия*. – 2022, Т. 15, № 5. С. 308–318. – DOI: 10.22184/1993-8578.2022.15.5.308.318
11. *Sheromova I.A., Zheleznyakov A.S.* Development of methodological support for the study of materials' air permeability // *Materials Science Forum*. – 2018, Vol. 945. P. 938–943. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.938
12. Пат. 2550698 РФ, МПК⁷ G01N 7/00 Способ оценки воздухопроницаемости легкодеформируемых композитных материалов / Железняков А.С., Шеромова И.А., Старкова Г.П., Песцова А.А. 2014116359/28; заявлено 22.04.2014.; заявитель и патентообладатель Владивостокский гос. ун-т экономики и сервиса; опубл. 10.05.2015, Бюл. 13.
13. *Haghi A.K.* Mechanism of Heat and Mass Transfer in Moist Porous Materials // *Jurnal Teknologi*. – 2012, 36. – DOI: 10.11113/jt.v36.579
14. *Hu Y.* Measurement of Water Vapor Transmission Rate in Highly Permeable Films // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2001, Vol. 81. P. 1624–1633. – DOI: 10.1002/app. 1593
15. *McCullough Elizabeth A.* A comparison of standard methods for measuring water vapour permeability of fabrics // *Meas. Sci. Technol.* – 2003, Vol. 14. P. 1402–1408. – DOI: 10.1088/0957-0233/14/8/328

REFERENCES

- Kurshin A.P.* Patterns of changes in the permeability of porous media during filtration flows // *Scientific notes of CzAGI*. – 2008, XXXIX, 1 – 2. P. 125–135.
- Theoretical foundations of heat engineering. Thermal-technical experiment. Directory // *Heat power engineering and heat engineering. Reference series / under general ed. A. V. Klimenko, V. M. Zorina*. – Moscow: MEI Publishing House, 2007. 561 p.
- Thierry Duforestel, Imane Oubrahim, Rafik Belarbi, Hanaa El Hardouz, Mathilde Colmet Daïge* Assessment of the water vapor permeability: Effect of the total pressure // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2022, 196(2). – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123210
- Patent 1029051 USSR, IPC G 0 1N 15/08.* Device for determining the vapor permeability of porous materials / Chalykh A.E., Zlobin V.B., Andrianova G.P. 3305290; declared 04/14/81; publ. 07/15/83, Bulletin 26.
- Patent 1819346 USSR, IPC G 01 N 15/08.* Device for determining the vapor permeability of textile materials / Mychko A.A., Begun V.P., Ochurenko V.I. 4905409/25; declared 12/17/90; publ. 05/30/93, Bulletin 20.
- Lunkov M.A., Kulichenko A.V.* Development of an express method for assessing the vapor permeability of textile fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2007, 3С (302) P. 24–26.
- Shustov Yu.S., Nechushkina E.A.* Study of vapor permeability of textile materials and bags under dynamic conditions // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2011, 3 (332). P. 23–26.
- Patent 2276345 RU, IPC7 G 01 N 15/08.* Device for studying the vapor permeability of fibrous-porous materials and their packages / Vasilyeva N.O., Stepen R.A., Nechushkina E.A. 2005106448/28, declared 03/09/2005; publ. 05/10/06, Bulletin 13.
- Ivashko E.I., Burkin A.N.* Methodology for determining the vapor permeability of waterproof materials // *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta*. – 2023, 2 (45). P. 9–16. – DOI: doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-9-16
- Roenko (Dudnik) A.O., Armeev G.A., Trofimchuk E.S., Yaminsky I.V.* Portable cell for qualitative assessment of vapor permeability of film materials //

Nanoindustry. – 2022, Vol. 15, 5. P. 308–318. – DOI: 10.22184/1993-8578.2022.15.5.308.318

11. *Sheromova I.A., Zheleznyakov A.S.* Development of methodological support for the study of materials' air permeability // Materials Science Forum. – 2018, Vol. 945. P. 938–943. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.938

12. *Patent 2550698 RU, MPK7 G01N 7/00* Method for assessing the air permeability of easily deformable composite materials / Zheleznyakov A.S., Sheromova I.A., Starkova G.P., Pestsova A.A. 2014116359/28; declared 04/22/2014; publ. 05/10/2015, Bulletin 13.

13. *Haghi A.K.* Mechanism of Heat and Mass Transfer in Moist Porous Materials // Jurnal Teknologi. – 2012, 36. – DOI: 10.11113/jt.v36.579

14. *Hu Y.* Measurement of Water Vapor Transmission Rate in Highly Permeable Films // Journal of Applied Polymer Science. – 2001, Vol. 81. P. 1624–1633. – DOI: 10.1002/app. 1593

15. *McCullough Elizabeth A.* A comparison of standard methods for measuring water vapour permeability of fabrics // Meas. Sci. Technol. – 2003, Vol. 14. P. 1402–1408. – DOI: 10.1088/0957-0233/14/8/328

Рекомендована кафедрой Дизайна и технологий Владивостокского государственного университета. Поступила (дата не ставится).

1. Рисунки:

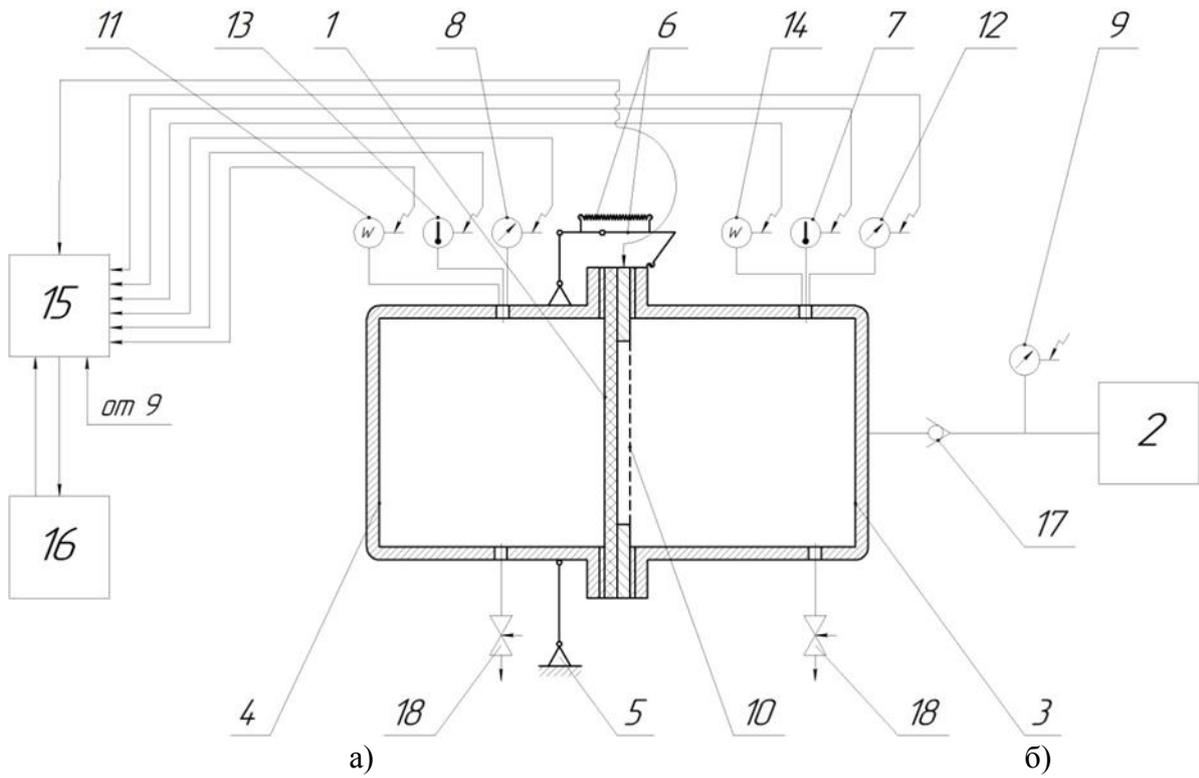


Рис. 1

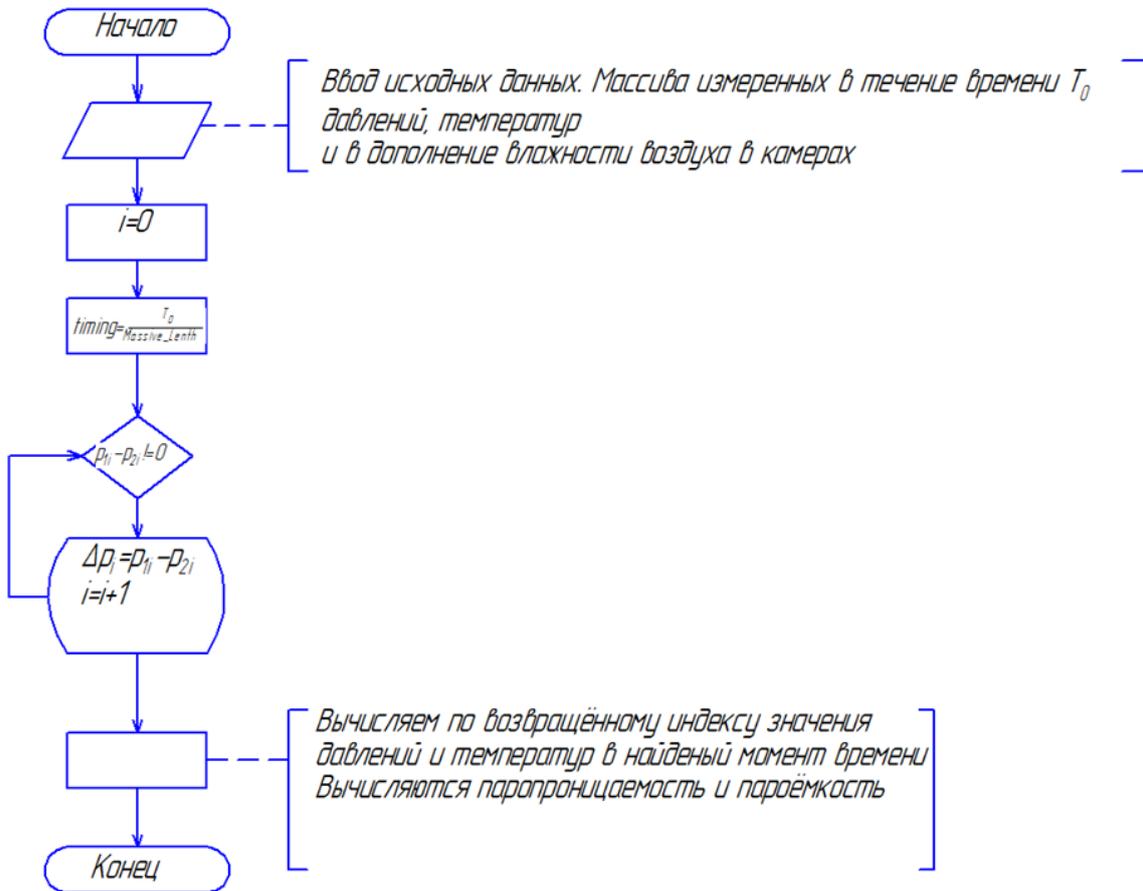


Рис. 2

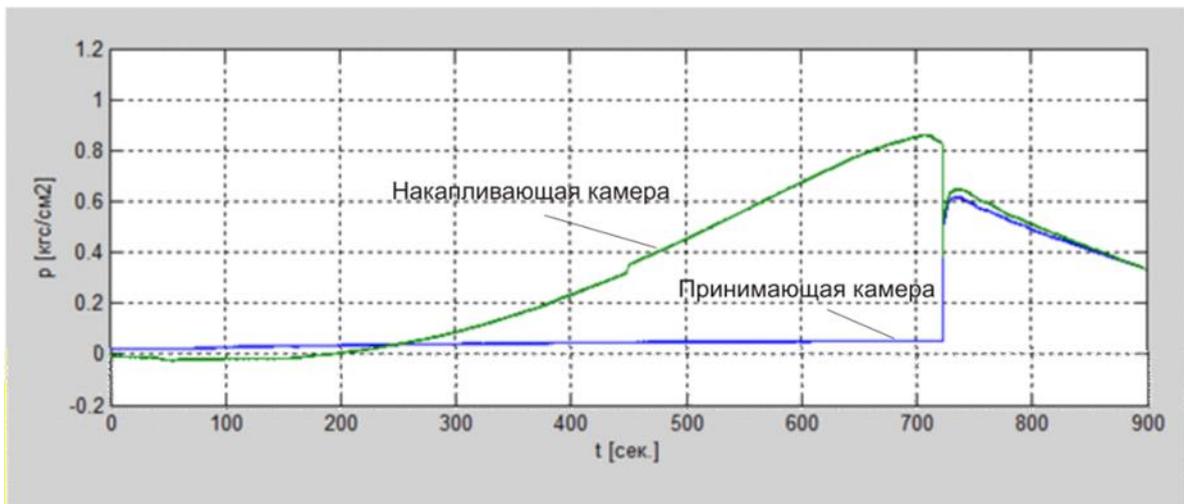


Рис. 3

$\frac{d}{dx}$ $\frac{d^n}{dx^n}$ ∞ \int_a^b $\sum_{k=1}^n$ $\prod_{i=1}^n$ \int \sum_n \prod_n $\lim_{a \rightarrow a}$ $\lim_{a \rightarrow a^+}$ $\lim_{a \rightarrow a^-}$ $\nabla_x f$

Мой веб-узел

$mgm := 10^{-3} \cdot gm$ $r := 0.5 \cdot 0.025 \cdot m$ $lenght1 := 200 \cdot mm + 60 \cdot mm$

$V1 := \pi \cdot r^2 \cdot lenght1$ $lenght2 := 200 \cdot mm$ $S_{sample} := \pi \cdot$

$Rg := \frac{J}{mol \cdot K}$ $V2 := \pi \cdot r^2 \cdot lenght2$ $V0 := V1 + V2$

$p0 := 745 \cdot torr$ $T0 := 20.5 \cdot ^\circ C$

V1 -объем накапливающей камеры
 V -объем принимающей камеры

$V0 = 0.226L$

$\tau_{выравнивания} := 167 \cdot sec$

Температуры в камерах после выравнивания давлений

$T_{set2_chamber1} := 64 \cdot ^\circ C$

$T_{set2_chamber2} := 30 \cdot ^\circ C$

Парциальное давление водяных паров в принимающей камере

$t2 := 30$ $\varphi := 1$

$P_{part_H2O_C2} := \varphi \cdot 6.112 \cdot e^{\frac{17.62 \cdot t2}{243.12 + t2}} \cdot 10^2 \cdot Pa$

Рис. 4

2. Формулы

$$p \cdot V = \nu \cdot RT, \quad (1)$$

$$p = \varphi \cdot 6.112 \cdot e^{\frac{17.62 \cdot \theta}{243.12 + t}} \cdot 10^2 \text{ Па}, \quad (2)$$

$$(p_{env}, t) = \left(1.0016 + 3.15 \cdot 10^{-6} p_{env} - \frac{0.074}{p_{env}} \right) \cdot 6.112 e^{\frac{17.62 \cdot t}{243.12 + t}}, \quad (3)$$

$$\nu = \frac{p \cdot V}{RT}, \quad \nu = \frac{p_0 V}{RT_0}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= (\nu_1) \cdot RT_1, \\ p_2 V_2 &= (\nu_2) \cdot RT_2, \quad \nu = \nu_1 + \nu_2 \end{aligned} \quad (5)$$