НИИСФ Госстроя СССР

Рекомендации

по определению фазового состава влаги в порах строительных материалов

Москва 1985

gost.e-ecolog.ru

Научно-исследовательский институт
строительной физики
(НИИСФ) Госстроя СССР

Рекомендации

по определению фазового состава влаги в порах строительных материалов

Москва Стройиздат 1985

УДК 691:539.217.2

Рекомендованы к изданию решением Научно-технического совета НИИСФ Госстроя СССР.

Рекомендации по определению фазового состава влаги в порах строительных материалов /НИИСФ – М.: Стройиздат, М.: Стройиздат, 1985. – 50 с.

Описаны методика и измерительная аппаратура для определения фазового состава влаги в пористых строительных материалах электрометрическим методом. Изложены физические концепции метода, причины появления и способы компенсации систематических ошибок, способы статистической обработки результатов измерения. Для обработки и интерпретации полученных результатов приведена программа для ЭВМ.

Для инженерно-технических работников, научно-исследовательских и проектных организаций.

Табл. 4, ил. 3.

Р 3203000000–709
047(01)–85 Инструкт.-нормат., II вып. –35–84

© Стройиздат, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

В НИИСФ на протяжении последних лет проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, связанный с физическим обоснованием электрометрического метода определения фазового состава влаги в материале, выявлением систематических ошибок измерений, их оценкой и уравновешиванием. Метод позволяет применять стандартную измерительную аппаратуру в совокупности с несложной дополнительной оснасткой. Для обработки получаемого массива экспериментальных данных разработана программа, позволяющая полученные данные редуцировать в виде математической модели, связывающей количество незамерзшей воды или льда с температурой и общим влагосодержанием локальной зоны исследуемого объекта (образца строительного материала или конструкции).

Рекомендации предназначены: для определения в лабораторных условиях фазового состава влаги в образцах строительных материалов при их различных исходных влагосодержаниях и температурах со сверткой полученной информации в виде математической модели и соответствующих статистических оценок и в натурных условиях для комплексного определения общего влагосодержания, количества незамерзшей воды и льда непосредственно для локальных зон измерения в строительных конструкциях.

Рекомендации разработаны в лаборатории долговечности ограждающих конструкций НИИСФ канд. техн. наук Ю.Д. Ясиным и содержат конкретные указания по использованию методики и аппаратуры, призванные помочь специалистам освоить рекомендуемый прогрессивный метод.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Фазовые переходы влаги (вода $\rightleftarrows$ лед), происходящие в порах капиллярно-пористых строительных материалов наружных ограждающих конструкций, оказывают существенное влияние на теплофизические качества и долговечность. Увеличение объема жидкой влаги в порах материала примерно на 9% при ее переходе в лед может вызвать существенное изменение в невыгодную сторону напряженно-деформированного состояния как самого материала, так и наружной ограждающей конструкции в целом. Существенное увеличение коэффициентов теплопроводности (в 4 раза) и температуропроводности (в 9 раз) жидкой влаги при переходе ее в лед оказывает также невыгодное влияние на теплофизические качества ограждений.

В связи с этим для прогнозирования долговременного состояния ограждающих конструкций зданий, находящихся при различных климатических и агрессивных воздействиях окружающей среды, или их оптимального проектирования необходимо располагать данными о фазовом составе влаги при различных локальных влагосодержаниях, температурах и количествах водорастворимых компонентов в материалах ограждений. Роль последних наряду с водорастворенными составляющими скелета материала играют также различные технологические добавки, способствующие структурообразованию (воздухововлекающие добавки, пено- и газообразователи и т.д.), добавки, препятствующие замерзанию бетонной смеси при зимнем бетонировании, аэрозоли солей, кислот и оснований, которые осаждаясь на поверхности ограждающих конструкций промышленных зданий, например, химических производств, мигрируют и накапливаются в их толще.

1.2. Фазовые превращения влаги существенно влияют и на степень морозостойкости материала, при этом при стандартном методе ее определения [1], предусматривающем водонасыщение образцов в течение 48 ч, они происходят как раз наиболее интенсивно. Знание

количественного соотношения фаз при различных влагосодержаниях и температурах, увязанное с напряженно-деформированным состоянием материала и его деструкцией, позволяет в конечном счете определенным образом связать достаточно абстрактную характеристику материала (морозостойкость) с его долговечностью непосредственно в строительной конструкции.

1.3. Строгое описание фазового равновесия в термодинамической системе осуществляется посредством той или иной характеристической функции, аргументами которой являются параметры состояния системы и составляющие компоненты последней [2]. С термодинамической точки зрения влажные капиллярно-пористые строительные материалы относятся к сложным гетерогенным многофазным системам. Водорастворимые компоненты или коллоидная составляющая скелета материала придают поровой влаге свойства ионных или коллоидных растворов, а развитая поверхность как самого пористого материала, так и продукта фазового превращения – льда – существенно влияет на эти свойства в прилегающих слоях раствора. Даже оставляя без рассмотрения другие аспекты проблемы, можно представить себе сложность и многообразие явлений, воздействующих на фазовые превращения. Кроме того, не все параметры, определяющие состояние системы, и составляющие ее компоненты могут быть непосредственно измеряемыми и управляемыми. Все это, как правило, не позволяет провести строгое термодинамическое описание фазового равновесия для влажных строительных материалов конструкций.

1.4. В этой ситуации наиболее оптимальным является кибернетический подход к изучению и интерпретации сложных систем. При этом термодинамическая система – влажный материал заменяется абстрактным объектом – "черным ящиком", внутреннее устройство которого неизвестно. Однако воздействуя определенным образом на него через его входы (измеряемые и управляемые параметры, определяющие состояние системы, и составляющие ее компоненты) и наблюдая ответные реакции на выходе, можно получать необходи-

мую информацию. На параметры состояния и компоненты системы, которые непосредственно не измеряемы и не управляемы, накладывается дополнительное условие: их влияние должно быть рандомизировано. При такой системе замещения объекта "черным ящиком" результаты манипуляции с ним могут быть описаны статистической моделью с детерминированной и случайной составляющими.

1.5. Физические свойства системы в зависимости от характера их изменения при фазовом переходе можно разбить на две группы. К первой группе относятся физические свойства, претерпевающие скачкообразное изменение при фазовом переходе, например, объем, теплосодержание, электропроводность и т.д. Ко второй группе – свойства, которые не претерпевают скачкообразного изменения.

Выходом черного ящика может быть любое физическое свойство, относящееся к первой группе. При этом при отсутствии фазовых превращений (жидкая влага $\rightleftharpoons$ лед) должен выполняться принцип непрерывности, который формулируется следующим образом [3]: "при непрерывном изменении параметров, определяющих состояние системы, свойства отдельных фаз изменяются непрерывно, при этом свойства системы, взятой в целом, изменяются тоже непрерывно, но при условии, что не возникают новые фазы и не исчезают наличные". Поэтому всякое наблюдаемое скачкообразное изменение ее физического свойства будет связано с образованием новой фазы и по нему можно, пользуясь статистической моделью черного ящика, полученной для области, где выполняется принцип непрерывности, количественно оценить эффект фазовых превращений.

1.6. В настоящее время при экспериментальном исследовании криогенных фазовых превращений жидкой влаги в капиллярно-пористых и дисперсных материалах применяют ряд методов: калориметрический, в основу которого положено изменение теплового эффекта, обусловленного теплотой фазового перехода [4], дилатометрический, основанный на измерении суммарного

объема жидкой и твердой фаз поровой влаги при ее фазовых превращениях [5], метод, связанный с изменением тепловых характеристик [6], и т.д. Не рассматривая подробно достоинства и недостатки отдельных таких методов, укажем лишь на их общий существенный недостаток, который заключается в том, что экспериментальные исследования проводят на небольших образцах. Это исключает возможность определения фазовых превращений влаги в локальных объемах больших фрагментов, имитирующих строительные конструкции, или непосредственно в самих строительных конструкциях в натуре. Кроме того, исследование кинетики фазовых превращений вышеуказанными методами сопряжено с преодолением ряда методических трудностей. Электрометрический же метод исследования [7], рекомендуемый ниже, лишен указанных недостатков. Кроме того, в силу своей физической сущности, он обладает очевидными преимуществами.

2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

2.1. В основе электрометрического метода лежит принцип измерения активной или реактивной составляющих импеданса первичного преобразователя. В зависимости от измерения той или иной составляющей электрометрический метод разделяется на кондуктометрический и диэлькометрический.

2.2. При диэлькометрическом методе измеряется реактивная, точнее емкостная составляющая импеданса, по которой вычисляется диэлектрическая проницаемость материала, размещенного в объеме первичного преобразователя. При кондуктометрическом методе преимущественно измеряется активная составляющая импеданса, которая определяется электропроводностью материала, размещенного в объеме первичного преобразователя. Оба эти метода не следует рассматривать как полностью обособленные – в определенном спектре частот электромагнитных колебаний результаты обоих

методов взаимно перекрываются и дополняют друг друга.

2.3. Диэлектрическая проницаемость ε и удельная проводимость $\varkappa$ являются физическими свойствами первой группы. Как та, так и другая характеристика резко изменяет свои значения при криогенных фазовых превращениях. Однако удельная проводимость воды при переходе в лед изменяется более резко (на несколько порядков), что в конечном счете делает кондуктометрический метод более предпочтительным.

Однако в зависимости от физических свойств внутренней поверхности материала (гидрофобность – гидрофильность) предпочтение может получить и диэлькометрический метод. Так в случае значительной гидрофобности внутренней поверхности материала (гидрофобизированный ячеистый бетон) влага в нем может находиться в виде отдельных включений, что исключает применение кондуктометрического метода, поскольку в этом случае нарушается функциональная зависимость электропроводности от влагосодержания материала. Диэлькометрический же метод в силу своей физической сущности сохраняет в этом случае свое значение, так как функциональная связь диэлектрическая проницаемость – влагосодержание не нарушается.

2.4. Для удобства статистической оценки и последующей интерпретации результатов математическая модель, описывающая зависимость измеряемого электрического свойства от управляемых (контролируемых) параметров состояния и составляющих компонентов исследуемой системы, представляется в виде

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \ldots + b_k x_k + e. \qquad (1)$$

Модель (1) считается линейной, так как искомые параметры $b_0, b_1, \ldots, b_k$ входят в нее линейно относительно y, в то время как отклик модели – y и каждая независимая переменная модели x_i могут быть связаны любой функцией как с измеряемым электрическим свойством, так и с управляемыми (контролируемыми) параметрами состояния и соответствующими компонен-

тами исследуемой системы (влажный строительный материал).

Величина ошибки e зависит от меры адекватности принятой модели, точности измерения управляемых (контролируемых) и помех неконтролируемых параметров состояния и составляющих компонентов. Определение точечных и интервальных значений коэффициентов $b_0, b_1, \ldots, b_k$, статистическую оценку и проверку адекватности модели (1) осуществляют известными статистическими методами [8] по $m > k+1$ наблюдаемых значений $y, x_1, \ldots, x_k$.

2.5. При кондуктометрическом методе исследования, когда измеряемым электрическим свойством является электросопротивление, связь между переменными модели $y, x_1, \ldots, x_k$ и значимыми управляемыми (контролируемыми) параметрами состояния и составляющими компонентами исследуемой системы легко находится из априорных данных [9]. В этом случае искомая зависимость, следуя принятой модели, имеет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + e, \qquad (2)$$

где $y = \lg R$; $x_1 = t$; $x_2 = \lg u$; $x_3 = t \lg u$.

Здесь приняты обозначения: R – электросопротивление, t – температура, u – общее влагосодержание.

Зависимость (2) используется для определения в отдельных образцах материалов или в локальных зонах измерений конструкций общего влагосодержания u, а при наличии криогенных фазовых превращений – количества незамерзшей воды u_2. Для диэлькометрического метода последовательность при построении и статистической оценке модели аналогичная.

2.6. Полученный массив экспериментальных данных по определению количества незамерзшей воды u_2 редуцируется (свертывается) в уравнение состояния

$$u_2 = f(u, t). \qquad (3)$$

Зависимость (3) также находится в виде математической модели (1), в которой на основе анализа

многочисленных экспериментальных данных принимается

$$y = u_2;\ x_1 = u;\ x_2 = 1/t;\ x_3 = u/t. \qquad (4)$$

Зависимость (3) с учетом (4) можно представить в удобном для дальнейшего употребления и интерпретации виде

$$u_2 = b_0 + b_1 u + \frac{b_2 + b_3 u}{t} \quad \text{при } t \le t_{н.з}. \qquad (5)$$

Температура начала замерзания $t_{н.з}$ определяется из выражения

$$t_{н.з} = \frac{b_2 + b_3 u}{u(1-b_1)-b_0}, \qquad (6)$$

которое получено из (5) путем предельного перехода $t \to t_{н.з}$ при $u_2 \to u$.

2.7. Зависимость (5) позволяет не только свернуть полученную информацию о фазовых превращениях в компактном виде, но и получить дополнительную информацию, в частности, при комплексном определении фазового состава непосредственно в строительных конструкциях. Последовательность такого определения следующая.

В испытываемую строительную конструкцию закладывают малогабаритные первичные преобразователи электрического параметра и температуры, проводят измерения и для каждой локальной зоны измерения по зависимости (2) определяют количество незамерзшей воды. Общее количество влаги в локальной зоне датчика определяют из выражения (5) после подстановки найденного количества незамерзшей воды и соответствующей измеренной температуры. После определения общего влагосодержания определяют количество твердой фазы (льда).

3. ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ И ИХ УСТРАНЕНИЕ

3.1. Для косвенного метода измерений, когда определяемый параметр описывается функциональной зависимостью

$$y = f(x_1, \ldots, x_k), \qquad (7)$$

общая ошибка функции определяется из выражения [10]

$$\varepsilon_y = \frac{\partial y}{\partial x_1}\varepsilon_{x_1} + \ldots + \frac{\partial y}{\partial x_k}\varepsilon_{x_k}, \qquad (8)$$

причем $\varepsilon_y = \theta y + \Delta y$; $\varepsilon_{x_i} = \theta_{x_i} + \Delta_{x_i}$ $(i = 1,\ldots,k)$.
Здесь θ, Δ – систематические и случайные составляющие общей ошибки ε.

3.2. Можно считать, что измеряемые и контролируемые параметры исследуемой системы лишены значимых систематических ошибок, т.к. всегда можно путем сравнения с соответствующими эталонными измерениями оценить имеющиеся систематические ошибки, будь то постоянные или переменные, и введением соответствующих поправок исключить их. В этом случае выражение (8) принимает вид

$$\Delta_y = \frac{\partial y}{\partial x_1}\Delta_{x_1} + \ldots + \frac{\partial y}{\partial x_k}\Delta_{x_k}. \qquad (9)$$

Зная разрешающую способность измерительных устройств, по выражению (9) можно оценить вклад, вносимый измеряемыми параметрами исследуемой системы в остаточную ошибку модели (2), тогда оставшаяся часть этой ошибки будет характеризовать возмущения неконтролируемых параметров при условии адекватности принятой модели.

3.3. Рассмотрим случай, когда влияние помех, создаваемых неконтролируемыми параметрами состояния и составляющими компонентами системы, можно существенно снизить. В электрометрическом методе исследования при построении искомой математической модели в силу условия рандомизации неконтролируемые параметры состояния и составляющие компоненты системы изменяются случайным образом во всей совокупности локальных зон измерения. Однако для каждой конкретной зоны измерения эти изменения носят систематический характер, поэтому действительную ошибку определения влагосодержания в j -ой зоне измерения можно представить в виде

$$\varepsilon_{u_j} = \Delta_u + (\bar{\theta}_u + \tilde{\theta}_u)_j; \; (j = 1,\ldots, m).$$

О наличии или отсутствии систематической ошибки можно судить по невязкам между значением u, предсказанным моделью (2), и значением u', полученным сравнительным (эталонным) измерением:

$$|u - u'| > |\Delta_u| + |\Delta_{u'}|, \qquad (9\,а)$$

$$|u - u'| \leq |\Delta_u| + |\Delta_{u'}|, \qquad (10)$$

где неравенство (9 а) предполагает наличие, а равенство-неравенство (10) – отсутствие систематической ошибки. При наличии систематической ошибки неравенство (9 а) представляют в виде равенства

$$(\bar{\theta}_u + \tilde{\theta}_u)_j = |u - u'| - |\Delta_u| - |\Delta_{u'}|, \qquad (11)$$

где $\bar{\theta}, \tilde{\theta}$ – соответственно постоянная и переменная составляющие систематической ошибки.

После определения систематической ошибки из выражения (11) последнюю в виде поправки вводят в модель (2), вследствие чего результаты определения u в j -ой локальной зоне будут уже свободны от влияния помех неконтролируемых параметров.

3.4. При определении фазового состава влаги в отдельных образцах строительных материалов в качестве эталонного (сравнительного) метода целесообразно применять метод взвешивания, при этом поправку для каждого j -го образца определяют по невязкам между значением u, предсказанным моделью (2) по величине измеряемого электрического свойства материала и контролируемой температуры в области положительных температур, и значением u', полученным методом взвешивания. Результаты расчета незамерзшей воды и льда при отрицательных температурах с учетом найденной поправки также будут свободны от систематических ошибок этого рода.

3.5. Другой причиной появления неучтенной систематической ошибки может быть образование твердой фазы (льда). Для обнаружения такого рода ошибки в качестве методов сравнения необходимо применить два электрометрических метода: кондуктометрический и диэлькометрический, поскольку в этой ситуации метод

взвешивания не применим, ибо он дает информацию только об общем влагосодержании. Хотя тот и другой сравниваемые электрометрические методы могут иметь систематические ошибки, вызванные образованием новой фазы, но, однако, в силу своей физической сущности эти ошибки будут разного толка, что делает практически невозможным их взаимное уравновешивание. Таким образом, при выполнении условия (10) можно полагать, что образование новой фазы не вносит дополнительных систематических ошибок. Ранее проведенные такого рода исследования показали отсутствие значимых систематических ошибок в широком диапазоне температур и влагосодержаний, например, для глиняного и силикатного кирпичей [11].

4. ПРОГРАММА ДЛЯ ЭВМ ПО ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

4.1. Программа *BPFRST* предназначена для определения зависимостей $R(u,t)$ и $u_2(u,t)$ по полученным экспериментальным данным и статистической оценке этих зависимостей. Расчет количества незамерзшей воды u_2 осуществляется с поправкой на систематические отклонения. В основу разработанной программы положены концепции, изложенные в предыдущих разделах.

4.2. Программа *BPFRST* включает в себя шесть подпрограмм: *BPFRS1, BPFRS2,* BPFRS3, *BPFRS4, BPFRS5* и *BPFRS6.* Она последовательно определяет зависимости $R(u,t)$ и $u_2(u,t)$ и одновременно производит их статистическое оценивание. В случае необходимости она может быть использована для определения и статистической оценки только $R(u,t)$ или только $u_2(u,t)$. Такая необходимость возникает, например, когда нужно получить зависимость $R(u,t)$ исходя из массива опытных данных содержащего показания электрофизического свойства в объеме первичного преобразователя при различных исходных влагосодержаниях материала и положительных температурах.

Зависимость $R(u,t)$ необходима не только для дальнейшей работы по программе *BPFRST,* но и может быть

использована самостоятельно для определения влажностного состояния материала конструкции в локальных зонах измерения с помощью первичных малогабаритных электрометрических преобразователей при натурных и лабораторных исследованиях.

При наличии экспериментального массива, содержащего данные о количестве незамерзшей воды в материале при различных исходных влагосодержаниях и отрицательных температурах (данные, полученные другими методами, например, калориметрическим), программа может быть использована для нахождения зависимости $u_2(u,t)$. Практическая реализация этих дополнительных возможностей программы осуществляется с помощью метки *NUM*.

4.3. Подпрограмма *BPFRS1* служит для центрирования значений y, x_1, x_2, x_3, где для зависимости $R(u,t)$ $y=\lg R$, $x_1=\lg u, x_2=t, x_3=t\lg u$, а для зависимости $u_2(u,t)$ $y=u_2, x_1=u, x_2=1/t, x_3=u/t$. При этом для нахождения зависимости $R(u,t)$ из исходного массива отбираются соответствующие данные при положительных, а для нахождения зависимости $u_2(u,t)$ – при отрицательных температурах.

4.4. Отдельная подпрограмма *BPFRS2* предназначена для формирования системы нормальных уравнений $Y = XB+E$, а подпрограмма *BPFRS3* – для нахождения обратной матрицы. Это позволяет, используя элементы обратной матрицы, по подпрограмме *BPFRS4* вычислять регрессионные коэффициенты B, а по подпрограмме *BPFRS5* определять дисперсии и ковариации для этих коэффициентов. По подпрограмме *BPFRS5* осуществляют также оценку систематических отклонений, которые учитывают в подпрограмме *BPFRS6* при расчете количества незамерзшей воды.

Программа *BPFRST* написанная на языке *FORTRAN IV*, приведена в приложении.

5. ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА, ОСНАСТКА

5.1. Для определения фазового состава влаги необходимы: термокамера, первичные преобразователи и вторичные приборы для измерения выбранного элект-

рического параметра и температуры, а также некоторая дополнительная оснастка.

5.2. В рабочем объеме термокамеры в широком диапазоне положительных и отрицательных температур должны ступенчато задаваться и поддерживаться постоянными требуемые температуры на интервале времени, необходимом для наступления термодинамического равновесия.

5.3. Для измерения температур в образцах применяют термопары и в качестве измерительных приборов потенциометры (например, ПП-63, Р-305, Р-306) или цифровые микровольтметры (например, ВК2-20, Р-2002).

5.4. Для измерения электрического параметра образца применяют выпускаемые серийно уравновешенные мосты переменного тока (например, Р-556, Р-577 или Р5010), при этом, в случае необходимости, их точность измерений можно значительно увеличить, если использовать метод неполного замещения [12, с.165]. Выбор принципиальных электрических схем приборов и устройств, а также схем измерения и способов помехозащиты производится в соответствии с рекомендациями [13] (с. 26–78, 116–132, 140–216, 270–280) и [14] (с. 79–105).

Измерительную уравновешенную мостовую схему можно собрать и из имеющихся в наличии отдельных приборов. В этом случае используют мост сопротивлений (например, МО-62). Питание моста осуществляют от генератора звуковой частоты (например, Г3-56/1), а в качестве индикатора применяют осциллографический индикатор нуля (например, Ф582).

5.5. В исследованиях на отдельных образцах целесообразно применять накладные первичные преобразователи электрического параметра. В качестве электродов можно использовать алюминиевую фольгу, при этом электроды из нее располагают по обеим сторонам образца, выполненного в виде пластины. Толщина пластины (расстояние между электродами), а также площади электродов выбирают в результате предварительных опытов, необходимых для отыскания компромиссного решения для двух противоречащих условий. С одной

стороны, для повышения надежности показаний датчика расстояние между электродами должно быть достаточно большим, чтобы не сказывалась неоднородность структуры материала. С другой стороны, для расширения диапазона измерения электрического параметра (сопротивления) в область, соответствующую низким влагосодержаниям, необходимо иметь малое расстояние между электродами, т.к. удельное сопротивление сухих неорганических капиллярно-пористых материалов имеет порядок 10^{10} Ом · см и более, а верхний предел стандартных измерительных приборов, как правило, $R = 10^{6}$ Ом. Например, для строительных материалов, имеющих относительно однородную структуру без значительных по размерам включений, таких как глиняный и силикатный кирпич, цементно-песчаные растворы, пено- и газобетоны и т.д. указанным выше условиям удовлетворяют образцы с размерами 15 х 50 х 50 мм.

5.6. К оснастке, требующей изготовления, относятся демпфирующие устройства, в которые помещают исследуемые образцы. Основное назначение демпфирующих устройств - погасить в своей толще периодические колебания температуры воздушной среды рабочего объема термокамеры, которые обусловлены инерционностью системы автоматического поддержания температуры. При обеспечении герметичности конструкции демпфера заданная влажность образца сохраняется неизменной во все время опыта.

5.7. Демпфирующее устройство (рис. 1) состоит из блока, изготовленного из паро- и водонепроницаемого материала, в теле которого выполнен проем под размер образца. К боковым поверхностям блока прикладывают пластины из толстой пластичной резины, которые обжимаются накладными пластинами из того же материала, что и основной блок, с помощью болтовых соединений. Такая конструкция позволяет осуществлять надежный электрический контакт испытуемого образца с электродами первичного электрометрического преобразователя и одновременно герметизацию образца. На внешней боковой плоскости блока демпфера расположены гнезда, соединенные с электродами и термо-

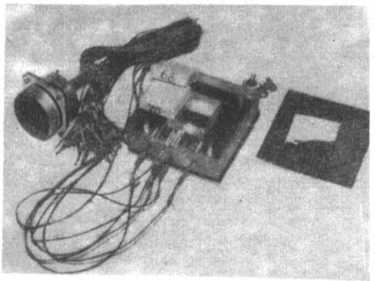

Рис. 1. Общий вид демпфирующего устройства с присоединенным вводом (верхняя крышка снята для обозрения)

парой. Это позволяет оперативно соединять измерительные устройства, находящиеся вне рабочего объема термокамеры, через специальный ввод с первичными преобразователями, расположенными в отдельных демпфирующих устройствах. На рис. 1 показан общий вид демпфирующего устройства в собранном виде с присо-

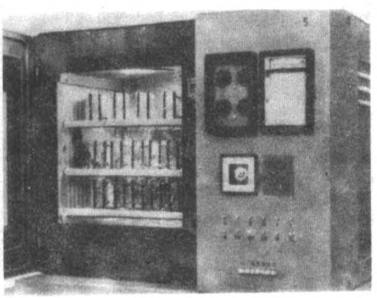

Рис. 2. Общий вид термокамеры с размещенными в ее рабочем объеме демпфирующими устройствами

единенным вводом, а на рис. 2 – общий вид термокамеры с размещенными в ее рабочем объеме демпфирующими устройствами.

5.8. Выбор оптимальной толщины демпфирующего устройства производится на основе следующих соображений.

Температура воздушной среды рабочего объема термокамеры гармонически изменяется во времени. Эти изменения температуры в достаточно хорошем приближении можно описать гармоникой

$$T_c(\tau) = T_0 + T_m \cos\omega\tau, \qquad (12)$$

где T_c – температура среды, T_0 – ее среднее значение; T_m – амплитуда колебания температуры среды; ω – циклическая частота колебания температуры $\omega = 2\pi\nu$, ν – частота колебаний в единицу времени, τ – время. В этом случае [15] при граничных условиях третьего рода для полубесконечного тела

$$-\frac{\partial T(0,\tau)}{\partial x} + \alpha\left[T_0 + T_m \cos\omega\tau - T(0,\tau)\right] = 0, \qquad (13)$$

где α – коэффициент теплообмена между средой и смываемой ею поверхностью

$$\frac{T(x,\tau)-T_0}{T_{max}} = A_0 \exp\left(-x\sqrt{\frac{\pi}{ap}}\right)\cos\left[\frac{2\pi}{p}\tau - x\sqrt{\frac{\pi}{ap}} - M\right]. \qquad (14)$$

В формуле (14) величина

$$A_0 = \left(1 - \frac{2\lambda}{\alpha}\sqrt{\frac{\pi}{ap}} + \frac{2\pi\lambda^2}{\alpha^2 ap}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

представляет собой амплитуду колебания температуры ограничивающей поверхности, а величина

$$M = arctg\left(\frac{1}{1+\frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\frac{ap}{\pi}}}\right) -$$

смещение по фазе колебания температуры поверхности тела по отношению к колебанию температуры окружающей среды, p – период колебаний ($p = 1/\nu$), а a и λ – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности тела соответственно.

Практический интерес представляет наибольшее отклонение от среднего значения температуры, что происходит, когда

$$\cos\left(\frac{2\pi}{p}\tau - x\sqrt{\frac{\pi}{ap}} - M\right) = \pm 1,$$

при этом полный размах колебаний температуры равен

$$2\,\frac{T(x,\tau)-T_0}{T_{max}} = 2A_0 \exp\left(-x\sqrt{\frac{\pi}{a\rho}}\right). \qquad (15)$$

В том случае, когда $\Delta t \geqslant 2A_0 \exp\left(-x\sqrt{\frac{\pi}{a\rho}}\right)$, где Δt – разрешающая способность устройства, регистрирующего температуру, периодические колебания среды с периодом колебания практически затухают в теле демпфера на глубине x при амплитуде колебания температуры ограничивающей поверхности A_0 и коэффициенте температуропроводности материала демпфера a.

Исходя из этих соображений толщина демпфера вычисляется по формуле

$$x \geqslant -\sqrt{\frac{a\rho}{\pi}}\ln\left(\frac{\Delta t}{2A_0}\right). \qquad (16)$$

6. ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

6.1. При определении фазового состояния влаги в материале на образцах последние изготавливаются путем формования или выпиливания с размерами, соответствующими размерам внутренней полости демпфирующего устройства. После изготовления образцы высушивают до постоянной массы и фиксируют ее. Образцы, изготовленные путем формования с применением вяжущего, перед высушиванием должны быть выдержаны или пройти технологическую обработку до практического окончания процесса гидратации вяжущего.

6.2. Высушенные образцы затем увлажняют, причем влажность отдельных образцов задают различной, варьируя ее в широком диапазоне вплоть до максимального водонасыщения. Увлажнение образцов производят в эксикаторах: до максимального гигроскопического увлажнения – над насыщенными растворами различных солей, создающими различную равновесную влажность воздуха в объеме эксикатора. Сверхгигроскопическое увлажнение до заданного значения осуществляют над дистиллированной водой, причем на

образцы пипеткой закапывается дистиллированная вода в различных количествах. В первом случае образцы выдерживают до наступления равновесного состояния с паровоздушной средой эксикатора, о чем судят по стабилизации во времени их массы в процессе взвешиваний. Во втором случае – образцы выдерживают в эксикаторе до равномерного распределения в их объемах введенной пипеткой влаги.

6.3. Образцы с различными исходными влагосодержаниями помещают во внутрь демпферных устройств, которые в свою очередь устанавливают в рабочем объеме термокамеры. При этом, посредством соединительных проводов и многопозиционных переключателей первичные преобразователи температуры и влажности коммутируют с соответствующими измерительными устройствами.

6.4. В рабочем объеме термокамеры, начиная с заданной положительной температуры, последовательно ступенями снижают ее до различных требуемых температур (положительных или отрицательных). Образцы выдерживают на ступенях при каждой требуемой температуре в течение времени, необходимого для наступления термодинамического равновесия, о чем судят по стабилизации показаний измеряемых электрического параметра R и температуры t. Результаты измерений заносят в журнал наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

№ образца i	Обозначения параметров	Значения измеряемых параметров по ступеням температуры j								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	u R t									
2	u R t									

Продолжение табл. 1

№ образца i	Обозначения параметров	Значения измеряемых параметров по ступеням температуры j								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	u									
	R									
	t									

Примечание. Для каждого испытываемого i-того образца, порядковый номер которого записывают в первой графе ($i = 1, 2, \ldots, M$, где M – количество образцов), отведено по три горизонтальных строки: в первой строке размещают значения исходного влагосодержания u; во второй – значение электрического параметра R на соответствующей j-той ступени температуры t, значениям которой отведена третья строка ($j = 1, 2, \ldots, N$, где N – наибольшее количество ступеней температур для всей серии образцов).

6.5. Полученный массив экспериментальных данных обрабатывают на ЭВМ по программе *BPFRST*.

Пример 1. Произвести полный расчет по программе *BPFRST* для массива экспериментальных данных, представленного в табл. 2.

Для расчета на ЭВМ исходный массив экспериментальных данных набивают на стандартных перфокартах в следующей последовательности.

На первой перфокарте набивают численные значения *NUM,M,N* форматом *I2*. В данном примере соответственно *NUM*= 1 (реализация программы сначала), $M = 7$, $N = 11$. Далее на новых перфокартах набивают численные значения исходных влагосодержаний u по семь значений на каждой перфокарте форматом *E* 11,4 (в данном примере все значения u размещаются на одной перфокарте). Затем опять на новых перфокартах тем же форматом и в соответствии с табл. 2 набива-

№ образца i	Обозначения параметров	Значения измеряемых параметров				
		1	2	3	4	5
1	u	10,84				
	R	0,822	0,859	1,039	1,385	1,250
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
2	u	10,35				
	R	0,819	0,876	0,886	1,104	1,156
	t	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0
3	u	10,08				
	R	1,152	1,289	1,322	1,934	1,851
	t	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0
4	u	8,95				
	R	2,790	2,874	3,141	5,043	2,560
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
5	u	4,55				
	R	15,21	16,36	18,42	23,03	23,14
	t	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0
6	u	4,23				
	R	37,58	46,58	56,00	57,88	100,9
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
7	u	4,03				
	R	39,01	46,83	57,02	67,56	82,28
	t	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0

ют последовательно по столбцам численные значения электрического параметра R при этом соответственно пробелам в 10-й и 11-й ступенях температуры табл.2

Таблица 2

по ступеням температуры j

6	7	8	9	10	11
8,498	19,33	30,08	48,62	-	-
-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-	-
1,390	1,862	10,28	21,54	34,11	53,53
5,0	0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0
2,016	12,38	26,60	41,60	65,90	-
0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-
22,53	45,86	77,07	131,1	-	-
-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-	-
32,46	44,69	93,63	157,3	210,1	318,3
5,0	0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0
131,5	246,0	299,6	453,1	-	-
-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-	-
100,9	167,8	261,3	335,0	497,4	-
0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-

в перфокартах набивают фиктивные (отрицательные) числа (например, - 100). В данном примере численные значения R размещаются на 11 перфокартах.

Результаты расчета на ЭВМ по примеру 1

```
**********************
  NUM = I   L =   4I
  YM =  0.8089E   00  XMI = 0.8397E  00  XM2 = 0.I244E  02  XM3
       МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ .
  SYXI = -0,558I5783E   0I   SXIXI = 0.I4I78200E   0I   SXIX2 =
  SYX2 = -0.40432220E   02   SXIX2 =-0.I2888966E   0I   SX2X2 =
  SYX3 = -0.I0II5482E   03   SXIX3 = 0.I655258IE   02   SX2X3 =
       ОБРАТНАЯ МАТРИЦА
  C I (I) = 0.I94605I6E  0I  C 2 (I) = 0.8375I9I6E-0I  C3 (I) =
  C I (2) = 0.83785II6E -0I  C 2 (2) = 0.59305690E-02  C3 (2) =
  C I (3) =-0.I0035390E  00  C 2 (3) =-0.675250582-02  C3 (3) =
        РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ
  BO = 0.4476E  0I   BI = -0.4I58E  0I   B2 = -0.282IE-0I   B3 =
     СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
     ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ
  D = 0.4963E - 0I
     МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
     DI = 0.9659E -0I
  COVI2 = 0.2944E -03       D2 = 0.4005E -03
  COVI3 = 0.4I57E -02   COV23 =-0.495IE -02      D3 = -0.3333E -03
     СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ
                  I              2              3              4              5
    DXI = -0.II05E -0I  -0.II07E -0I   0.7576E -02   0.2703E -0I  -0.3022E
  ***** U= 0.I084E  02
                  I              2              3              4              5
  R        0.82I7E  00   0.8586E  00   0.I039E  0I   0.I385E  0I   0.I250E
  T        0.2000E  02   0.I500E  02   0.I000E  02   0.5000E  0I   0.0000E
  U2       0.I084E  02   0.II06E  02   0.I086E  02   0.I043E  02   0.II02E
 *****U =  0.I035E  02
                  I              2              3              4              5
  R        0.8I92E  00   0.8762E  00   0.8857E  00   0.II04E  0I   0.II56E
  T        0.3000E  02   0.2500E  02   0.2000E  02   0.I500E  02   0.I000E
  U2       0.I0I5E  02   0.I03IE  02   0.I063E  02   0.I037E  02   0.I058E
                 II
  R        0.5353E  02
  T       -0.2000E  02
  U2       0.53I7E  0I
 ***** U =  0.I008E  02

        I              2              3              4              5
R    0.II52E  0I   0.I289E  0I   0.I322E  0I   0.I934E  0I   0.I85IE  0I
T    0.2500E  02   0.2000E  02   0.I500E  02   0.I000E  02   0.5000E  0I
U2   0.I000E  02   0.I006E  02   0.I033E  02   0.9705E  0I   0.I0I4E  02
*****U =  0.8950E  0I
```

```
= 0.I04IE  02

- 0.I2888966E  0I   SXIX3 = 0.I655258IE  02
  0.32060938E  04   SX2X3 = 0.26667283E  04
  0.26667283E  04   SX3X3 = 0.25474268E  04

-0.99753677E-0I
-0.67I4776IE-02
 0.80699659E-02

 0.I684E-0I
```

6	7
-0I 0.I4I2E -0I	0.I549E -0I

6	7	8	9
0I 0.8498E 0I	0.I933E 02	0.3008E 02	0.4862E 02
00 -0.5000E 0I	-0.I000E 02	-0.I500E 02	-0.2000E 02
02 0.72I5E 0I	0.6I86E 0I	0.58I5E 0I	0.5433E 0I

6	7	8	9	I0
0I 0.I390E 0I	0.I862E 0I	0.I028E 02	0.2I54E 02	0.34IIE 02
02 0.5000E 02	0.0000E 00	-0.5000E 0I	-0.I000E 02	-0.I500E 02
02 0.I042E 02	0.I00IE 02	0.6898E 0I	0.6033E 0I	0.565IE 0I

6	7	8	9	I0
0.20I6E 0I	0.I238E 02	0.2660E 02	0.4I60E 02	0.6590E 02
0.0000E 00	-0.5000E 0I	-0.I000E 02	-0.I500E 02	-0.2000E 02
0.I025E 02	0.6892E 0I	0.5998E 0I	0.5640E 0I	0.5300E 0I

```
          I              2              3              4              5
R     0.2790E  0I    0.2874E  0I    0.3I4IE  0I    0.5043E  0I    0.2560E  0I
T     0.2000E  02    0.I500E  02    0.I000E  02    0.5000E  0I    0.0000E  00
U2    0.8592E  0I    0.8859E  0I    0.8988E  0I    0.8292E  0I    0.I0I2E  02
*****U =  0.4550E  0I
          I              2              3              4              5
R     0.I52IE  02    0.I636E  02    0.I842E  02    0.2304E  02    0.23I4E  02
T     0.3000E  02    0.2500E  02    0.2000E  02    0.I500E  02    0.I000E  02
U2    0.4363E  0I    0.4508E  0I    0.4596E  0I    0.4557E  0I    0.4775E  0I
         II
R     0.3I83E  03
T    -0.2000E  02
U2    0.37I2E  0I
*****U = 0.4230E  0I
          I              2              3              4              5
R     0.3758E  02    0.4658E  02    0.5600E  02    0.5788E  02    0.I009E  03
T     0.2000E  02    0.I500E  02    0.I000E  0I    0.5000E  0I    0.0000E  00
U2    0.4223E  0I    0.42I4E  0I    0.4238E  0I    0.442IE  0I    0.406IE  0I
*****U = 0.4030E  0I
          I              2              3              4              5
R     0.390IE  02    0.4683E  02    0.5702E  02    0.6756E  02    0.8228E  02
T     0.2500E  02    0.2000E  02    0.I500E  02    0.I000E  02    0.5000E  0I
U2    0.3969E  0I    0.4000E  0I    0.40I4E  0I    0.4056E  0I    0.4068E  0I
*********************
NUM = 2    L =  28
YM =  0.5005E   0I  XMI = 0.7576E  0I  XM2 = -0.I042E  00  XM3 = -0.789IE  00
    МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

SYXI = 0.8453I875E  02   SXIXI = 0.23773250E  03   SXIX2 = 0.59604645E -07
SYX2 =-0.540244I0E  00   SXIX2 = 0.59604645E -07   SX2X2 = 0.9479I352E -0I
SYX3 =-0.I4304384E  02   SXIX3 =-0.24763763E  02   SX2X3 = 0.7I8II342E  00
    ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

CI(I) =  0.I7564I37E -0I   C2(I) = -0.97I47506E  00   C3(I) =  0.I2823462E  00
CI(2) = -0.97I46887E  00   C2(2) =  0.8I202026E  02   C3(2) = -0.9326I375E  0I
CI(3) =  0.I2834334E  00   C2(3) = -0.9334093IE  0I   C3(3) =  0.I232I005E  0I
    РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

B0 = 0.3083E  0I    BI = 0.I752E  00    B2 = 0.74I6E  0I    B3 = - 0.I733E  0I


    СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
    ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ

D = 0.4438E  00
   МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ и КОВАРИАЦИЙ РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
    DI =  0.7794E -02
 COVI2 =  0.3604E  02        D2 = 0.5468E   00
COV I3 = -0.43IIE  00     COV23 = 0.569IE  -0I       D3 = -0.4I39E   0I
```

6		7		8		9	
0.2253E	02	0.4586E	02	0.7707E	02	0.I3IIE	03
-0.5000E	0I	-0.I000E	02	-0.I500E	02	-0.2000E	02
0.6259E	0I	0.553IE	0I	0.5I28E	0I	0.4756E	0I

6		7		8		9		I0	
0.3246E	02	0.4469E	02	0.9363E	02	0.I573E	03	0.2I0IE	03
0.5000E	0I	0.0000E	00	-0.5000E	0I	-0.I000E	02	-0.I500E	02
0.460IE	0I	0.4460E	0I	0.392IE	0I	0.3646E	0I	0.358IE	0I

6		7		8		9	
0.I3I5E	03	0.2460E	03	0.2996E	03	0.453IE	03
-0.5000E	0I	-0.I000E	02	-0.I500E	02	-0.2000E	02
0.4008E	0I	0.364IE	0I	0.3659E	0I	0.3503E	0I

6		7		8		9		I0	
0.I009E	03	0.I678E	03	0.26I3E	03	0.3350E	03	0.4974E	03
0.0000E	00	-0.5000E	0I	-0.I000E	02	-0.I500E	02	-0.2000E	02
0.4074E	0I	0.3797E	0I	0.3602E	0I	0.3579E	0I	0.3442E	0I

SXIX3 = -0.24763763E 02
SX2X3 = 0.7I8II342E 00
SX3X3 = 0.88245983E 0I

Численные значения температур t набивают на перфокартах аналогичным образом.

Результаты расчета представлены в виде распечатки ЭВМ, снабжены соответствующими заголовками и обозначениями и не требуют дополнительных комментариев.

Пример 2. Определить зависимость $R(u,t)$ и произвести соответствующие статистические оценки. Для расчета использовать данные из примера 1.

Необходимые исходные данные представлены в табл. 3. Табл. 3 имеет такую же структуру, как и предыдущая табл. 2. В табл. 3 приведены только те данные, которые необходимы для выполнения сформулированной задачи. С целью сокращения работы по набивке карт была перебита первая карта со значениями NUM, M, N (в данном примере $NUM = 1$, $M = 7$, $N = 7$) и две карты для R и t, значения которых приведены в графе, соответствующей 7-й ступени температуры. Обращаем внимание, что данные для R и t, помещенные в графе, соответствующей 6-й ступени температуры, были оставлены без изменения, хотя там есть три значения $t = -5$ °С. В программе *BPFRST* предусмотрено, что если массив исходных данных мень-

Результаты расчета на ЭВМ по примеру 2

```
**********
  NUM = I      L =4I
   YM = 0.8089E  00  XMI = 0.8397 = 00  XM2 = 0.I244E
        МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
  SYXI = -0.558I3783E  0I   SXIXI =  0.I4I78200E  0I
  SYX2 = -0.40432220E  02   SXIX2 = -0.I2888966E  0I
  SYX3 = -0.I0II5482E  03   SXIX3 =  0.I653258IE  02
         ОБРАТНАЯ МАТРИЦА
  CI(I) = 0.I94605I6E  0I   C2(I) =  0.8375I9I6E -0I
  CI(2) = 0.83783II6E -0I   C2(2) =  0.59303690E -02
  CI(3) =-0.I0035390E  00   C2(3) = -0.67525058E -02
```

Таблица 3

№ образца i	Обозначения параметров	Значения измеряемых параметров по ступеням температуры j						
		1	2	3	4	5	6	7
1	u				10,84			
	R	0,822	0,859	1,039	1,385	1,250	8,498	–
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0	–5,0	–
2	u				10,35			
	R	0,819	0,876	0,886	1,104	1,156	1,390	1,862
	t	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
3	u				10,08			
	R	1,152	1,289	1,322	1,934	1,851	2,016	–
	t	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0	–
4	u				8,95			
	R	2,790	2,874	3,141	5,043	2,560	22,53	–
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0	–5,0	–
5	u				4,55			
	R	15,21	16,36	18,42	23,04	23,14	32,46	44,69
	t	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
6	u				4,23			
	R	37,58	46,58	56,00	57,88	100,9	131,5	–
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0	–5,0	–
7	u				4,03			
	R	39,01	46,83	57,02	67,56	82,28	100,9	–
	t	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0	–

02 XM3 = 0.I04I E 02

SXIX2 = −0.I2888966E 0I SXIX3 = 0.I655258IE 02
SX2X2 = 0.32060938E 04 SX2X3 = 0.26667283E 04
SX2X3 = 0.26667283E 04 SX3X3 = 0.25474268E 04

C3(I) = −0.99753677E − 0I
C3(2) = −0.67I4776IE − 02
C3(3) = 0.80699659E − 02

РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

B0 = 0.4476E 0I BI = −0.4I58E 0I

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ

D = 0.8963E − 0I

МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ

DI = 0.9659E −0I

COVI2 = 0.2944E −03 D2 = 0.4005E −03

COVI3 = 0.4I57E −02 COV23 = −0.495IE −02

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ

	I	2	3
DXI =	−0.II05E-0I	-QII07E −0I	0.7576E − 02

*****U= 0.I084E 02

	I	2	3	4
R	0.82I7E 00	0.8586E 00	0.I039E 0I	0.I385E
T	0.2000E 02	0.I500E 02	0.I000E 02	0.5000E
U2	0.I084E 02	0.II06E 02	0.I086E 02	0.I043E

*****U = 0.I035E 02

	I	2	3	4
R	0.8I92E 00	0.8762E 00	0.8857E 00	0.II04E
T	0.3000E 02	0.2500E 02	0.2000E 02	0.I500E
U2	0.I0I5E 02	0.I03IE 02	0.I063E 02	0.I037E

*****U = 0.I008E 02

	I	2	3	4
R	0.II52E 0I	0.I289E 0I	0.I322E 0I	0.I934E 0I
T	0.2500E 02	0.2000E 02	0.I500E 02	0.I000E 02
U2	0.I000E 02	0.I006E 02	0.I033E 02	0.9705E 0I

*****U = 0.8950E 0I

	I	2	3	4
R	0.2790E 0I	0.2874E 0I	0.3I4IE 0I	0.5043E 0I
T	0.2000E 02	0.I500E 02	0.I000E 02	0.5000E 0I
U2	0.8502E 0I	0.8859E 0I	0.8958E 0I	0.8292E 0I

*****U = 0.4550E 0I

B2 = −0.2821E−0I B3 = 0.1684E − 0I

РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

D3 = −0.3333E−03

4	5	6	7
0.2703E −0I	0.3022E−0I	0.1412E−0I	0.1549E−0I

	5		6	
0I	0.1250E	0I	0.8498E	0I
0I	0.0000E	00	−0.5000E	0I
02	0.1102E	02	0.7215E	0I

	5		6		7	
0I	0.1156E	0I	0.1390E	0I	0.1862E	0I
02	0.1000E	02	0.5000E	0I	0.0000E	00
02	0.1058E	02	0.1042E	02	0.1001E	02

5		6	
0.1851E	0I	0.2016E	0I
0.5000E	0I	0.0000E	00
0.1014E	02	0.1025E	02

5		6	
0.2560E	0I	0.2253E	02
0.0000E	00	−0.5000E	0I
0.1012E	02	0.6259E	0I

	I	2	3	4
R	0.I52IE 02	0.I636E 02	0.I842E 02	0.2304E 02
T	0.3000E 02	0.2500E 02	0.2000E 02	0.I500E 02
U2	0.4363E 0I	0.4508E 0I	0.4596E 0I	0.4557E 0I

*****U = 0.4230E 0I

	I	2	3	4
R	0.3758E 02	0.4653E 02	0.5600E 02	0.3788E 02
T	0.2000E 02	0.I500E 02	0.I000E 02	0.5000E 0I
U2	0.4223E 0I	0.42I4E 0I	0.4238E 0I	0.442IE 0I

*****U = 0.4030E 0I

	I	2	3	4
R	0.390IE 02	0.4683E 02	0.5702E 02	0.6756E 02
T	0.2500E 02	0.2000E 02	0.I500E 02	0.I000E 02
U2	0.3969E 0I	0.4000E 0I	0.40I4E 0I	0.4056E 0I

ше требуемого для определения регрессионных коэффициентов B и их статистической оценки (L меньше или равно 4), эти операции не выполняются. В этом случае ЭВМ по программе производит расчеты, требуемые условием задачи, и на этом заканчивает вычисления.

Распечатка результатов расчета для примера 2 представлена выше.

Пример 3. Определить зависимость $u_2(u,t)$ произвести соответствующие статистические оценки. Для расчета использовать данные u_2, полученные в примере 1.

Необходимые исходные данные представлены в табл. 4.

Табл. 4 имеет не только такую же структуру, как и табл. 2, но и в ней оставлены те же температуры. Однако вместо значений R в нее введены значения u_2, полученные в результате расчетов в примере 1. Такое представление исходных данных позволяет получить требуемое условием задачи решение, несмотря на наличие данных, полученных при положительных температурах. Это реализуется благодаря тому, что численное значение *NUM*, набиваемое в первой карте, равно 2.

5		6		7	
0.2314E	02	0.3246E	02	0.4469E	02
0.1000E	02	0.5000E	01	0.0000E	00
0.4775E	01	0.4601E	01	0.4460E	01

5		6	
0.1009E	03	0.1315E	03
0.0000E	00	-0.5000E	01
0.4061E	01	0.4008E	01

5		6	
0.8228E	02	0.1009E	03
0.5000E	01	0.0000E	00
0.4068E	01	0.4074E	01



Рис. 3. Зависимость количества незамерзшей воды u_2 от температуры t для образцов исследованного строительного материала с различными исходными влагосодержаниями, %: △ - 10,84; ◇ - 10,35; ○ -10,08; * - 8,95; ▽ - 4,55; + - 4,23; v - 4,03; сплошные линии - расчетные значения для соответствующих исходных влагосодержаний

№ образца i	Обозначения параметров	Значения измеряемых параметров				
		1	2	3	4	5
1	u					
	u_2	10,84	11,06	10,86	10,43	11,02
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
2	u					
	u_2	10,15	10,31	10,63	10,37	10,58
	t	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0
3	u					
	u_2	10,00	10,06	10,33	9,705	10,14
	t	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0
4	u					
	u_2	8,592	8,859	8,988	8,292	10,12
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
5	u					
	u_2	4,363	4,508	4,596	4,557	4,775
	t	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0
6	u					
	u_2	4,223	4,214	4,238	4,421	4,061
	t	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
7	u					
	u_2	3,969	4,000	4,014	4,056	4,068
	t	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0

Результаты расчета для примера 3 представлены ниже.

Количества незамерзшей воды u_2 (отдельные расчетные значения) при различных исходных влагосодержаниях и отрицательных температурах, а также характер зависимости $u_2(u,t)$, полученные путем расчета

Таблица 4

по ступеням температуры j					
6	7	8	9	10	11
10,84					
7,215	6,186	5,815	5,433	-	-
-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-	-
10,35					
10,42	10,01	6,898	6,033	5,651	5,317
5,0	0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0
10,08					
10,25	6,892	5,998	5,640	5,300	-
0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-
8,95					
6,259	5,531	5,128	4,756	-	-
-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-	-
4,55					
4,601	4,460	3,921	3,646	3,581	3,712
5,0	0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0
4,23					
4,008	3,641	3,659	3,503	-	-
-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-	-
4,03					
4,074	3,797	3,602	3,579	3,442	-
0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-

на ЭВМ (см. примеры 1, 3) представлены на рис. 3. Несмотря на ограниченную выборку исходного экспериментального массива с искусственно завышенным шумовым фоном, видно достаточно хорошее совпадение отдельных расчетных значений количества незамерзшей воды с кривыми, отображающими полученную зависи-

Результаты расчета на ЭВМ по примеру 3

```
**********
 NUM = 2    L = 28
 YM = 0.5005E  0I  XM1 = 0.7576E  0I  XM2 = -0.1042E
      МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
 SYX1 = 0.8453I875E  02   SX1X1 = 0.23773250E  03
 SYX2 =-0.540244I0E  00   SX1X2 = 0.59604645E -07
 SYX3 =-0.I4304384E  02   SX1X3 =-0.24763763E  02
      ОБРАТНАЯ МАТРИЦА
 CI (I) = 0.I7564I37E -0I  C2(I) = -0.97I47506E  00
 CI (2) =-0.97I46887E  00  C2(2) =  0.8I202026E  02
 CI (3) = 0.I2834334E  00  C2(3) = -0.9334093IE  0I
      РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ
 B0 = 0.3083E  0I    BI = 0.I752E  00    B2 = 0.74I6E
      СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
      ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ
 D = 0.4438E  00
    МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ РЕГРЕССИОННЫХ
    DI = 0.7794E -02
 COVI2 = 0.3604E  02        D2 = 0.5468E  00
 COVI3 =-0.43IIE  00  COV 23 = 0.569IE  -0I
```

мость $u_2(u,t)$. Характер этой зависимости согласуется с современными представлениями о физической картине криогенных фазовых превращений в пористых материалах. В области отрицательных температур четко просматриваются три участка: первый, где нет криогенных фазовых превращений ($0^{\circ}C \geqslant t \geqslant t_{н.з}$); второй, где происходят интенсивные фазовые превращения и третий, где эти превращения незначительны (количество незамерзшей воды асимптотически приближается к определенному значению, соответствующему количеству связанной воды внутренней поверхностью материала и поверхностью образовавшейся твердой фазы - льда).

```
   00 XM3 = -0.7891E  00

SXIX2 = 0.59604645E - 07   SXIX3 = -0.24763763E  02
SX2X2 = 0.9479I352E - 0I   SX2X3 =  0.7I8II342E  00
SX2X3 = 0.7I8II342E  00    SX3X3 =  0.88245983E  0I

   C3(I) =  0.I2823462E  00
   C3(2) = -0.9326I375E  0I
   C3(3) =  0.I232I005E  0I

   0I   B3 = -0.I733E  0I
```

КОЭФФИЦИЕНТОВ

```
D3 = -0.4I39E  0I
```

ПРИЛОЖЕНИЕ

```
      PROGRAM  BPFRST
C
      COMMON/B1/ U(40),R(40,40),T(40,40),U2(40,40)
      COMMON/B2/ M,N,NUM,L
      COMMON/B3/ XM,XM1,XM2,XM3
      COMMON/B4/ SYX1,SYX2,SYX3,SX1X1,SX1X2,SX1X3,
     1SX2X2,SX2X3,SX3X3
      COMMON/B5/ C1(3),C2(3),C3(3)
      COMMON/B6/ B0,B1,B2,B3
      COMMON/B7/ DX1(50)
C
C      ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
      READ(5,2) NUM,M,N
      READ(5,1) (U(I),I=1,M)
```

```
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 5
      READ(5,1) ((R(I,J),I=1,M),J=1,N)
      GO TO 6
    5 CONTINUE
      READ(5,1) ((U2(I,J),I=1,M),J=1,N)
    6 CONTINUE
      READ(5,1) ((T(I,J),I=1,M),J=1,N)
    1 FORMAT(7E11.4)
    2 FORMAT(3I2)
C
      DO 3  NM=1,2
C     ЦЕНТРИРОВАНИЕ   Y,X1,X2,X3
C      ГДЕ ПРИ
C     NUM=1 Y=LOG10(R), X1=LOG10(U), X2=T, X3=LOG10(U)*T
C     NUM=2 Y=U2, X1=U, X2=1.0/T, X3=U/T
      CALL BPFRS1
      IF(L.LE.4) GO TO 7
C     ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ  Y=XB+E
      CALL BPFRS2
C     НАХОЖДЕНИЕ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ (МЕТОД ДУЛИТТЛА)
      CALL BPFRS3
C     ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ  B0,B1,B2,B3
      CALL BPFRS4
C     ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
C     МОДЕЛИ  Y=XB+E

C     ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ
C     ДЛЯ   NUM=1
      CALL BPFRS5
      IF (NUM.EQ.2) GO TO 4

C      РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ
C      (НЕСМЕЩЕННЫЕ ОЦЕНКИ)
      CALL BPFRS6

    7 CONTINUE
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 4
      NUM=2
    3 CONTINUE
    4 CONTINUE
      STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE BPFRS1
C
      COMMON/B1/ U(40),R(40,40),T(40,40),U2(40,40)
      COMMON/B2/ M,N,NUM,L
      COMMON/B3/ YM,XM1,XM2,XM3
      DIMENSION Y(40,40),X1(40,40),X2(40,40),X3(40,40)
C
      YM=0.0
      XM1=0.0
      XM2=0.0
      XM3=0.0
      L=0
      DO 11 I=1,M
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 5
      X11=ALOG10(U(I))
      GO TO 6
    5 X11=U(I)
    6 CONTINUE
      DO 11 J=1,N
      X1(I,J)=X11
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 7
      IF(T(I,J).LT.0.0.OR.R(I,J).LT.0.0) GO TO 11
      Y(I,J)=ALOG10(R(I,J))
      X2(I,J)=T(I,J)
      GO TO 4
    7 IF(T(I,J).GE.0.0.OR.U2(I,J).LE.0.0) GO TO 11
      Y(I,J)=U2(I,J)
      X2(I,J)=1.0/T(I,J)
    4 CONTINUE
      X3(I,J)=X1(I,J)*X2(I,J)
      YM=YM+Y(I,J)
      XM1=XM1+X1(I,J)
      XM2=XM2+X2(I,J)
      XM3=XM3+X3(I,J)
      L=L+1
   11 CONTINUE
      IF(L.LE.4) GO TO 12
      YM=YM/L
      XM1=XM1/L
      XM2=XM2/L
```

```
      XM3=XM3/L
      WRITE(6,1)
    1 FORMAT(1X,'***** ***************'  )
      WRITE(6,2) NOM,L
    2 FORMAT(3X,'NOM=',I1,3X,'L=',I4)
      WRITE(6,3) XM,XM1,XM2,XM3
    3 FORMAT(3X,'XM=',E11.4,1X,'XM1=',E11.4,1X,
     1'XM2=',E11.4,1X,'XM3=',E11.4)
   12 CONTINUE
      RETURN
      END

      SUBROUTINE RPFRS2
C
      COMMON/B1/ U(40),R(40,40),T(40,40),U2(40,40)
      COMMON/B2/ M,N,NUM,L
      COMMON/B3/ XM,XM1,XM2,XM3
      COMMON/B4/ SYX1,SYX2,SYX3,SX1X1,SX1X2,SX1X3,
     1SX2X2,SX2X3,SX3X3
      DIMENSION Y(40,40),X1(40,40),X2(40,40),X3(40,40)
C
      SYX1=0.0
      SYX2=0.0
      SYX3=0.0
      SX1X1=0.0
      SX1X2=0.0
      SX1X3=0.0
      SX2X2=0.0
      SX2X3=0.0
      SX3X3=0.0
      DO 21 I=1,M
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 1
      X11=ALOG10(U(I))
      GO TO 2
    1 X11=U(I)
    2 CONTINUE
      DO 21 J=1,N
      X1(I,J)=X11
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 3
      IF(T(I,J).LT.0.0.OR.R(I,J).LT.0.0) GO TO 21
      Y(I,J)=ALOG10(R(I,J))
      X2(I,J)=T(I,J)
      GO TO 6
    3 IF(T(I,J).GE.0.0.OR.U2(I,J).LE.0.0) GO TO 21
      Y(I.J)=U2(I,J)
      X2(I,J)=1.0/T(I,J)
```

```
    6 CONTINUE
      X3(I,J)=X1(I,J)*X2(I,J)
      Y(I,J)=Y(I,J)-YM
      X1(I,J)=X1(I,J)-XM1
      X2(I,J)=X2(I,J)-XM2
      X3(I,J)=X3(I,J)-XM3
      SYX1=SYX1+Y(I,J)*X1(I,J)
      SYX2=SYX2+Y(I,J)*X2(I,J)
      SYX3=SYX3+Y(I,J)*X3(I,J)
      SX1X1=SX1X1+X1(I,J)*X1(I,J)
      SX1X2=SX1X2+X1(I,J)*X2(I,J)
      SX1X3=SX1X3+X1(I,J)*X3(I,J)
      SX2X2=SX2X2+X2(I,J)*X2(I,J)
      SX2X3=SX2X3+X2(I,J)*X3(I,J)
      SX3X3=SX3X3+X3(I,J)*X3(I,J)
   21 CONTINUE
      WRITE(6,4)
    4 FORMAT(5X, МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ')
      WRITE(6,5)SYX1,SX1X1,SX1X2,SX1X3,SYX2,SX1X2,
     1SX2X2,SX2X3,SYX3,SX1X3,SX2X3,SX3X3
    5 FORMAT(3X,'SYX1=',E15.8,3X,'SX1X1=',E15.8,3X,'SX1X2=',
     1E15.8,3X,'SX1X3=',E15.8/3X,'SYX2=',E15.8,3X,'SX1X2=',E15.8,
     23X,'SX2X2=',E15.8,3X,'SX2X3=',E15.8/3X,'SYX3=',E15.8,3X,
     3'SX1X3=',E15.8,3X,'SX2X3=',E15.8,3X,'SX3X3=',E15.8)
      RETURN
      END

      SUBROUTINE BPFRS3
C
      COMMON/B4/ SYX1,SYX2,SYX3,SX1X1,SX1X2,SX1X3,
     1SX2X2,SX2X3,SX3X3
      COMMON/B5/ C1(3),C2(3),C3(3)
      DIMENSION C10(3),C20(3),C30(3)
C
      EPS=0.0000000005
      DO 32 I=1,3
      C10(I)=0.0
      C20(I)=0.0
      C30(I)=0.0
      A1=0.0
      A2=0.0
      A3=0.0
      IF(I.EQ.1) GO TO 2
      IF(I.EQ.2) GO TO 3
      A3=1.0
      GO TO 4
```

```
    2 A1=1.0
      GO TO 4
    3 A2=1.0
    4 CONTINUE
      DO 31 J=1,50
      C1(I)=(A1-C20(I)*SX1X2-C30(I)*SX1X3)/SX1X1
      C2(I)=(A2-C1 (I)*SX1X2-C30(I)*SX2X3)/SX2X2
      C3(I)=(A3-C1(I)*SX1X3-C2(I)*SX2X3)/SX3X3
      Y1=(C1(I)-C10(I))
      IF(C1(I).NE.0.0) Y1=Y1/C1(I)
      IF(C1(I).EQ.0.0.AND.C10(I).NE.0.0) Y1=Y1/C10(I)
      Y1=ABS(Y1)
      IF(Y1.GT.EPS) GO TO 30
      Y2=(C2(I)-C20(I))
      IF(C2(I).NE.0.0) Y2=Y2/C2(I)
      IF(C2(I).EQ.0.0.AND.C20(I).NE.0.0) Y2=Y2/C20(I)
      Y2=ABS(Y2)
      IF(Y2.GT.EPS) GO TO 30
      Y3=(C3(I)-C30(I))
      IF(C3(I).NE.0.0) Y3=Y3/C3(I)
      IF(C3(I).EQ.0.0.AND.C30(I).NE.0.0) Y3=Y3/C30(I)
      Y3=ABS(Y3)
      IF(Y3.LE.EPS) GO TO 32
   30 CONTINUE
      C10(I)=C1(I)
      C20(I)=C2(I)
      C30(I)=C3(I)
   31 CONTINUE
   32 CONTINUE
      WRITE(6,6)
    6 FORMAT(5X,'ОБРАТНАЯ МАТРИЦА')
      WRITE(6,7) (C1(I),I=1,3),(C2(I),I=1,3),(C3(I),I=1,3)
    7 FORMAT(3X,'C1(1)=',E15.8,3X,'C2(1)=',E15.8,3X,'C3(1)=',E15.8.
     13X,'C1(2)=',E15.8,3X,'C2(2)=',E15.8,3X,'C3(2)=',E15.8/
     23X,'C1(3)=',E15.8,3X,'C2(3)=',E15.8,3X,'C3(3)=',E15.8)
      RETURN
      END

      SUBROUTINE RPYRS4

      COMMON/B3/ YM,XM1,XM2,XM3
      COMMON/B4/ SYX1,SYX2,SYX3,SX1X1,SX1X2,SX1X3,
     1SX2X2,SX2X3,SX3X3
      COMMON/B5/ C1(3),C2(3),C3(3)
      COMMON/B6/ B0,B1,B2,B3
```

```
      B1=SYX1*C1(1)+SYX2*C1(2)+SYX3*C1(3)
      B2=SYX1*C2(1)+SYX2*C2(2)+SYX3*C2(3)
      B3=SYX1*C3(1)+SYX2*C3(2)+SYX3*C3(3)
      SUM=B1*XM1+B2*XM2+B3*XM3
      BO=YM-SUM
      WRITE(6,8)
    8 FORMAT(5X,'РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ')
      WRITE(6,9) BO,B1,B2,B3
    9 FORMAT(3X,'BO=',E11.4,3X,'B1=',E11.4,3X,
     1'B2=',E11.4,3X,'B3=',E11.4)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE BPFRS5
C
      COMMON/B1/ U(40),R(40,40),T(40,40),U2(40,40)
      COMMON/B2/ M,N,NUM,L
      COMMON/B5/ C1(3),C2(3),C3(3)
      COMMON/B6/ BO,B1,B2,B3
      COMMON/B7/ DX1(50)
      DIMENSION Y(40,40),X1(40,40),X2(40,40),X3(40,40),
     1DY(40,40),YR(40,40),INDEX(40)
C
      SUM=0.0
      L=0
      DO 51 I=1,M
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 1
      X11=ALOG10(U(I))
      GO TO 2
    1 X11=U(I)
    2 CONTINUE
      DO 51 J=1,N
      X1(I,J)=X11 B1
      IF(NUM.EQ.2) GO TO 3
      IF(T(I,J).LT.0.0.OR.R(I,J).LT.0.0) GO TO 51
      Y(I,J)=ALOG10(R(I,J))
      X2(I,J)=T(I,J)*B2
      GO TO 4
    3 IF(T(I,J).GE.0.0.OR.U2(I,J).LE.0.0) GO TO 51
      Y(I,J)=U2(I,J)
      X2(I,J)=B2/T(I,J)
    4 CONTINUE
      X3(I,J)=X1(I,J)*X2(I,J)*B3
      YR(I,J)=BO+X1(I,J)+X2(I,J)+X3(I,J)
      DY(I,J)=T(I,J)-YR(I,J)
      SUM=SUM+DY(I,J)*DY(I,J)
      L=L+1
```

```
51 CONTINUE
   L1=L-3
   D=SUM/L1
   D1=D*C1(1)
   D2=D*C2(2)
   D3=D*C3(3)
   COV12=D*C1(2)
   COV13=D*C1(3)
   COV23=D*C2(3)
   WRITE(6,10)
10 FORMAT(5X,'СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ')
   WRITE(6,11)
11 FORMAT(5X, ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ )
   WRITE(6,12) D
12 FORMAT(3X,'D=',E11.4)
   WRITE(6,13)
13 FORMAT(3X,'МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ /
  1'РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ')
   WRITE(6,14) D1,D2,D3,COV12,COV13,COV23
14 FORMAT(6X,'D1=',E11.4/
  13X,'COV12=',E11.4,6X,'D2=',E11.4/
  23X,'COV13=',E11.4,3X,'COV23=',E11.4,6X,'D3=',E11.4)
   IF(NUM.EQ.2) GO TO 55
   DO 50 I=1,M
   X11=ALOG10(U(I))
   X1R=0.0
   K=0
   DO 52 J=1,N
   IF(T(I,J).LT.0.0.OR.R(I,J).LT.0.0) GO TO 52
   Y(I,J)=ALOG10(R(I,J))
   X2(I,J)=T(I,J)
   X1(I,J)=(Y(I,J)-B0-B2*X2(I,J))/(B1+B3*X2(I,J))
   X1R=X1R+X1(I,J)
   K=K+1
52 CONTINUE
   X1R=X1R/K
   DX1(I)=X11-X1R
53 CONTINUE
   WRITE(6,15)
15 FORMAT(5X,
   DO 54 L=1,50,10
   L1=L+9
   IF(M.LT.L1) L1=M
   WRITE(6,16) (INDEX(I),I=L,L1)
```

```
   16 FORMAT(10I12)
      WRITE(6,17) (DX1(I),I=L,L1)
   17 FORMAT(3X,'DX1=',10E12.4)
      IF(M.LE.L+9) GO TO 55
   54 CONTINUE
   55 CONTINUE
      RETURN
      END

      SUBROUTINE EPFRS6
C
      COMMON/B1/ U(40),R(40,40),T(40,40),U2(40,40)
      COMMON/B2/ M,N
      COMMON/B6/ B0,B1,B2,B3
      COMMON/B7/ DX1 (50)
      DIMENSION Y(40,40),X1(40,40),X2(40,40),INDEX(40)
C
      DO 60 J=1,40
   60 INDEX(J)=J
      DO 63 I=1,M
      K=0
      DO 61 J=1,N
      IF(R(I,J).LT.0.0) GO TO 61
      Y(I,J)=ALOG10(R(I,J))
      X2(I,J)=T(I,J)
      X1(I,J)=(Y(I,J)-B0-B2*X2(I,J))/(B1+B3*X2(I,J))+DX1(I)
      U2(I,J)=10**X1(I,J)
      K=K+1
   61 CONTINUE
      WRITE(6,18) U(I)
   18 FORMAT(1X,'*****','U=',E11.4)
      DO 62 L=1,50,10
      L1=L+9
      IF(K.LT.L1) L1=K
      WRITE(6,19) (INDEX(J),J=L,L1)
   19 FORMAT(10I12)
      WRITE(6,20) (R(I,J),J=L,L1)
   20 FORMAT(3X,'R  ',10E12.4)
      WRITE(6,21) (T(I,J),J=L,L1)
   21 FORMAT(3X,'T  ',10E12.4)
      WRITE(6,22) (U2(I,J),J=L,L1)
   22 FORMAT(3X,'U2  ',10E12.4)
      IF(K.LE.L+9) GO TO 63
   62 CONTINUE
   63 CONTINUE
      RETURN
      END
```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 7025 – 78. Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водопоглощения и морозостойкости.

2. **Коган В.В.** Гетерогенные равновесия. Л., Химия, 1968.

3. **Герасимов Я.И.** и др. Курс физической химии, т. 1, М.–Л., Химия, 1964.

4. **Нерсесова З.А.** Инструктивные указания по определению количества незамерзшей воды и льда в мерзлых грунтах. – В кн.: "Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов", № 2. АН СССР. 1954.

5. **Беркман А.С., Мельникова И.Г.** Структура и морозостойкость стеновых материалов, Л.–М., Госстройиздат, 1962.

6. **Розенфельд А.М.** Определение содержания льда в почве с помощью тепловых характеристик. Доклады ВАСХНИЛ, вып. 3, 1951.

7. **Фримштейн М.И., Ясик Ю.Д.** Способ определения количества незамерзшей воды при отрицательных температурах конструкции. Авт. свид. № 197233 – "Бюллетень изобретений" № 12, 1967.

8. **Химмельблау Л.** Анализ процессов статистическими методами. Л.–М., Мир, 1973.

9. **Берлинер М.А.** Измерения влажности. М., Энергия, 1973.

10. **Кемниц Ю.В.** Теория ошибок измерений. М., Недра, 1967.

11. **Фримштейн М.И., Ясик Ю.Д., Хурцилава А.К.** Исследование физико-химических свойств влажных строительных материалов. – В кн.: "Инженерно-физические исследования строительных материалов". Челябинск, УралНИИСТРОМПРОЕКТ, 1972.

12. **Вострокнутов Н.Г.** Техника измерений электрических и магнитных величин. М.–Л., Судпромгиз, 1958

13. **Лопатин Б.А.** Кондуктометрия. Новосибирск, СОАН СССР, 1964.

14. **Графов Б.М., Укше Е.А.** Электрохимические цепи переменного тока. М., Наука, 1973.

15. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности. М., Высшая школа, 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Основы электрометрического метода исследования фазовых превращений 7
3. Оценка систематических отклонений и их устранение 10
4. Программа для ЭВМ по обработке экспериментальных данных 13
5. Оборудование, измерительная аппаратура, оснастка 14
6. Подготовка и проведение эксперимента. Обработка полученных результатов 19
Приложение 37
Литература 46

НИИСФ Госстроя СССР

Рекомендации по определению фазового состава влаги в порах строительных материалов

Редакция инструктивно-нормативной литературы

Зав. редакцией *Л.Г. Бальян*
Редактор *Л.Н. Кузьмина*
Младший редактор *Л.И. Месяцева*
Внешнее оформление художника *А.А. Олендского*
Технический редактор *Н.Е. Поплавская*
Корректор *Н.С. Сафронова*

Н/К

Подписано в печать 07.01.85 Т-13284 Формат 84x108/32
Набор машинописный Печать офсетная Бумага офсетная № 2
Физ. печ.л. 1,5 Усл. печ.л. 2,52 Уч.-изд.л. 2,17 Усл. кр.-отт. 2,73
Тираж 4000 Изд. № XII-19 Зак. № 215. Цена 10 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Тула, проспект Ленина, 109

gost.e-ecolog.ru