

НИИСФ Госстроя СССР

Рекомендации

по определению
фазового состава
влаги в порах
строительных
материалов



Москва 1985

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 уравниванием. 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 натуральных 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 \rightleftharpoons 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 влажностях, 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 осаждаются 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 влажностях и температурах, увязанное с напряженно-деформированным состоянием материала и его структурой, 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 κ 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

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_k x_k + e. \quad (1)$$

Модель (1) считается линейной, так как искомые параметры b_0, b_1, \dots, 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, \dots, b_k , статистическую оценку и проверку адекватности модели (1) осуществляют известными статистическими методами [8] по $m > k+1$ наблюдаемых значений y, x_1, \dots, x_k .

2.5. При кондуктометрическом методе исследования, когда измеряемым электрическим свойством является электросопротивление, связь между переменными модели y, x_1, \dots, 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

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

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

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

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

многочисленных экспериментальных данных принимается

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

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

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

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

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

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

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

$$y = f(x_1, \dots, x_k), \quad (7)$$

общая ошибка функции определяется из выражения [10]

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

причем $\varepsilon_y = \theta y + \Delta y$; $\varepsilon_{x_l} = \theta_{x_l} + \Delta_{x_l}$ ($l = 1, \dots, k$).

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

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta_{x_1} + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta_{x_k}. \quad (9)$$

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

$$\varepsilon_{u_j} = \Delta_{u_j} + (\bar{\theta}_{u_j} + \bar{\theta}_{u_j}); \quad (j = 1, \dots, m).$$

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

$$|\mu - \mu'| > |\Delta_{\mu}| + |\Delta_{\mu'}|, \quad (9 \text{ а})$$

$$|\mu - \mu'| \leq |\Delta_{\mu}| + |\Delta_{\mu'}|, \quad (10)$$

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

$$(\bar{\theta}_{\mu} + \tilde{\theta}_{\mu})_j = |\mu - \mu'| - |\Delta_{\mu}| - |\Delta_{\mu'}|, \quad (11)$$

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 μ 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 μ , предсказанным моделью (2) по величине измеряемого электрического свойства материала и контролируемой температуры в области положительных температур, и значением μ' , 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 уравнивание. 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 *BPFERS1* 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 *BPFERS2* предназначена для формирования системы нормальных уравнений $Y = XB + E$, а подпрограмма *BPFERS3* — для нахождения обратной матрицы. Это позволяет, используя элементы обратной матрицы, по подпрограмме *BPFERS4* вычислять регрессионные коэффициенты B , а по подпрограмме *BPFERS5* определять дисперсии и ковариации для этих коэффициентов. По подпрограмме *BPFERS5* осуществляют также оценку систематических отклонений, которые учитывают в подпрограмме *BPFERS6* при расчете количества незамерзшей воды.

Программа *BPFERS* 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, ГЗ-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 x 50 x 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-

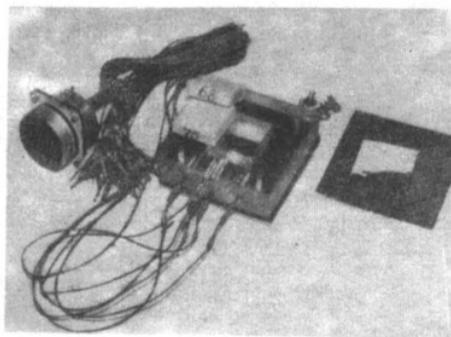


Рис. 1. Общий вид демпфирующего устройства с присоединенным вводом (верхняя крышка снята для обозрения)

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-

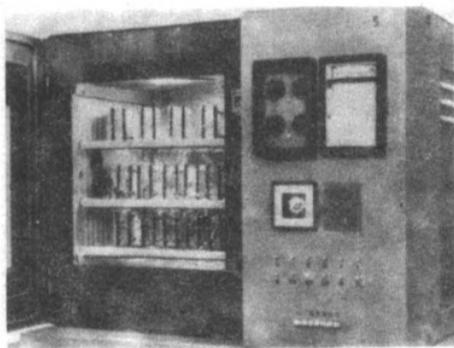


Рис. 2. Общий вид термокамеры с размещенными в ее рабочем объеме демпфирующими устройствами

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

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

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

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

где α - коэффициент теплообмена между средой и смываемой ею поверхностью

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

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 α 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

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

В том случае, когда $\Delta t \geq 2A_0 \exp\left(-x\sqrt{\frac{\pi}{\alpha p}}\right)$, 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 α .

Исходя из этих соображений толщина демпфера вычисляется по формуле

$$x \geq -\sqrt{\frac{\alpha p}{\pi}} \ln\left(\frac{\Delta t}{2A_0}\right). \quad (16)$$

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 степенями 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									

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

Примечание. Для каждого испытываемого i -того образца, порядковый номер которого записывают в первой графе ($i = 1, 2, \dots, M$, где M - количество образцов), отведено по три горизонтальных строки: в первой строке размещают значения исходного влагосодержания μ ; во второй - значение электрического параметра R на соответствующей j -той ступени температуры t , значениям которой отведена третья строка ($j = 1, 2, \dots, N$, 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 набирают на стандартных перфокартах в следующей последовательности.

На первой перфокарте набирают численные значения NUM, M, N форматом $I2$. В данном примере соответственно $NUM = 1$ (реализация программы сначала), $M = 7$, $N = 11$. Далее на новых перфокартах набирают численные значения исходных влагосодержаний μ по семь значений на каждой перфокарте форматом $E11,4$ (в данном примере все значения μ размещаются на одной перфокарте). Затем опять на новых перфокартах тем же форматом и в соответствии с табл. 2 набирают

№ образ-ца i	Обоз-начения пара-мет-ров	Значения измеряемых параметров				
		1	2	3	4	5
1	μ	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	μ	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	μ	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	μ	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	μ	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	μ	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	μ	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 XM1 = 0.8397E 00 XM2 = 0.1244E 02 XM3

МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ .

SX1I = -0.55815783E 0I SX1X1 = 0.14178200E 0I SX1X2 =

SX1X3 = -0.40432220E 02 SX2X2 = -0.12888966E 0I SX2X3 =

SX3X3 = -0.10115482E 03 SX1X3 = 0.16552581E 02 SX2X3 =

ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

C I (1) = 0.19460516E 0I C 2 (1) = 0.83751916E-0I C3 (1) =

C I (2) = 0.83785116E -0I C 2 (2) = 0.59305690E-02 C3 (2) =

C I (3) = -0.10035390E 00 C 2 (3) = -0.67525058E-02 C3 (3) =

РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

B0 = 0.4476E 0I B1 = -0.4158E 0I B2 = -0.2821E-0I B3 =

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ

D = 0.4963E - 0I

МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

DI = 0.9659E -0I

COV12 = 0.2944E -03 D2 = 0.4005E -03

COV13 = 0.4157E -02 COV23 = -0.4951E -02 D3 = -0.3333E -03

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ

	I	2	3	4	5
DXI =	-0.1105E -0I	-0.1107E -0I	0.7576E -02	0.2703E -0I	-0.3022E

***** U = 0.1084E 02

	I	2	3	4	5
R	0.8217E 00	0.8586E 00	0.1039E 0I	0.1385E 0I	0.1250E
T	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E 0I	0.0000E
U2	0.1084E 02	0.1106E 02	0.1086E 02	0.1043E 02	0.1102E

***** U = 0.1035E 02

	I	2	3	4	5
R	0.8192E 00	0.8762E 00	0.8857E 00	0.1104E 0I	0.1156E
T	0.3000E 02	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E
U2	0.1015E 02	0.1031E 02	0.1063E 02	0.1037E 02	0.1058E

II

R 0.5353E 02

T -0.2000E 02

U2 0.5317E 0I

***** U = 0.1008E 02

	I	2	3	4	5
R	0.1152E 0I	0.1289E 0I	0.1322E 0I	0.1934E 0I	0.1851E 0I
T	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E 0I
U2	0.1000E 02	0.1006E 02	0.1033E 02	0.9705E 0I	0.1014E 02

***** U = 0.8950E 0I

= 0.1041E 02

- 0.1288966E 01 SXIX3 = 0.16552581E 02
0.32060938E 04 SXIX3 = 0.26667283E 04
0.26667283E 04 SXIX3 = 0.25474268E 04

-0.99753677E-01
-0.67147761E-02
0.80699659E-02

0.1684E-01

-01. 0.1412E⁶ -01 0.1549E⁷ -01

	6		7		8		9	
01	0.8498E	01	0.1933E	02	0.3008E	02	0.4862E	02
00	-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02	-0.2000E	02
02	0.7215E	01	0.6186E	01	0.5815E	01	0.5433E	01

	6		7		8		9		10	
01	0.1390E	01	0.1862E	01	0.1028E	02	0.2154E	02	0.3411E	02
02	0.5000E	02	0.0000E	00	-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02
02	0.1042E	02	0.1001E	02	0.6898E	01	0.6033E	01	0.5651E	01

	6		7		8		9		10
0.2016E	01	0.1238E	02	0.2660E	02	0.4160E	02	0.6590E	02
0.0000E	00	-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02	-0.2000E	02
0.1025E	02	0.6892E	01	0.5998E	01	0.5640E	01	0.5300E	01

	I	2	3	4	5
R	0.2790E 01	0.2874E 01	0.3141E 01	0.5043E 01	0.2560E 01
T	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E 01	0.0000E 00
U2	0.8592E 01	0.8859E 01	0.8988E 01	0.8292E 01	0.1012E 02

****U = 0.4550E 01

	I	2	3	4	5
R	0.1521E 02	0.1636E 02	0.1842E 02	0.2304E 02	0.2314E 02
T	0.3000E 02	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02
U2	0.4363E 01	0.4508E 01	0.4596E 01	0.4557E 01	0.4775E 01

II

R	0.3183E 03
T	-0.2000E 02
U2	0.3712E 01

****U = 0.4230E 01

	I	2	3	4	5
R	0.3758E 02	0.4658E 02	0.5600E 02	0.5788E 02	0.1009E 03
T	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 01	0.5000E 01	0.0000E 00
U2	0.4223E 01	0.4214E 01	0.4238E 01	0.4421E 01	0.4061E 01

****U = 0.4030E 01

	I	2	3	4	5
R	0.3901E 02	0.4683E 02	0.5702E 02	0.6756E 02	0.8228E 02
T	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E 01
U2	0.3969E 01	0.4000E 01	0.4014E 01	0.4056E 01	0.4068E 01

NUM = 2 L = 28

YM = 0.5005E 01 XM1 = 0.7576E 01 XM2 = -0.1042E 00 XM3 = -0.7891E 00
 МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

SYX1 = 0.84531875E 02	SX1X1 = 0.23773250E 03	SX1X2 = 0.59604645E -07
SYX2 = -0.54024410E 00	SX1X2 = 0.59604645E -07	SX2X2 = 0.94791352E -01
SYX3 = -0.14304384E 02	SX1X3 = -0.24763763E 02	SX2X3 = 0.71811342E 00

ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

CI(1) = 0.17564137E -01	C2(1) = -0.97147506E 00	C3(1) = 0.12823462E 00
CI(2) = -0.97146887E 00	C2(2) = 0.81202026E 02	C3(2) = -0.93261375E 01
CI(3) = 0.12834334E 00	C2(3) = -0.93340931E 01	C3(3) = 0.12321005E 01

РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

B0 = 0.3083E 01 B1 = 0.1752E 00 B2 = 0.7416E 01 B3 = -0.1733E 01

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ

D = 0.4438E 00

МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

DI = 0.7794E -02

COV12 = 0.3604E 02

D2 = 0.5468E 00

COV13 = -0.4311E 00

COV23 = 0.5691E -01

D3 = -0.4139E 01

6		7		8		9	
0.2253E	02	0.4586E	02	0.7707E	02	0.1311E	03
-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02	-0.2000E	02
0.6259E	01	0.5531E	01	0.5128E	01	0.4756E	01

6		7		8		9		10	
0.3246E	02	0.4469E	02	0.9363E	02	0.1573E	03	0.2101E	03
0.5000E	01	0.0000E	00	-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02
0.4601E	01	0.4460E	01	0.3921E	01	0.3646E	01	0.3581E	01

6		7		8		9	
0.1315E	03	0.2460E	03	0.2996E	03	0.4531E	03
-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02	-0.2000E	02
0.4008E	01	0.3641E	01	0.3659E	01	0.3503E	01

6		7		8		9		10	
0.1009E	03	0.1678E	03	0.2613E	03	0.3350E	03	0.4974E	03
0.0000E	00	-0.5000E	01	-0.1000E	02	-0.1500E	02	-0.2000E	02
0.4074E	01	0.3797E	01	0.3602E	01	0.3579E	01	0.3442E	01

SX1X3 = -0.24763763E 02
 SX2X3 = 0.71811342E 00
 SX3X3 = 0.88245983E 01

Численные значения температур t набирают 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 = 1 L = 41

UM = 0.8089E 00 XM1 = 0.8397 = 00 XM2 = 0.1244E

МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

SX11 = -0.55813783E 01 SX12 = 0.14178200E 01

SX13 = -0.40432220E 02 SX14 = -0.12888966E 01

SX21 = -0.10115482E 03 SX22 = 0.16532581E 02

ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

CI(1) = 0.19460516E 01 C2(1) = 0.83751916E -01

CI(2) = 0.83783116E -01 C2(2) = 0.59303690E -02

CI(3) = -0.10035390E 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 X13 = 0.1041 E 02

SX1X2 = -0.12888966E 01 SX1X3 = 0.16552581E 02

SX2X2 = 0.32060938E 04 SX2X3 = 0.26667283E 04

SX2X3 = 0.26667283E 04 SX3X3 = 0.25474268E 04

C3(1) = -0.99753677E - 01

C3(2) = -0.67147761E - 02

C3(3) = 0.80699659E - 02

РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

BO = 0.4476E 01 BI = -0.4158E 01

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ

D = 0.8963E - 01

МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ

DI = 0.9659E - 01

COVI2 = 0.2944E - 03 D2 = 0.4005E - 03

COVI3 = 0.4157E - 02 COV23 = -0.4951E - 02

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ

	1	2	3
DXI =	-0.1105E - 01	-0.1107E - 01	0.7576E - 02

****U = 0.1084E 02

	1	2	3	4
R	0.8217E 00	0.8586E 00	0.1039E 01	0.1385E
T	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E
U2	0.1084E 02	0.1106E 02	0.1086E 02	0.1043E

*****U = 0.1035E 02

	1	2	3	4
R	0.8192E 00	0.8762E 00	0.8857E 00	0.1104E
T	0.3000E 02	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E
U2	0.1015E 02	0.1031E 02	0.1063E 02	0.1037E

*****U = 0.1008E 02

	1	2	3	4
R	0.1152E 01	0.1289E 01	0.1322E 01	0.1934E 01
T	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02
U2	0.1000E 02	0.1006E 02	0.1033E 02	0.9705E 01

*****U = 0.8950E 01

	1	2	3	4
R	0.2790E 01	0.2874E 01	0.3141E 01	0.5043E 01
T	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E 01
U2	0.8502E 01	0.8859E 01	0.8958E 01	0.8292E 01

*****U = 0.4550E 01

$$B_2 = -0.2821E-01 \quad B_3 = 0.1684E-01$$

РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

$$D_3 = -0.3333E-03$$

$$0.2703E-01 \quad 0.3022E-01 \quad 0.1412E-01 \quad 0.1549E-01$$

	5		6	
01	0.1250E	01	0.8498E	01
01	0.0000E	00	-0.5000E	01
02	0.1102E	02	0.7215E	01

	5		6		7	
01	0.1156E	01	0.1390E	01	0.1862E	01
02	0.1000E	02	0.5000E	01	0.0000E	00
02	0.1058E	02	0.1042E	02	0.1001E	02

	5		6
0.1851E	01	0.2016E	01
0.5000E	01	0.0000E	00
0.1014E	02	0.1025E	02

	5		6
0.2560E	01	0.2253E	02
0.0000E	00	-0.5000E	01
0.1012E	02	0.6259E	01

	I	2	3	4
R	0.1521E 02	0.1636E 02	0.1842E 02	0.2304E 02
T	0.3000E 02	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02
U2	0.4363E 01	0.4508E 01	0.4596E 01	0.4557E 01

*****U = 0.4230E 01

	I	2	3	4
R	0.3758E 02	0.4653E 02	0.5600E 02	0.3788E 02
T	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02	0.5000E 01
U2	0.4223E 01	0.4214E 01	0.4238E 01	0.4421E 01

*****U = 0.4030E 01

	I	2	3	4
R	0.3901E 02	0.4683E 02	0.5702E 02	0.6756E 02
T	0.2500E 02	0.2000E 02	0.1500E 02	0.1000E 02
U2	0.3969E 01	0.4000E 01	0.4014E 01	0.4056E 01

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

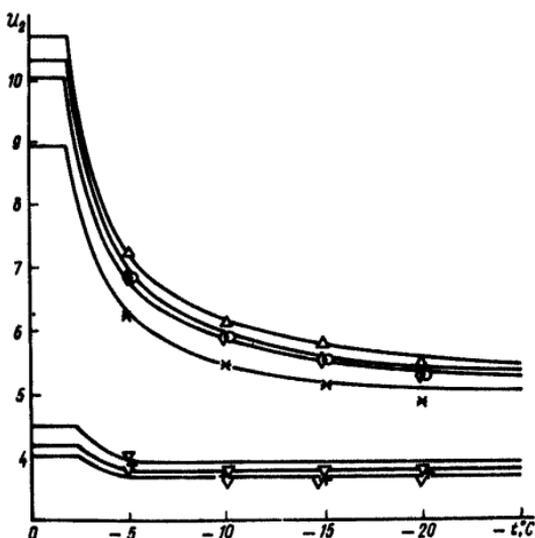


Рис. 3. Зависимость количества незамерзшей воды u_2 от температуры t для образцов исследованного строительного материала с различными исходными влажностями, %: Δ - 10,84; \diamond - 10,35; \circ - 10,08; $*$ - 8,95; ∇ - 4,55; $+$ - 4,23; $\bar{\vee}$ - 4,03; сплошные линии - расчетные значения для соответствующих исходных влажностей

№ образ-ца i	Обозна-чения пара-метров	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

UM = 0.5005E 01 XMI = 0.7576E 01 XM2 = -0.1042E

МАТРИЦА НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

SYX1 = 0.84531875E 02 SXIX1 = 0.23773250E 03

SYX2 = -0.54024410E 00 SXIX2 = 0.59604645E -07

SYX3 = -0.14304384E 02 SXIX3 = -0.24763763E 02

ОБРАТНАЯ МАТРИЦА
C1 (1) = 0.17564137E -01 C2(1) = -0.97147506E 00

C1 (2) = -0.97146887E 00 C2(2) = 0.81202026E 02

C1 (3) = 0.12834334E 00 C2(3) = -0.93340931E 01

РЕГРЕССИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

BO = 0.3083E 01 BI = 0.1752E 00 B2 = 0.7416E

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОСТАТОЧНАЯ ДИСПЕРСИЯ

D = 0.4438E 00

МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ РЕГРЕССИОННЫХ

DI = 0.7794E -02

COV12 = 0.3604E 02 D2 = 0.5468E 00

COV13 = -0.4311E 00 COV 23 = 0.5691E -01

мость $\mu_2(\mu, t)$. 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 ($0^\circ\text{C} \geq t \geq t_{m,3}$); 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

SX1X2 = 0.59604645E - 07 SX1X3 = -0.24763763E 0E

SX2X2 = 0.94791352E - 01 SX2X3 = 0.71811342E 00

SX2X3 = 0.71811342E 00 SX3X3 = 0.88245983E 01

C3(1) = 0.12823462E 00

C3(2) = -0.93261375E 01

C3(3) = 0.12321005E 01

01 B3 = -0.1733E 01

КОЭФФИЦИЕНТОВ

D3 = -0.4139E 01

ПРИЛОЖЕНИЕ

```

PROGRAM BPFIRST
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
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      ПДЕ 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 BPFERS1
      IF(L.LE.4) GO TO 7
C      ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ Y=XB+E
      CALL BPFERS2
C      НАХОЖДЕНИЕ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ (МЕТОД ДУЛИТЛА)
      CALL BPFERS3
C      ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ B0,B1,B2,B3
      CALL BPFERS4
C      ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
C      МОДЕЛИ Y=XB+E
C
C      ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ
C      ДЛЯ NUM=1
      CALL BPFERS5
      IF (NUM.EQ.2) GO TO 4
C
C      РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ
C      (НЕСМЕШЕННЫЕ ОЦЕНКИ)
      CALL BPFERS6

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

```

SUBROUTINE BPFERS1

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) YM, XM1, XM2, XM3
3  FORMAT(3X,'YM=',E11.4,1X,'XM1=',E11.4,1X,
1'XM2=',E11.4,1X,'XM3=',E11.4)
12 CONTINUE
      RETURN
      END

      SUBROUTINE HPFRS2
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
      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=0.000000005
  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(5X, ' 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 HPPR84

COMMON/B3/ IM, 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*XN1+B2*XN2+B3*XN3
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 BPFBS5
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(5X, 'D=' ,E11.4)
  WRITE(6,13)
13 FORMAT(5X, 'МАТРИЦА ДИСПЕРСИЙ И КОВАРИАЦИЙ /
  I'РЕГРЕССИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ')
  WRITE(6,14) D1,D2,D3,COV12,COV13,COV23
14 FORMAT(6X, 'D1=' ,E11.4/
  15X, 'COV12=' ,E11.4,6X, 'D2=' ,E11.4/
  25X, 'COV13=' ,E11.4,5X, 'COV23=' ,E11.4,6X, 'D3=' ,E11.4)
  IF(NUM,BQ.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
  XP(M,L,T,L1) L1=M
  WRITE(6,16) (INDEX(I),I=L,L1)

```

```

16 FORMAT(10I12)
   WRITE(6,17) (DX1(I),I=L,L1)
17 FORMAT(5X,'DX1=',10E12.4)
   IF(M.LE.L+9) GO TO 55
54 CONTINUE
55 CONTINUE
   RETURN
   END

SUBROUTINE BPFBS6
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(5X,'R ',10E12.4)
   WRITE(6,21) (T(I,J),J=L,L1)
21 FORMAT(5X,'T ',10E12.4)
   WRITE(6,22) (U2(I,J),J=L,L1)
22 FORMAT(5X,'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.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	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 Госстрой 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 84х108/32
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 издательства, полиграфии и книжной торговли
г. Тула, проспект Ленина, 109