

*На правах рукописи*

Кожевников Борис Леонидович

**МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА  
КОМПЛЕКСНЫХ ОЦЕНОК АГРЕССИВНОСТИ  
ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ**

Специальность 25.00.30 – метеорология,  
климатология, агрометеорология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург

2010

Работа выполнена в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Майборода Леонид Александрович**

доктор технических наук, профессор  
**Ложкин Владимир Николаевич**

доктор технических наук  
**Волкодаева Мария Владимировна**

Ведущая организация: Российский государственный  
гидрометеорологический университет

Защита состоится «15» декабря 2010 г. в 10 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 327.005.01 при ГУ «ГГО» по адресу: 194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ «ГГО»

Автореферат разослан: «10» ноября 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите  
докторских и кандидатских диссертаций  
доктор географических наук

А. В. Мещерская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Введение

В последние десятилетия благоприятные погодно-климатические условия (ПКУ) территорий государств все больше рассматриваются как естественный ресурс, как элемент национального богатства. Эффективное использование этого богатства, применение знаний о погоде и климате на практике является одной из основных задач Всемирной климатической программы.

Однако, (как указывал А. Н. Лебедев) накопленные данные метеорологических наблюдений и климатических обобщений недооцениваются и недоиспользуются. Так, в частности, метеорологи-климатологи не всегда представляют особенности проектирования, существования, функционирования технических объектов (ТО): изделий, сооружений и материалов, эксплуатируемых в атмосферных условиях, а специалисты от техники, в свою очередь, недостаточно знают возможности метеорологов-климатологов. Необходимость преодоления этого барьера разобщенности все больше осознается исследователями.

**Диссертация посвящена проблеме создания новой научно обоснованной технологии (методологии) более полного использования данных о погодно-климатических условиях в целях получения от них дополнительной пользы для дальнейшего успешного развития экономики страны.**

Появление новых показателей влияния ПКУ, помимо создания новых каналов взаимопонимания и взаимодействия специалистов от техники с метеорологами-климатологами, открывает также возможности по увеличению спроса на услуги и продукцию последних.

**Актуальность** работы вызвана следующими обстоятельствами:

- ПКУ оказывают все более возрастающее агрессивное влияние на технические изделия и сооружения, на существование, функционирование, хранение ТО;
- по данным ВНИИГМИ-МЦД средний годовой ущерб в России только от опасных явлений достигает 3 - 4 миллиарда рублей и составляет значимую долю ВВП; к этому следует добавить убытки от ошибок в выборе климатической защиты ТО;
- меры климатической защиты ТО, как правило, весьма затратны; их применение требует «весомых» обоснований; избыточная климатическая защита ТО также невыгодна, как и недостаточная;
- известные методы описания и оценки ПКУ либо отвлеченно шкалируют или индексируют атмосферные условия, либо классифицируют их по «механизмам поражений»: по влиянию на отдельные процессы, конструкции и узлы;
- методы отличаются описательностью с большим элементом субъективизма, а в случае применения вероятностно-статистических параметров имеют весьма ограниченные возможности по комплексированию действия климатических факторов;
- оптимизация климатической защиты ТО, приведение ее в адекватное соответствие с реальным уровнем комплексных атмосферных воздействий невозможны без разработки новой методологии объективной расчетной оценки влияния погодно-климатических факторов, без введения новых показателей обобщенных нагрузок от них.

**Научная новизна** работы состоит в том, что для решения рассматриваемой в диссертации проблемы использованы методы и положения квалиметрии, энергетическое энтропийное истолкование воздействий ПКУ и их последствий, а также представление о «нормальных условиях» как об условиях абсолютной благоприятности ПКУ для ТО.

**Объектами исследований** являются ПКУ, их, как правило, агрессивные проявления и негативные признаки и свойства относительно ТО, эксплуатируемых в атмосфере.

**Предмет исследования** – общие закономерности негативного влияния воздействующих климатических факторов (ВКФ) на ТО и возникающие из-за этого дополнительные нагрузки на них вследствие агрессивности, жесткости условий окружающей атмосферы.

**Методы исследования:**

- сравнение действия ПКУ с воздействиями ВКФ в «эталонных, нормальных» условиях, обладающих базовыми показателями свойств, признаков и параметров полного качества, совершенной благоприятности относительно существования и функционирования ТО;
- представление воздействий атмосферы на ТО в виде дезинформационного шума, определяемого условной энтропией с неограниченными возможностями по комплексированию; выполнение расчетов по оценке текущей агрессивности ПКУ через скорость производства информационной энтропии и оценки нагрузок от ПКУ через произведенное ее количество за выбранные промежутки времени;
- выполнение аналогичных расчетов, но с представлением необратимых последствий от воздействий атмосферы через величину термодинамической энтропии и с использованием нормированного энергообмена;
- выполнение тех же операций комбинированным путем с применением двух первых методов при использовании условной эквивалентности обеих энтропий в выбранных точках параметризации ПКУ с выражением получаемых результатов через скорость и количество произведенной информационной энтропии.

**Личный вклад автора** – разработана методология энтропийного расчета комплексных оценок агрессивности погодно-климатических условий для техники.

**Задача диссертации** – решение проблемы создания новой научно обоснованной методологии (технологии) более полного использования накопленных метеорологических и климатических данных о ПКУ различных географических районов для технических целей путем:

- разработки методологии расчетной оценки качества ПКУ, их агрессивности, жесткости относительно ТО;
- создания на этой основе нового канала взаимодействия и взаимопонимания специалистов от техники и метеорологов-климатологов.

**Достоверность научных положений и полученных результатов** обеспечивается:

- использованием известных объективных законов термодинамики, теории информации, положений информационной теории измерений, общей и специальной квалиметрии;
- применением для расчетов стандартизованных данных о погоде и климате;
- результатами натурных экспериментов с образцами ТО, находившимися как в открытой экспозиции в атмосфере, так и в камерах искусственного климата.

**Научные положения и результаты**, выносимые на защиту:

- методология расчета объективных энтропийно-временных показателей негативных проявлений и агрессивных свойств ПКУ относительно ТО;
- информационно-статистический метод расчета одномоментных и суммарных нагрузок от воздействия ПКУ на технические объекты;
- термодинамический (термодиссипативный) метод – аналог первого метода;

- объединенный метод, обобщающий два первых и устраняющий их недостатки;
- результаты расчетов по количественной оценке агрессивных свойств и проявлений ПКУ районов и исследованных территории;
- средства измерений и способы реализации отдельных положений предложенной методологии.

**Практическая ценность** результатов состоит в том, что предлагаемая методология, ее энтропийно-временные показатели (включая комплексные) могут быть успешно использованы при решениях следующих утилитарных задач:

- при формулировании требований технических заданий на проектирование ТО, в частности – требований к их климатической защите от отдельных ВКФ и комплексных погодно-климатических воздействий;
- при обосновании выбора проектировщиками оптимальной, наиболее выгодной климатической защиты ТО;
- при оценке результатов климатических испытаний макетов и опытных образцов спроектированных ТО;
- при доказательстве адекватности нагрузок, развиваемых режимами испытаний в камерах искусственного климата, нагрузкам, испытываемым ТО в натуральных условиях в открытой экспозиции в атмосфере;
- для обеспечения заданной надежности функционирования ТО путем расчетного обоснования комплектации ЗИПов, определения правил упаковки, хранения и транспортирования ТО;
- при адаптации режима обслуживания к скорости расхода ресурса ТО и ресурса его климатической защиты в конкретных погодно-климатических условиях района эксплуатации с целью удешевления обслуживания ТО и обеспечения максимальной эффективности и срока службы ТО;
- при разработке регламентов по районированию и параметризации ПКУ территорий для технических и прочих целей;
- при прогнозировании конечных эффектов от процессов, подверженных влиянию погод и климата, по реализованной части временной траектории в сравнении с аналогичной частью траектории, выбранной за «базовый эталон»;
- при отслеживании временных изменений ПКУ.

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на восьмом Всесоюзном семинаре «Стандартизация средств и методов защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений», ВДНХ СССР, Москва, 1991 г.
- на научно-практической конференции, организованной Межгосударственным советом по гидрометеорологии стран СНГ и Росгидрометом, по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды, секция 5 «технические средства, системы, методы и технологии гидрометеорологических наблюдений», Москва, 1996 г.;
- на объединенном семинаре отделов ГГО им. А. И. Воейкова, Ленинград, 1993 г.

#### **Внедрение результатов исследований.**

Метод информационно-статистической оценки атмосферных условий (их сберегающего ресурса) и регистратор поверхностного увлажнения, конструкции автора, были использованы:

- в 1988 г. лабораторией физической географии Института географии Казахской ССР для исследований по проблеме «Разработать и внедрить комплексную программу

охраны природы при освоении нефтяных и газовых месторождений Западного Казахстана».

– в 1990 г. в работах того же Института по оценке коррозионной агрессивности атмосферы в отношении технических изделий, эксплуатируемых в районах нефтепромыслов Прикаспия.

Термодинамический (термодиссипативный) метод был использован ВНИИ «Электронстандарт» в период 1990 ... 1991 гг. при составлении программ лабораторных и натуральных испытаний стойкости образцов материалов электронной техники к воздействующим климатическим факторам.

Результаты расчетов объединенным методом использованы для корректировки межповерочных интервалов метеорологических средств измерений.

**Публикации по теме диссертации.** Результаты исследований и разработок, которые были осуществлены автором лично и совместно с другими авторами, отражены в 2 патентах, 9 авторских свидетельствах на изобретение, 1 монографии и 38 опубликованных статьях.

**Структура и объем диссертации:** диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, списка литературы и трех приложений; содержит 230 стр., включает 29 таблиц, 21 рисунок. Список литературы содержит 219 наименований на русском и английском языках.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** определена проблема, решаемая в диссертационной работе, показана актуальность темы, новизна и практическая значимость; перечислены методы исследований и способы обеспечения достоверности использованных положений и полученных результатов; приведены другие сведения о работе, об ее объеме и структуре.

**Глава 1** состоит из раздела, в котором приведены факты о последствиях воздействий погоды и климата на ТО, показана их роль в ухудшении рабочих свойств этих объектов;

глава включает раздел, в котором описана существующая система защиты ТО, ее структура, роль и место, занимаемое в ней метеорологическими и климатическими данными;

в главе имеется также раздел посвященный известным описаниям климата, индексам и шкалам погоды, способам оценок, включая экспертные и вероятностно-статистические;

в заключительном разделе главы рассмотрены применяемые в настоящее время теоретические методы определения агрессивности атмосферы и практические приемы исследования жесткости ее условий относительно отдельных видов технических изделий и образцов материалов как в испытательных камерах, так и на площадках в различных условиях климатических районов;

сделан вывод, что при таком множестве воздействующих климатических факторов и таком разнообразии подверженных их влиянию ТО единственной, по-видимому, возможностью решения проблемы создания новой методологии является энергетический подход через использование универсального энтропийного аппарата, через применение энтропийно-временных показателей нагрузки на ТО со стороны ПКУ.

**Глава 2** Первый раздел главы посвящен особенностям энтропийного анализа физической системы, состоящей из ТО и окружающей атмосферы.

В соответствии с законом сохранения энергии в равновесных условиях энгопотенциалы ТО и атмосферы равны, энергообмена не происходит; в этих условиях покоя система «теряет координату времени».

Напротив, при воздействии ВКФ в системе возникает энергообмен; часть энергии обмена «теряется» в окружающем пространстве. Эти потери происходят как за счет атмосферы, так и черпаются из внутренней энергии ТО. При этом (в соответствии со взглядами Бриллюэна) расходуется «связанная» в структуре ТО энергия, обеспечивающая рабочие свойства ТО; уменьшается негэнтропия структуры ТО возрастает ее разупорядоченность, ее энтропия. В целом можно сказать, что воздействие ВКФ приводит, как правило, к ухудшению качества ТО.

Такое энергетическое понимание действия ВКФ и обобщенное энтропийное истолкование их последствий открывает возможности по расчетной оценке агрессивности ПКУ как по отдельным ВКФ, так и по их комплексам.

Однако, расчет абсолютных значений энтропии ТО практически невозможен; вследствие этого природа энтропийного исследовательского аппарата относительная и для его успешного применения необходимо установление некоего исходного состояния системы, в котором энергообмен и производство энтропии отсутствует. Такое исходное состояние атмосферы в технике определено, документировано и называется «нормальными условиями» или *en reference condition (RC)*. Согласно п. 3.15 ГОСТ 15150 нормальными значениями воздействующих факторов атмосферы являются: температура воздуха – плюс  $25 \pm 5$  °С, его относительная влажность – 45 – 80 %, атмосферное давление 840 – 1067 гПа. Другие стандарты предусматривают возможность использования более широких и более узких интервалов, сдвигов их центральных точек по оси значений ВКФ, а также «оговаривают» дополнительные условия: отсутствие ВКФ в виде энергетического солнечного излучения, атмосферных осадков, морских брызг, тумана, высоких концентраций пыли (песка), коррозионно-активных и биологических агентов, загрязнений воздуха.

В неизменных нормальных ПКУ «связанная энергия» и «связанная информация» могут сохраняться в структуре ТО бесконечно долго. Это положение широко используется для хранения государственных эталонов единиц физических величин. Нормальные условия стараются обеспечить также в запасниках музеев, в архивах, на складах технических и прочих изделий, в жилых и рабочих помещениях, в кабинах машин. ГОСТ 15150 определяет нормальные условия и близкие к ним как легкие (Л). К ним относятся условия нахождения ТО в отапливаемых вентилируемых помещениях и хранилищах с кондиционированием воздуха. Условия площадок и навесов хранения в «открытой атмосфере» стандарт определяет как «Очень Жесткие» и «Жесткие» с обозначениями ОЖ и Ж.

В нормальных условиях по определению отсутствует энергообмен, следовательно – энергопотенциалы ТО и атмосферы в системе равны. Принимая во внимание это обстоятельство, из дальнейшего исследования можно исключить ТО, т.е. решать поставленную задачу в рамках только метеорологической системы, состоящей из двух сравниваемых состояний атмосферы. При этом поступающие и накопленные данные могут рассматриваться как информация об «аномальности» ПКУ, а ВКФ - как факторы, выводящие систему из состояния покоя, создающие помеху ее равновесию.

Из раздела следует, что

- энтропийный аппарат есть аппарат относительный и для его использования необходимо установление условного исходного состояния объекта исследования (в нашем случае ПКУ); такое состояние в технике определено и называется «нормальными условиями»;
- с точки зрения энтропийной методологии данные наземных метеорологических измерений (наблюдений) и климатических обобщений представляют собой информацию об «аномальности» ПКУ;
- высокие скорости производства метеоинформации и ее большие количества, накапливаемые за типовые периоды времени, есть признаки низкого качества атмосферных условий, признаки агрессивности, жесткости ПКУ.

Во втором разделе главы последние выводы использованы для создания информационно-статистического метода (ИСМ) оценки агрессивности атмосферы. В нем данные метеорологических наблюдений и измерений, выходящие за рамки интервалов нормальных условий, рассматриваются как дезинформационный шум, вносящий необратимые негативные изменения в исследуемую физическую систему. Тогда значения интенсивности шума и его количества за временные интервалы (с помощью известных положений теории информации и информационной теории измерений) могут быть использованы в качестве характеристик агрессивности погодно-климатических условий.

Так ВКФ (например - в виде температуры воздуха) при отклонениях за пределы интервала нормальных значений RC может рассматриваться как случайная величина X с неким естественным законом плотности распределения вероятности p(x). Согласно 16-й теореме теории информации вне зависимости от объекта воздействия дезинформационный шум от такого ВКФ характеризуется функционалом энтропии H(X)

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \ln p(x) dx$$

В случае, если интервал действия ВКФ ограничен неким условием, например – нахождением в пределах нормальных значений, то его дезинформационное действие определяется другой - условной энтропией H(X/X<sub>n</sub>) со своим законом плотности распределения вероятности p<sup>n</sup>(x).

При равномерных законах плотности распределения вероятности (которыми искусственно замещаются эквивалентными по энтропии реальные законы p(x) и p<sup>n</sup>(x) приемами информационной теории измерений П. В. Новицкого) становятся справедливыми два равенства:

$$H(X/X_n) = \ln \Delta_n;$$

$$H(X) = \ln X - X_n = \ln \Delta X,$$

где Δ<sub>n</sub> – интервал допускаемых (неразличимых между собой) отклонений случайной величины от центральной точки X<sub>n</sub> в нормальных условиях.

Тогда, согласно К.Шеннону, количество дезинформации, отображаемой минусом при q, от действия ВКФ определяется разностью:

$$- q = H(X/X_n) - H(X) = \Delta H = \ln (X - X_n)/\Delta_n = \ln N,$$

где N – число градаций размером Δ<sub>n</sub>, умещающихся на интервале (X - X<sub>n</sub>) с текущим значением X включительно.

В случае введения в исследования координаты времени с дискретностью в единицу (Δτ = 1 с) формируется первый показатель ИСМ - показатель текущей агрессивности ПКУ. Этот показатель, отражающий интенсивность дезинформационного шума от ВКФ, определяется как скорость производства информационной энтропии (- q)', бит/с или bps (bits per second)

$$(- q)' = \partial \Delta H / \partial \tau = (k \ln N) / \Delta \tau, \dots \dots \dots (1)$$

где N – порядковый номер интервала (начиная с интервала нормальных RC значений) на оси ВКФ, в который попадает результат измерения текущей интенсивности действия ВКФ;

k – модуль перевода единиц, равный k = 1/ln 2 = 1,4427 бит/нит.



Типовой графика зависимости (1) представлен на рисунке 1. Разрыв кривой функции  $(-q)' = f(N)$  находится в интервале RC, в пределах которого атмосферным условиям приписывается абсолютное качество, совершенную благоприятность существованию и функционированию ТО.

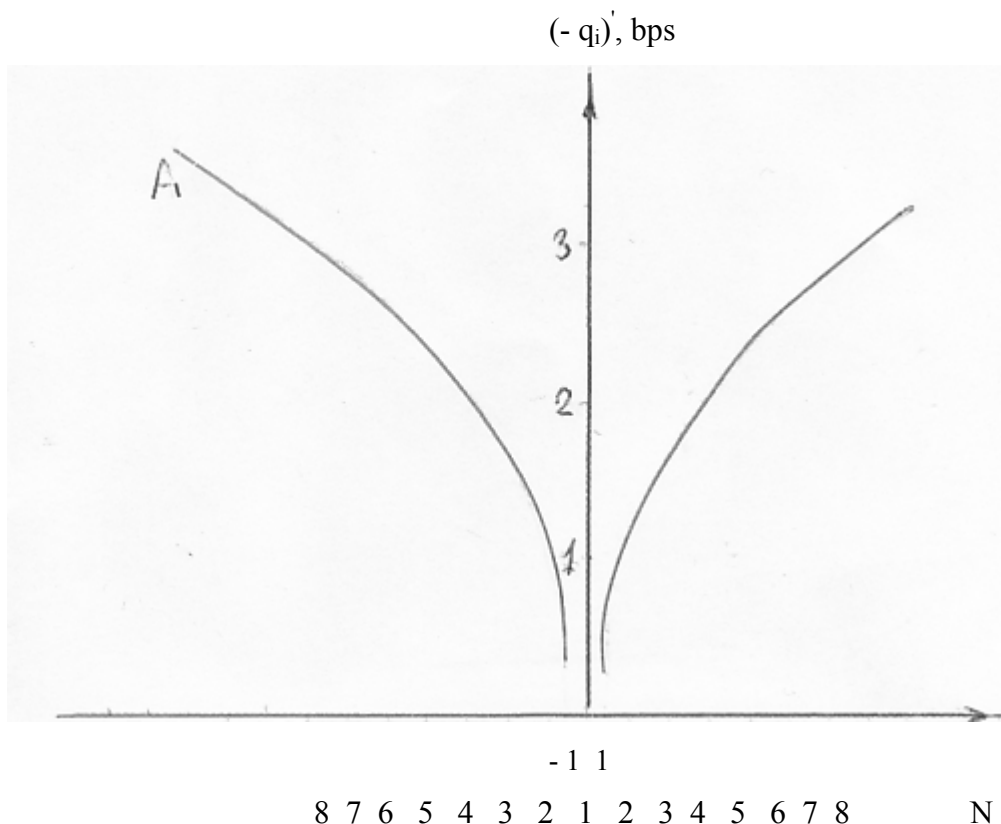


Рисунок 1 Вид графика типовой зависимости скорости производства информационной энтропии  $(-q)'$  от интенсивности ВКФ

Интегрирование первого показателя по времени позволяет получить второй показатель ИСМ агрессивности ПКУ, которым является общее количество произведенной ВКФ дезинформации  $-Q$  за выбранный период, например - за месяц, квартал, год.

$$-Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (-q)' dt \text{ или } -Q = \sum_{i=1}^n (-q_i)' \Delta\tau; = [(-q_{cp})]' \tau, \dots \dots \dots (2)$$

где  $\tau = \tau_2 - \tau_1$  - выбранный типовой период, в течение которого определяется текущие значения величины  $(-q_j)'$ , с;  
 $[(-q_{cp})]'$  – среднее значение  $(-q_j)'$  за период  $\tau$ , bps.

Представление различных по природе ВКФ в виде значений показателей с одинаковой размерностью обеспечивает аддитивность получаемых результатов, т.е. возможность любого комплексирования ВКФ под конкретную задачу технического расчета [12, 16].

Если в географической точке установлена автоматическая метеостанция с непрерывным ежесекундным режимом измерений, то ее программа по формуле (1) может непрерывно отслеживать текущее значение величины  $(-q_j)'$ , производимой каждым видом ВКФ, т. е. может отслеживать одномоментную нагрузку от ВКФ. Суммирование  $(-q_1)'$  +  $(-q_2)'$  +  $(-q_3)'$  + ... позволит программе по окончанию периода  $\tau$  выдавать суммарную нагрузку от интересующего ВКФ или их комплекса.

В настоящее время на метеорологических станциях и постах измерения и наблюдения производятся дискретно в назначенные сроки, однако метеоданные между

сроками могут быть восстановлены интерполяцией и/или представлением результатов в виде средних значений. Этот второй вид данных о дезинформационном шуме также достаточно полный, но с большей (чем в первом случае) погрешностью из-за интерполяции и осреднения.

К третьему виду сведений о шуме следует отнести данные о погодных явлениях, наблюдаемых по условным и натуральным шкалам, например - данные визуальных наблюдений за количеством, ярусами и формой облаков или результаты наблюдений за скоростью ветра по шкале Бофорта.

Четвертый и пятый вид сведений о шуме представляют собой короткие сообщения о наличии погодного явления возможно с субъективной оценкой интенсивности, о сроке обнаружения и длительности существования явления, например – «сильной» пыльной бури или «слабого» поэмка в течение дня. К этому же виду следует отнести и краткие сообщения о числе погодных явлений, случившихся в данной местности за некоторый интервал времени, например – о повторяемости гроз за месяц, сезон или за год.

Если значения суммарной величины ( $-Q$ ) за год по первым двум видам сведений достигают мегабит, то значения по другим - не превышают десятка бит. Поэтому, при оценках агрессивности ПКУ по суммарной нагрузке сведения должны разделяться.

В связи с исходным условием ИСМ о полном отсутствии дезинформационного шума в нормальных условиях получаемые с помощью ИСМ значения показателей могут сопоставляться только между собой, т. е. для ИМС доступны только сопоставительные оценки.

В случае оценки ПКУ по данным альтернативных наблюдений (да/нет) за погодными явлениями обобщающие оценки рассчитываются отдельно через отношение, числа случаев с явлением к числу без явления за выбранный период. При этом необходимо иметь в виду, что при их равенстве - свойства атмосферы относительно ТО нейтральны.

В следующем разделе главы приведены результаты исследований объективности ИСМ. На примере оценки ПКУ влажных субтропиков района с представительным пунктом метеонаблюдений Сухуми/Батуми показано, что по широко применяемому температурно-влажностному комплексу ТВК метод ИСМ на основании вероятностно-статистических данных ГОСТ 16350 позволяет объективно установить близость ПКУ этого района к нормальным условиям.

*Таблица 1*

**Годовые нагрузки условий климатических районов, установленных ГОСТ 16350, по влиянию ТВК**

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$-Q_{ТВК}$ Мбит за год	100,09	89,64	89,28	73,80	88,20	71,28	73,44	71,64	78,48

В табл. 1 максимальным значением выделяется только оценка агрессивности ПКУ «Очень холодного» климатического района с представительным пунктом Якутск.

Известно, что «механизм» атмосферной коррозии металлов (согласно положениям ГОСТ 9.039-74) начинает «работать» при положительных температурах и при относительной влажности воздуха более 75 %. Если учесть эти обстоятельства при расчетах по ИСМ, то результаты выглядят совсем иначе (см. табл.2). В них, со всей очевидностью, проявляется общепризнанная коррозионная агрессивность «Теплого влажного» района субтропиков (Батуми/Сухуми).

Таблица 2

## Годовые нагрузки условий климатических районов по влиянию коррозионного ТВК

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$-Q_{\text{ТВК}}$ , Мбит за год	5,90	7,03	18,35	24,54	23,54	24,38	39,77	8,49	8,29

Данные табл. 2 подтверждают серьезную потенциальную коррозионную опасность ПКУ района влажных субтропиков. Опасность именно потенциальная (отражающая предрасположенность ПКУ к развитию процессов коррозии металлов) тогда, как реализация предрасположенности согласно ГОСТ 9.039 зависит от наличия и концентрации коррозионно-активных загрязнений воздуха.

В тоже время, ИСМ при расчетах по комплексу (коррозионный ТВК + выпадающие жидкие и смешанные осадки + туманы) позволяет получить уточненную «картину» потенциальной коррозионной активности климатических районов

Таблица 3

## Годовые нагрузки условий климатических районов по влиянию коррозионного ТВК

## с учетом осадков и туманов

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$-Q_{\text{ТВК}+\text{от осадков}}$ , Мбит за год	17,07	16,22	43,27	39,48	52,54	47,34	52,43	24,79	21,68
Сравнит. оценки	1,05	1,00	2,67	2,43	3,24	2,92	3,22	1,53	1,34

Приведенный пример показывает важность правильного комплексирования ВКФ и выбора исходных условий.

В ранних экспериментальных работах [48 ... 50] автор показал, что и этот расчет имеет существенные погрешности, вызванные периодами высыхания капельножидких пленок воды на поверхностях металлоконструкций, радиационным выхолаживанием конструкций и нагревом солнцем обледенелых их узлов, а также многократным учетом одного и того же периода увлажнения при подсчетах. Необходимая корректировка исходных данных по конкретным особенностям географического места (включая гигроскопичность местных загрязнений) может быть сделана только с помощью метеоприборов, в частности- Регистратора поверхностного увлажнения (РПУ). Такой РПУ был создан автором [5; 7; 10; 11;] и в последствии модернизирован.

В последующих разделах главы с помощью метода рассчитаны нагрузки от действия других различных ВКФ. Для определения одномоментных, предельных, средних и суммарных нагрузок использовались данные ГОСТ 16350; были рассчитаны нагрузки и даны оценки климатических районов, установленных этим стандартом. Были рассмотрены ВКФ в виде воздействий температуры воздуха, его относительной влажности, туманов, осадков, воздействий солнечного излучения, погодных явлений, определены нагрузки и даны оценки температурно-ветровых воздействий и воздействий солнечного излучения.

В последнем разделе исследованы возможности ИСМ по оценке данных о загрязнении воздуха и прослежена сходимость способа оценок ИСМ с существующим приемом оценки агрессивности ПКУ по данным мониторинга загрязнения воздушной среды городов и промышленных центров.

Из материалов главы следуют выводы:

- разработанный информационно-статистический метод оценки агрессивности атмосферных условий пригоден для решения проблемы извлечения дополнительной

- пользы из текущих метеорологических и обобщенных климатических данных для технических задач;
- достоинством метода является широта охвата ВКФ, в том числе – простейших сведений о наличии явлений погоды, интенсивность и продолжительность которых неизвестны;
  - недостатком метода является его нелинейность и абстрактность, дистанцированность от конкретики, позволяющие давать только сопоставительные оценки потенциальной угрозы ТО со стороны ВКФ.

**Глава 3** В целях устранения абстрактности первого метода был разработан второй - термодинамический метод (ТДМ) оценки агрессивности ПКУ.

Первый раздел главы посвящен обоснованию применения термодинамической энтропии для оценки агрессивности ВКФ и трудностям ее практического расчета.

В термодинамике для описания необратимых неравновесных процессов энергообмена системы с внешней средой используется выражение второго начала, устанавливающее необратимость макроскопических процессов:  $dS = \delta Q/T + \delta Q'/T = d_e S + d_i S$ , где  $\delta Q$ ;  $d_e S$  – теплота и энтропия, задействованные в обратимой составляющей процесса, а  $\delta Q'$ ;  $d_i S$  – теплота и энтропия - в необратимой составляющей, рассеиваемой в окружающем пространстве. В соответствии с законом сохранения энергии при абсолютном соблюдении параметров исходных условий некомпенсированная теплота  $\delta Q'$  отсутствует; энергообменные процессы обратимы. При нарушении исходных условий под воздействием ВКФ эти процессы становятся необратимыми и (согласно взглядам Бриллюэна) утрачиваемая некомпенсированная теплота  $\delta Q'$  черпается, в том числе, из внутренней связанной энергии структуры ТО как одного из объектов энергообмена. Это, как уже отмечалось, приводит к хаотизации структуры ТО, отражаемой необратимой составляющей его энтропии  $d_i S$ . Если в качестве ТО избрать образец самой атмосферы с нормальными условиями, то тогда появляется возможность «чистом» абсолютном виде выявить и нормировать по массе и времени через  $d_i S$  необратимость энергообмена, т. е. агрессивность действия ВКФ.

Трудности применения величины  $d_i S$  вызваны сложностью известных методов ее практического расчета. Однако, введение в ТДМ представлений о термическом заряде диссипации и коэффициенте необратимости энергообмена, предложенных А. И. Вейником, позволили обойти эти трудности.

Во втором разделе для наглядного разъяснения положений А. И. Вейника были введены вспомогательные модели «дефектной тепловой трубки» и «дефектного дозатора». С их помощью было показано, что коэффициент необратимости ( $k_T$ ) обмена термической энергией ( $E_T$ ) представляет собой к.п.д. тепловой машины. Коэффициенты необратимости обмена ( $k_{ом}$ ,  $k_{фх}$ ) объемно-механической ( $E_{ом}$ ) и физико-химической ( $E_{фх}$ ) энергии могут быть определены через выражение, аналогичное выражению к.п.д. ТДМ (в отличие от ИСМ) предполагает наличие следов необратимости в нормальных условиях, что открывает возможность к оценке приемом, заимствованным из области контроля загрязнения воздуха, т. е. через отношения значений показателей текущего уровня агрессивности ПКУ к их агрессивности в нормальных условиях  $\Delta_i S / \Delta_i S^H$  [13; 16; 18; 39; 41].

В третьем разделе главы для ввода в расчет ВКФ координаты времени и нормирования энергообмена на количество вещества построена модель «энергообменного контура» аналог радиотехнического колебательного контура. В результате в ТДМ показателем одномоментной текущей нагрузки от ВКФ стала величина скорости

производства термодинамической энтропии  $(\Delta_i S)'$ , Вт/(К моль) воздуха или э.е./с. В этом случае показателем суммарной нагрузки за выбранный временной интервал  $\tau$ , оказалось общее количество произведенной за этот интервал энтропии

$$(\Delta_i S) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (\Delta_i S)' d\tau, \text{ Дж/(К моль) воздуха.}$$

Приведение ВКФ различной природы к показателям одной размерности обеспечивает (как и в случае ИСМ) аддитивность их значений при анализе комплексных воздействиях ВКФ.

В результате общее соотношение для расчета скорости производства термодинамической (т/д) энтропии  $(\Delta_i S)'$  имеет вид:

$$(\Delta_i S)' = \Delta\Theta'_{-} / T_{\text{ср}} = (\kappa_T E_T + \kappa_{\text{ом}} E_{\text{ом}} + \kappa_{\text{фх}} E_{\text{фх}} + \kappa_{\text{с}} E_{\text{с}} + \kappa_{\text{кэ}} E_{\text{кэ}}) / (T_{\text{ср}} \Delta\tau), \dots\dots (3)$$

где  $\Delta\Theta'_{-}$  - скорость производства термической энергии диссипации в моле воздуха плеча контура, Вт/(моль) воздуха;

$T_{\text{ср}}$  – средняя температура энергообмена, возникшего в результате действия ВКФ, К;  
 $E_{\text{с}}$  – энергия ВКФ в виде освещенности ТО солнечным излучением, Дж/(моль) воздуха;

$\kappa_{\text{с}}$  – коэффициент необратимости энергообмена при освещенности ТО солнечным излучением, равный единице.

$E_{\text{кэ}}$  – кинетическая энергия ВКФ в виде потока ветра, пыльной (песчаной) поземки, града, Дж/(моль) воздуха;

$\kappa_{\text{кэ}}$  – коэффициент необратимости энергообмена при торможении потоков кинетической энергии ВКФ, равный единице.

В четвертом разделе главы на основе физических законов были выведены выражения для расчета абсолютных значений т/д эффектов от ВКФ, учитываемых в соотношении (3).

Так для ВКФ В виде отклонений температуры воздуха от нормального значения (термовКФ) было получено выражение:

$$(\Delta_i S_T)' = C_p (T_{\text{и}} - T_{\text{с}})^2 / (T_{\text{и}} T_{\text{ср}} \Delta\tau), \dots\dots\dots (4)$$

где  $C_p$  – теплоемкость моля воздуха при постоянном давлении, равная при постоянном давлении  $C_p = 30,04$  Дж/(К моль);

$\Delta\tau$  – интервал дискретности, равный  $\Delta\tau = 1$  секунде;

$T_{\text{и}}$ ,  $T_{\text{с}}$  – температуры истока и стока; в качестве  $T_{\text{и}}$  выбирается большая по абсолютной величине: либо температура воздуха в нормальных условиях, либо текущая температура воздуха атмосферы, К.

Кривая В зависимости (4) представлена на графике Рисунка 2 вместе с ранее приведенной на Рисунке 1 кривой А функции  $(-q)' = f(T)$ . Кривая В зависимости  $(\Delta_i S_T)' = f(T_{\text{и}}, T_{\text{с}})$  касается оси абсцисс (оси ВКФ) в центральной точке интервала нормальных значений, в качестве которой использована температура 20 °С. Слева от оси ординат отложены деления шкалы скорости производства дезинформационного шума  $(-q)' = f(T_{\text{и}}, T_{\text{с}})$ , справа – деления шкалы величины  $(\Delta_i S_T)' = f(T_{\text{и}}, T_{\text{с}})$

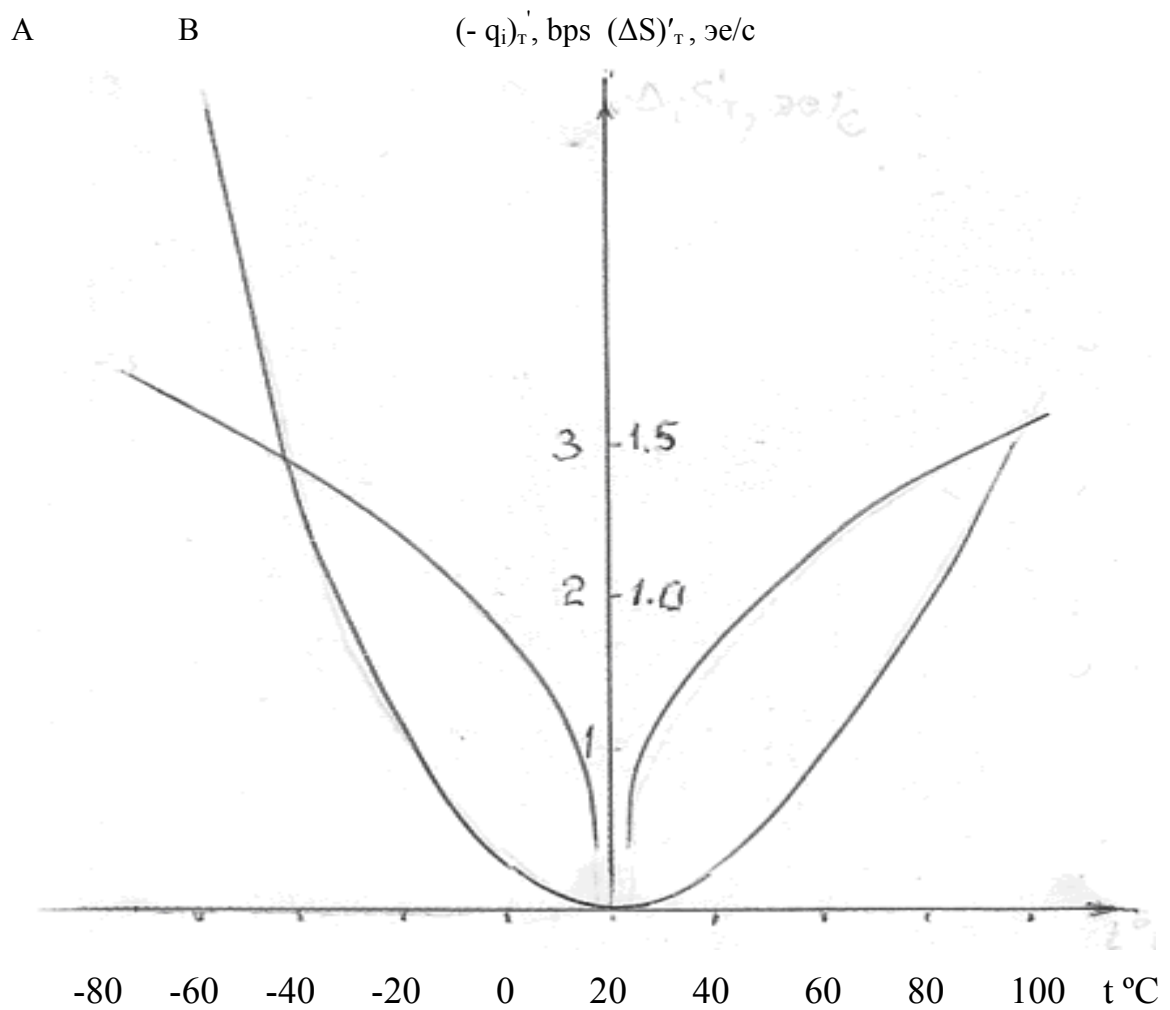


Рисунок 2 График зависимости скорости производства информационной  $(-q_i)'_T$  (кривая А) и т/д энтропии  $(\Delta S)'_T$  (кривая В) от действия термоВКФ

Данные ГОСТ 16350 позволили рассчитать с помощью ТДМ суммарные нагрузки условий климатических районов от ВКФ в виде отклонений температуры воздуха за пределы интервала нормальных значений и сформировать табл. 4

Таблица 4

Годовые нагрузки условий климатических районов по влиянию термоВКФ

Пред став. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/ Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$(\Delta_i S)'_T$ , кэе за год	10890	4850	2680	1700	2380	1050	320	470	110
Оценка Жестк.	39,5	17,6	9,7	6,2	8,6	3,8	1,2	1,7	0,4

Для ВКФ в виде отклонений давления атмосферного воздуха от нормального значения (барВКФ) было получено выражение:

$$(\Delta_i S_T)' = [(p_i - p_c)/(p_i \Delta \tau)] |RT \ln(p_c/p_i)|, \dots \dots \dots (5)$$

где  $p_i$  и  $p_c$  – давления истока и стока; в качестве  $p_i$  выбирается большее по абсолютной величине: либо давление воздуха в нормальных условиях, либо текущее давление атмосферы, гПа;

$R$  – универсальная газовая постоянная, равная  $R \approx 8,314$  Дж/(моль К);

$T$  – температура энергообмена, К.

Кривая зависимости (5) аналогична кривой В на графике Рис. 2, но симметрична; касается оси абсцисс (оси ВКФ) в центральной точке 1013 гПа интервала нормальных значений.

Для ВКФ в виде отклонений парциального давления влажности воздуха за пределы интервала нормальных значений (влагоВКФ) было получено выражение:

$$(\Delta_i S_{EPT})' = (R/\Delta \tau) \{[(e_i - e_c)/e_i] (e/p) |\ln e/p| + [(p_{ид} - p_{cd})/p_{ид}] (p_d/p) |\ln p_d/p|\}, \dots \dots (6)$$

где  $e_i, e_c$  – парциальные давления водяного пара в воздухе на истоке и стоке, гПа;

$p$  – текущее атмосферное давление, гПа;

$p_{ид}, p_{cd}$  – парциальное давление «сухого остатка» на истоке и стоке, гПа

Кривая зависимости (6) аналогична кривой В на графике Рис. 2 и касается оси абсцисс (оси ВКФ) в центральной точке 14 гПа, т.е. примерно при 57 % относительной влажности воздуха интервала нормальных значений. Естественно, кривая ограничена ординатой, соответствующей 100 % относительной влажности, за которой начинается область фазовых переходов воды.

Данные ГОСТ 16350 позволили рассчитать с помощью ТДМ суммарную нагрузку от ВКФ в виде отклонений влажности воздуха за пределы интервала нормальных значений и сформировать табл. 5.

Таблица 5

Годовые нагрузки условий климатических районов по влиянию влагоВКФ

Пред став. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S_{EPT})$ кэе за год	2610	4200	4575	4310	4485	3715	955	4560	3550
Оценка Жесткости	2,0	3,3	3,5	3,3	3,5	2,9	0,7	3,5	2,8

Суммированием соответствующих значений табл. 4 и 5 были получены данные табл. 6. Эта таблица сходна по содержанию с табл. 1, но получена с помощью ТДМ.

Таблица 6

Годовые нагрузки условий климатических районов, установленных ГОСТ 16350, по влиянию ТВК

Пред став. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S_{ТВК})$ кэе за год	13500	9050	7155	6010	6865	3765	1275	5030	4460
Оценка Жесткости	8,8	5,9	4,7	3,9	4,5	2,5	0,8	3,3	2,9

По выражению, аналогичному (6), возможна оценка «грубых» нарушений химического состава воздушной смеси.

Для ВКФ в виде выпадающих атмосферных жидких и смешанных осадков при положительных температурах воздуха было получено выражение;

$$(\Delta_i S)'_{жп} = \{ [k_T T_{cp} (C_p)_{ж} |\ln T/T_w| + k_e R T_{cp} |\ln E_w/e| + k_{жп} N_{жп} ] m'_{ж} \} T_{cp}, \dots \dots \dots (7)$$

где  $k_T$  – коэффициент необратимости обмена термической энергией, вызванного изменениями температуры воздуха при испарении, равный  $k_T = (T - T_w)/T$ ;

$T_{cp}$  – средняя температура процессов молях в контура, равная  $T_{cp} = (T + T_w)/2$ , К;

$(C_p)_{ж}$  – теплоемкость жидкой воды, равная  $(C_p)_{ж} \approx 75,6$  Дж/(моль воды К);

$T_w$  – температура испарения жидкой воды, К;

$k_e$  – коэффициент необратимости обмена объемномеханической энергией, вызванного изменениями парциального давления воды в воздухе при испарении, равный  $k_e = (E_w - e)/E_w$ ;

$E_w$  – максимальное давление паров воды в воздухе при температуре  $T_w$ , гПа;

$N_{жп}$  – энтальпия испарения воды, равная (при 20 °С)  $N_{жп} \approx 44159$  Дж/моль

$k_{жп}$  – коэффициент необратимости энегообмена при испарении, равный  $k_{жп} = 1$ ;

$m'_{ж}$  – скорость потока капель воды осадков (в молях\*) через диаметральное сечение шарообразного моля воздуха, моль\*/(моль с).

Из материалов ГОСТ 16350 следует таблица 7, полученная с помощью ТДМ:

Таблица 7

Годовые нагрузки условий климатических районов по выпадающим жидким и смешанным осадкам

Пред став. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S.)$ кэе за год	141	189	369	486	482	293	2382	303	184
Сравнит. оценки	1,00	1,03	2,62	3,46	3,42	2,08	16,89	2,15	1,30

Обращает на себя внимание оценка условий «Теплого влажного» района субтропиков с представительными пунктами Батуми/Сухуми.

Для ВКФ в виде выпадающих атмосферных твердых осадков было получено выражение:

$$(\Delta_i S)'_{л} = \{ [k_e R T_{cp} |\ln E_0/e| + k_{жп} N_{жп} + k_w T_0 (C_p)_л |\ln v_{ж}/v_{л}| + k_{лж} N_{лж} ] m'_{л} \} T_{cp}, \dots \dots \dots (8)$$

где  $T_{cp}$  – средняя температура процессов в молях контура, равная  $T_{cp} = (T + T_0)/2$ , К;

$E_0$  – упругость насыщения при таянии льда при 0 °С, равная  $E_0 = 6,1$  гПа;

$(C_p)_л$  – теплоемкость (льда) твердой воды, равная при (0 °С) равная

$(C_p)_л \approx 50,24$  Дж/(К моль) льда;

$v_{ж}, v_{л}$  – объемы тающего льда, переходящего в жидкость;

$T_0$  – температура таяния твердых частиц воды осадков,  $T_0 \approx 273$  К (0 °С);

$N_{жп}$  – энтальпия испарения воды, равная (при 20 °С)  $N_{жп} \approx 44159$  Дж/моль

$k_w$  – коэффициент необратимости энегообмена при таянии льда, равный

$k_w = (v_{л} - v_{ж})/v_{л} = 0,083$ ;  $v_{ж}/v_{л} = 0,917$ ;

$(N_{лж})$  – энтальпия таяния льда, равная  $(N_{лж}) \approx 6012$  Дж/моль;

$k_{лж}$  – коэффициент необратимости таяния льда (лед – жидкость), равный  $k_{лж} = 1$ ;

$m'_{л}$  – скорость потока твердых частиц воды осадков (в молях\*) через диаметральное нормирующее сечение ( $s_{\_}$ ) шарообразного моля воздуха, моль\*/(моль с)

Из материалов ГОСТ 16350 следует таблица 8, полученная с помощью ТДМ:



Таблица 8

## Годовые нагрузки условий климатических районов по выпадающим твердым осадкам

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S_{л})$ кэе за год	61	39	151	85	77	30	-	43	21

В пятом разделе описана модель «трубки тока» для определения нагрузок и оценок действия ВКФ в виде направленных потоков: потока солнечного излучения; воздушного потока (ветра); потока града. Эта модель аналог конструкции приемного устройства пиргелиометра в виде трубки, ориентированной навстречу приходящему потоку энергии и рассеивающей этот поток на своем дне. В качестве дна приемного элемента трубки использовано диаметрально сечение шарообразного моля воздуха, размеры которого определяются текущими значениями температуры, давления и влажности воздуха окружающей атмосферы.

С помощью модели «трубки тока» для ВКФ в виде потока солнечного излучения получено соотношение:

$$(\Delta_i S_{\odot})' = [k_{\odot} (s_{\odot}) I_{\odot}] / T, \dots \dots \dots (9)$$

где  $I_{\odot}$  – энергетическая освещенность, Вт/м<sup>2</sup>;

$k_{\odot}$  – безразмерный коэффициент полного рассеяния потока, равный  $k_{\odot} = 1$ ;

$(s_{\odot})$  – нормирующая площадь, равная диаметральному сечению шарообразного моля воздуха, м<sup>2</sup>

Из материалов ГОСТ 16350 следует таблица 9, полученная с помощью ТДМ:

Таблица 9

## Годовые нагрузки условий климатических районов по ВКФ в виде солнечного излучения

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S_{\odot})$ кэе за год	1260	1570	1250	1410	1290	1680	1746	2070	2160
Оценка Жесткости	0,98	1,22	0,97	1,09	1,00	1,30	1,36	1,60	1,67

С помощью модели «трубки тока» для ВКФ в виде потока ветра (ветра с пылью и песком) получено соотношение:

$$(\Delta_i S_{VTP})' = k_V (N_M \Delta\tau) M_c V^2 / (2T), \dots \dots \dots (10)$$

где  $M_c$  – масса моля движущегося воздуха, равная  $M_c = 0,029$  кг/моль;

$k_V$  – безразмерный коэффициент необратимости, равный  $k_V = 1$ ;

$V$ ,  $T$ ,  $p$  – скорость движения воздушной смеси, (м/с); ее температура (К) и давление, (гПа);

$N_M$  – число молей, проходящих через сечение трубки  $(s_{\odot})$  за время  $(\Delta\tau = 1$  с),

равное  $N_M = (V p s_{\odot}) / RT$ , моль;

Из материалов ГОСТ 16350 следует таблица 10, полученная с помощью ТДМ:

Таблица 10

## Годовые нагрузки условий климатических районов по ВКФ в виде потока ветра

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S_{V_{тр}})$ кэе за год	105	85	330	135	555	1015	1	45	60
Оценка Жесткости	1,0	0,8	3,2	1,3	5,3	9,7	0,0	0,4	0,6

В шестом разделе проведены расчеты комплексных воздействий, в частности - по ТВК. Полученные результаты представлены в табл. 11, аналоге табл. 2.

Таблица 11

## Годовые нагрузки условий климатических районов по влиянию коррозионного ТВК

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma(\Delta_i S_{ТВК})$ кэе за год	1190	1659	2771	3942	4130	5034	9860	1447	1377
Оценка Жесткости	0,95	1,32	2,20	3,14	3,29	4,00	7,85	1,15	1,10

Данные табл. 11 подтверждают серьезную потенциальную коррозионную опасность ПКУ района влажных субтропиков с позиций термодинамики. Опасность именно потенциальная (отражающая предрасположенность ПКУ к развитию процессов коррозии металлов) тогда, как реализация предрасположенности согласно ГОСТ 9.039 зависит от наличия и концентрации коррозионно-активных загрязнений воздуха.

Используя аддитивность т/д показателя суммарной нагрузки, были рассчитаны значения агрессивности ПКУ районов с факторами прямого увлажнения поверхности металлов (табл. 12), т. е. с атмосферными осадками и туманами. Табл. 12 аналог табл. 3.

Таблица 12

## Годовые нагрузки условий климатических районов по влиянию коррозионного ТВК с учетом осадков и туманов

Представ. пункт	Якутск	Улан-Удэ	Москва	Киев	Минск	Одесса	Батуми/Сухуми	Ташкент	Ашхабад
$\Sigma \Delta_i S_{КТВК+о+т}$ кэе за год	1716	1867	3178	4190	4713	5257	12248	1635	1473
Оценка Жесткости	1,37	1,49	2,53	3,33	3,75	4,18	9,75	1,30	1,17

В этом же разделе выполнены расчеты по термо-баро-влажновоздействиям, воздействиям температурно-ветрового комплекса и др.

В принципе благоприятность атмосферных условий для техники означает и их комфортность для человека. Исходя из этого, был оформлен патент [1].

Из материалов главы следуют выводы:

- разработанный термодинамический (термодиссипативный) метод оценки агрессивности атмосферных условий пригоден для решения проблемы извлечения

- дополнительной пользы из текущих и собранных метеорологических и климатических данных;
- недостатком метода (как и первого - ИСМ) является нелинейность по диапазону действия ВКФ.

Таким образом, в результате создания обоих энтропийных методов одни и те же ПКУ климатических районов оказались выраженными и оцененными существенно разными, но объективными значениями энтропийных показателей. Поэтому, не отдавая предпочтения ни одному из этих расчетных методов, был разработан третий объединенный метод, устраняющий их недостаток – нелинейность, но сохраняющий положительные свойства.

**Глава 4** Посвящена разработке и исследованию третьего Объединенного энтропийного метода (ОМ) расчета и оценки агрессивности ПКУ. Идея метода состоит в использовании приема построения Международной практической температурной шкалы МПТШ-68 с использованием реперных точек. В МПТШ-68 одними из реперных точек воспроизведения температурой шкалы были выбраны процессы фазовых переходов воды в тройной точке и при кипении  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Подобный прием с введением искусственных общих точек был использован для построения линейной шкалы ОМ.

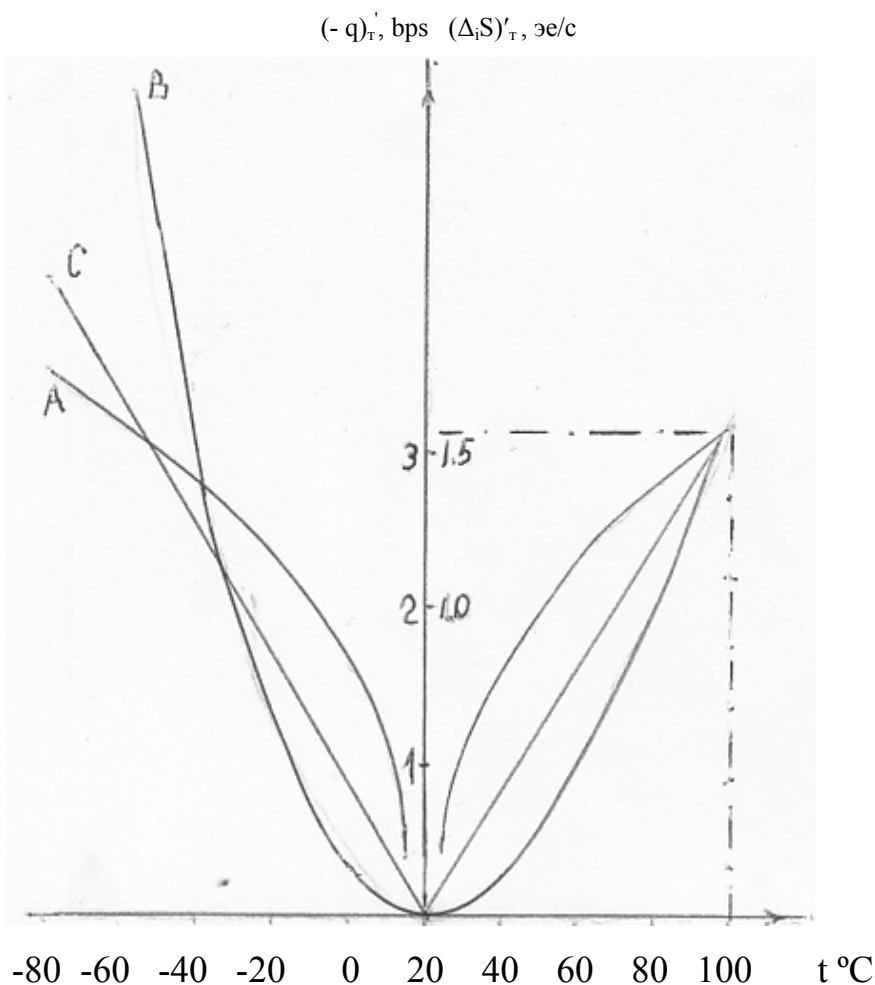


Рисунок 3 График зависимости скорости производства информационной  $(-q_i)'_t$  (кривая А), т/д энтропии  $(\Delta S)'_t$  (кривая В) и линейризованной зависимости ОМ (прямая С) от действия термоВКФ

Для этого было принято исходное условие, что в точках 20 °С и 100 °С информационная и термодинамическая энтропии эквивалентны. Естественно, в силу симметричности кривые пересекутся также вблизи точки минус 100 °С, что по вполне отвечало собранным метеоданным, согласно которым температура воздуха в наземных ПКУ находится в пределах  $\pm 100$  °С. Выполнение этих искусственных условий позволило рассчитать температурный эквивалент энтропий  $(-q_T)/\Delta_i S_T \approx 2,048$  бит/эе и построить график (см. Рисунок 3).

Аналогичный график линейризованной зависимости воздействия бароВКФ с точкой эквивалентности энтропий 610 гПа представлен на Рисунке 4.

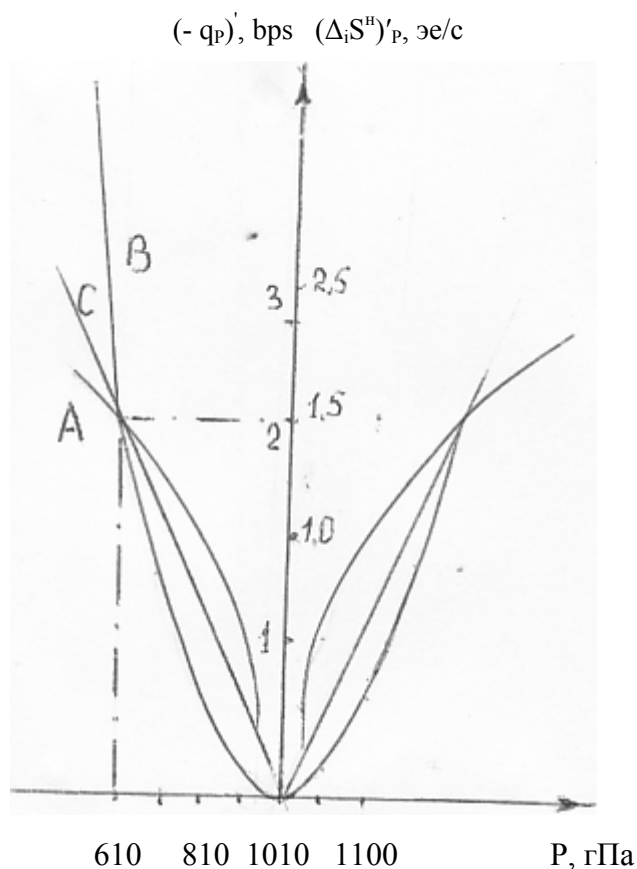


Рисунок 4 График зависимости скорости производства информационной  $(-q_i)_P$  (кривая A) и т/д энтропии  $(\Delta S)_P$  (кривая B) и линейризованной зависимости ОМ (прямая C) от действия бароВКФ

График для ВКФ в виде отклонений относительной влажности воздуха (ВКФ ОВВ) представлен на Рисунке 5. Точкой эквивалентности энтропий выбрана опорная, репенная «тройная точка воды», в которой наблюдается равновесие воды в трех фазах: твердой (лед), жидкой воды и водяного пара. Для такой тройной смеси воды в разных состояниях характерна постоянная температура  $T = 273,16$  К (т.е.  $\approx 0^\circ$  С) и постоянное парциальное давление (давление насыщения) водяного пара в воздухе над смесью, равное примерно  $E(0^\circ \text{С}) = 6,12$  гПа. При значениях параметров нормальных условий  $20^\circ \text{С}$  и  $E(20^\circ \text{С}) = 23,37$  гПа такое давление водяных паров над плоской поверхностью чистой воды соответствует примерно 26 % относительной влажности воздуха. Через эту точку и начало координат была проведена симметричная ломанная прямая линейной зависимости шкалы ОМ.

Естественно этот график имеет ограничение по ординате, исходящей из точки соответствующей 100 % относительной влажности воздуха. За этой ординатой начинается область фазовых переходов воды.

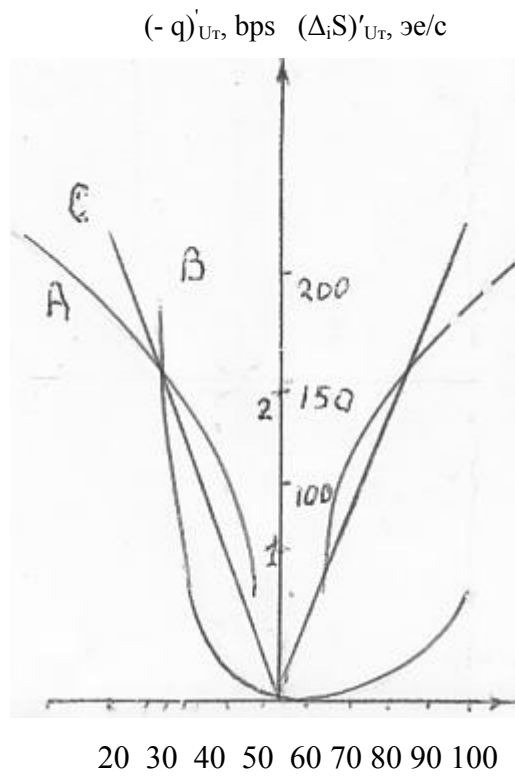


Рисунок 5 График зависимости скорости производства информационной  $(-q_i)_{UT}'$  (кривая А) и т/д энтропии  $(\Delta S)_{UT}'$  (кривая В) и линейризованной зависимости ОМ (прямая С) от действия ВКФ ОВВ

График зависимости скорости производства энтропий при воздействиях ВКФ в виде солнечного излучения представлен на Рисунке 6.

$(-q)_{\odot}, \text{bps}$      $(\Delta_i S^H)_{\odot}, \text{эе/с}$

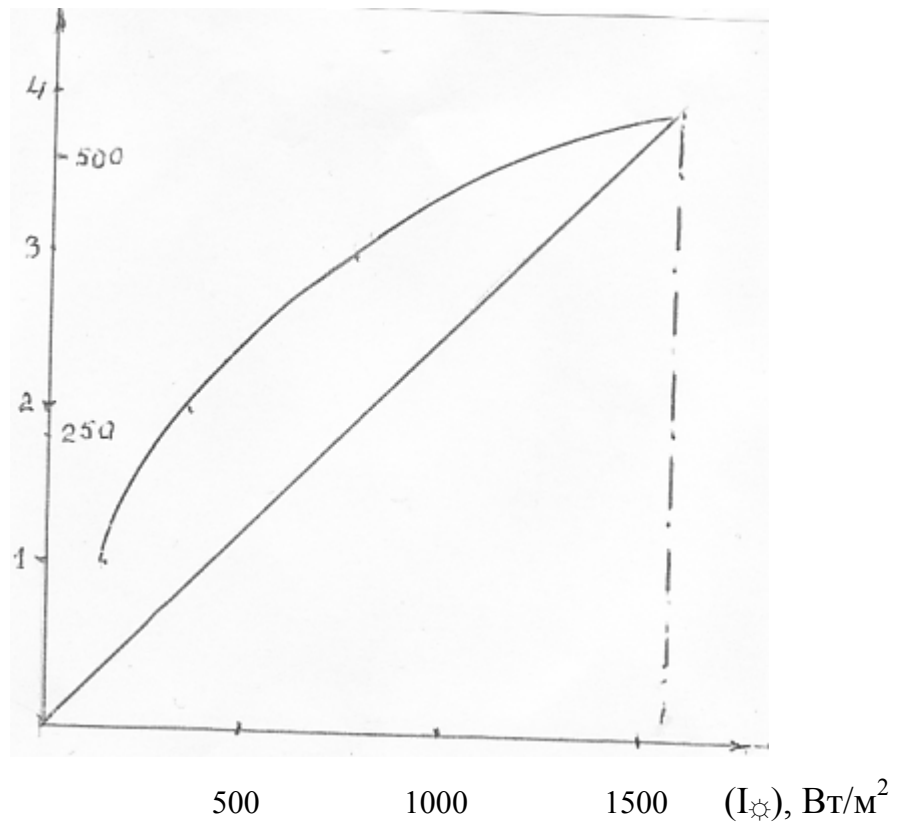


Рисунок 6 График зависимости скорости производства информационной  $(-q_i)_{\odot}'$  (кривая) и т/д энтропии  $(\Delta S)_{\odot}'$  (прямая) от действия ВКФ в виде солнечного излучения

График шкалы ОМ для ВКФ в виде воздействий набегающего потока массы воздуха представлен на Рисунке 7.

$(-q)_v$ , bps  $(\Delta S)_v$ , эе/с

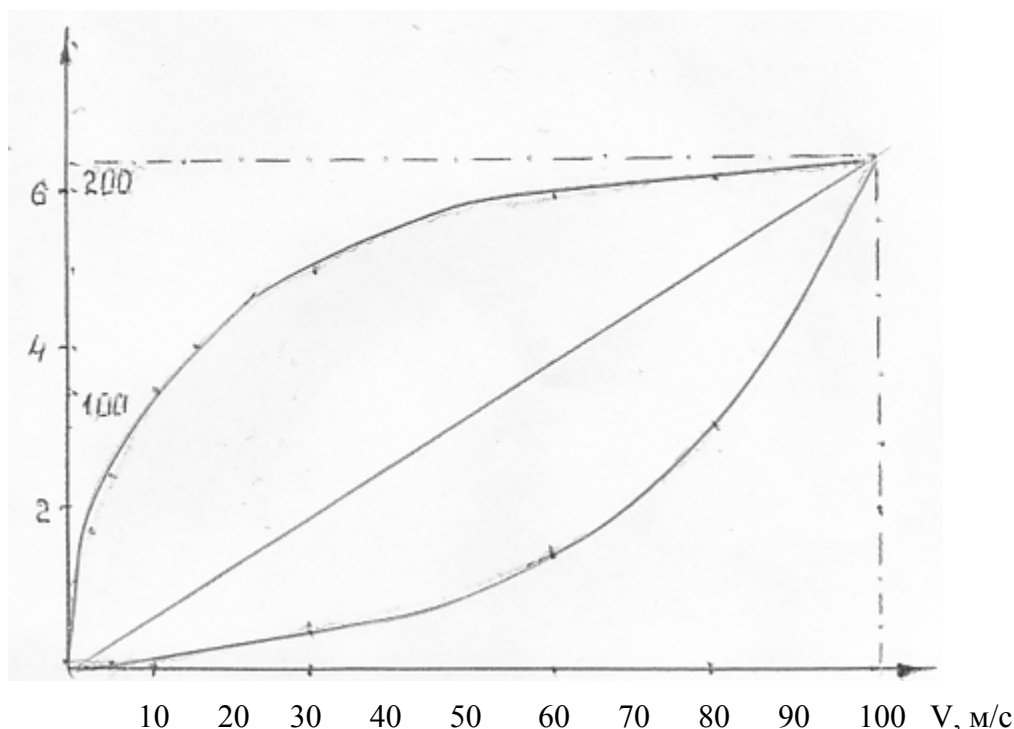


Рисунок 7 График зависимости скорости производства информационной  $(-q)_v$ , т/д энтропии  $(\Delta S)_v$  и линейризованной зависимости ОМ от действия ВКФ в виде скорости ветра

При равноценности оценок действия ВКФ, получаемых по обеим шкалам (bps и эе/с), предпочтение было отдано первой шкале как более универсальной, позволяющей при обобщающих оценках агрессивности ПКУ принимать в расчет краткие сообщения о метеоявлениях, наблюдаемых по альтернативным шкалам и описываемых повторяемостью за отдельные периоды времени.

Построенные линейризованные зависимости скорости производства энтропий от интенсивности действия ВКФ позволили по материалам ГОСТ 16350 подтвердить непротиворечивость получаемых ОМ результатов известной априорной Диаграмме рангов Коха, обобщившей мнения большой группы экспертов о степени опасности для техники различных ВКФ.

Из материалов главы следуют выводы:

- использование эквивалентов энтропий позволяет построить Объединенный расчетный метод оценки агрессивности атмосферных условий, свободный от недостатков предшествующих двух методов, но сохраняющий их положительные свойства;
- сопоставление результатов расчетов по этому методу и данных Диаграммы рангов Коха показало их непротиворечивость;
- Объединенный энтропийный метод решает задачу диссертационной работы по созданию новой научно обоснованной методологии более полного использования поступающих и накопленных данных о погодно-климатических условиях различных районов для технических целей.

## Глава 5 Посвящена экспериментальному опробованию методов.

Опробование информационно-статистического метода было выполнено в работах Института географии АН Казахской ССР по оценке коррозионной агрессивности атмосферы в отношении технических изделий, эксплуатируемых на нефтепромыслах Прикаспийского региона на п-ве Бузачи в рамках выполнения Комплексной программы охраны природы при освоении нефтяных и газовых месторождений Западного Казахстана. В основу работ были положены материалы стандартов ГОСТ 16350, и ГОСТ 9.039 и материалы ГОСТ 9.040. Принимая во внимание недостатки ГОСТ 16350, отмеченные Ж. Д. Жалмухамедовой, и погрешности данных Справочника по климату, установленные автором [46 ... 50 ], погодные факторы, приводящие к капельножидкому увлажнению поверхности металлоконструкций, были уточнены с помощью модернизированных регистраторов поверхностного увлажнения конструкции автора [5; 21; 27;]. В конце годового срока испытаний были сопоставлены расчетные спрогнозированные коррозионные потери с фактическими потерями образцов металлов, установленных в открытой экспозиции в атмосфере. Коэффициенты корреляции, полученные с применением ИСМ, составили 0,6 ... 0,8. По мнению исполнителей научной темы, применение метода энтропийной информационно-статистической оценки атмосферных условий и модифицированного измерителя продолжительности атмосферной коррозии, было успешным, что подтверждено официальными Актами внедрения Института географии АН Казахской ССР 1988 и 1990 гг.

Опробование термодинамического (термодиссипативного) метода проводилось в рамках научно-исследовательских работ отраслевого значения по испытанию изделий электронной техники по тематике подразделения ВНИИ «Электронстандарт», расположенного в районе Сухуми/Батуми. Для проверки была использована партия датчиков фотометрических задымления. Метрологические характеристики датчиков определялись в условиях открытой атмосферы на четырех площадках, расположенных по меридиану от Мурманска до Батуми. С помощью ТДМ определялась одномоментная и суммарная нагрузки от ВКФ и вызванные ими изменения метрологических характеристик датчиков. Нагрузки от ПКУ были ускоренно воспроизведены в камерах искусственного климата с размещенными в них контрольными группами датчиков. Условием эквивалентности нагрузок от ВКФ для открытых площадок и для камер считалось равенство значений скорости и количества произведенной т/д энтропии. Коэффициенты корреляции изменений метрологических характеристик датчиков, зафиксированные при испытаниях на протяжении года на открытых площадках и в камерах - в ускоренном режиме, оказались в интервале 0,6 ... 0,7. Использование приема выравнивания необратимых составляющих энтропий, возникающих при испытаниях образцов в камере и в образцах, под воздействием естественных климатических факторов окружающей среды, подтверждено официальным Актом внедрения ВНИИ «Электронстандарт» 1991 г.

Успешное опробование обоих исходных энтропийных методов послужило обоснованием целесообразности практического применения третьего Объединенного метода. Априорная Диаграмма рангов Коха была скорректирована по материалам ГОСТ 16350 с помощью ОМ. Полученная диаграмма представлена на Рисунке 8.

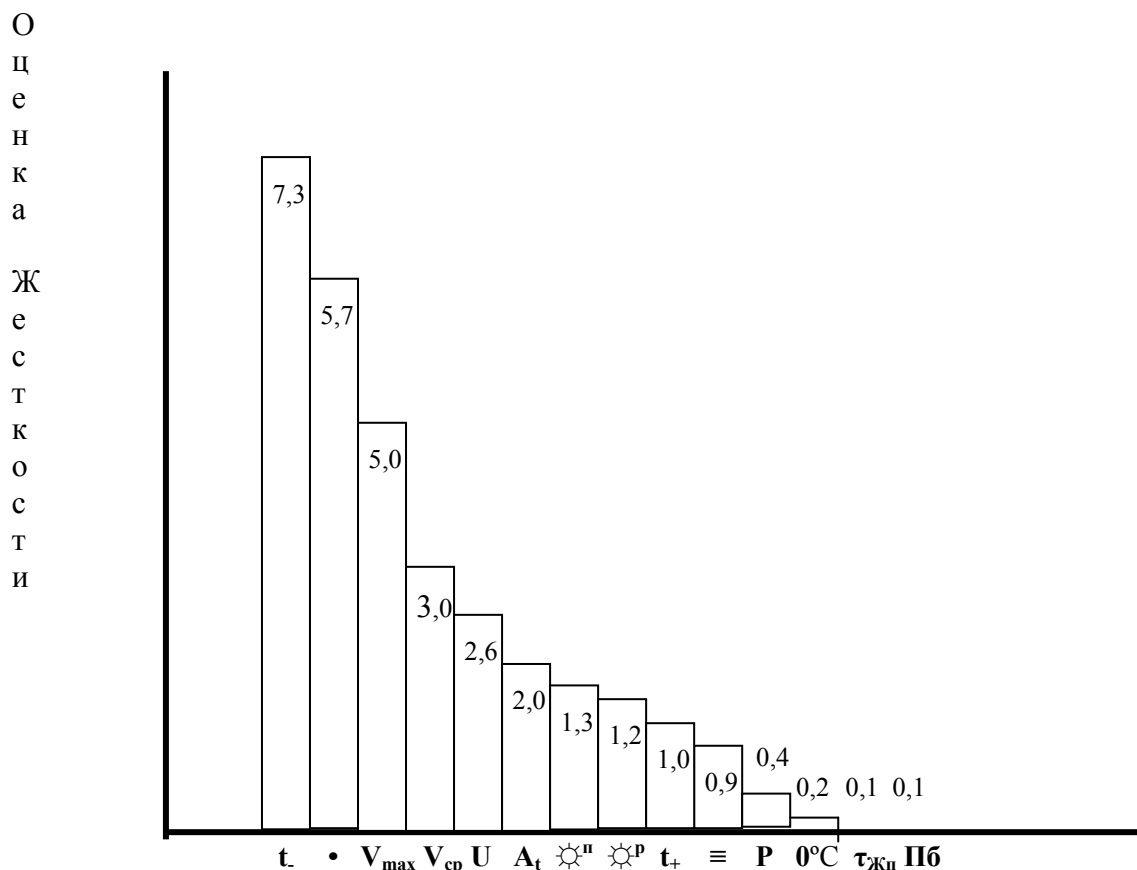


Рисунок 8 Диаграмма оценок Жесткости климатических факторов, построенная с помощью Объединенного метода

- $t$  – средняя суточная температура воздуха за декаду самого холодного периода;
- $t_+$  – средняя суточная температура воздуха за декаду самого жаркого периода;
- $U$  – относительная влажность воздуха;
- $\text{☀}^n$  – прямая энергетическая освещенность солнечным излучением;
- $A_t$  – амплитуда (суточного перепада) температуры воздуха;
- $V_{\text{cp}}$  – средняя скорость ветра;
- $\text{Пб}$  – пыльная буря (поземок);
- $\text{☀}^p$  – рассеянная энергетическая освещенность солнечным излучением;
- $\tau_{\text{жп}}$  – продолжительность жаркого периода;
- $\equiv$  – продолжительность туманов;
- $V_{\max}$  – максимальная скорость ветра;
- $\bullet$  - количество и продолжительность жидких и смешанных выпадающих осадков;
- $P$  – атмосферное давление;
- $0^\circ\text{C}$  – продолжительность температуры воздуха ниже  $0^\circ\text{C}$ ;
- $N$  – направление ветра.

С целью контроля надежности данных скорректированной диаграммы был проведен анализ достоверности использованных для расчетов метеоданных и их климатологических обобщений. Полученные результаты анализа позволили с достаточным обоснованием построить сводную таблицу общей неблагоприятности погодно-климатических условий различных климатических районов, установленных ГОСТ 16350 (табл. 13).



Таблица 13

**Сводная таблица оценок агрессивности, Жесткости условий климатических районов,  
для технических объектов**

ВКФ	Климатические районы по ГОСТ 16350									Сред- нее знач.	Значи- мость %	Σ, %
	I <sub>1</sub>	II <sub>4</sub>	II <sub>5</sub>	II <sub>7</sub>	II <sub>8</sub>	II <sub>9</sub>	II <sub>10</sub>	II <sub>11</sub>	II <sub>12</sub>			
t	14,9	10,0	7,4	7,3*	6,7	7,3*	2,5	5,7	4,2	7,3	24	24
•	5,1	4,2	4,0	1,5	5,0	2,7	19,3	3,1	5,2	5,7	19	43
V <sub>max</sub>	3,3	4,9	6,1	5,7	4,9	7,3	4,9	3,3	3,7	5,0	16	59
V <sub>ср</sub>	2,4	2,6	3,6	2,7	4,3	5,3	2,4	1,9	2,1	3,0	10	69
U	1,4	1,2	3,2	3,2	4,0	3,2	3,8	0,4	1,6	2,6	8	77
A <sub>t</sub>	2,4	2,4	1,5	1,6	1,6	1,4	1,5	3,0	2,8	2,0	7	84
☀ <sup>н</sup>	1,2	1,3	0,9	1,0	0,9	1,3	1,4	2,0	1,8	1,3	4	88
☀ <sup>с</sup>	1,0	1,2	1,0	1,1	1,0	1,3	1,4	1,6	1,7	1,2	4	92
t <sub>+</sub>	0,7	0,4	0,3	1,0*	0,2	1,0*	1,0	1,8	2,8	1,0	3	95
≡	0,1	2,2	0,3	1,5	0,4	0,5	0,1	1,8	1,2	0,9	3	98
P	0,2	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,5	0,4	1	99
0°С	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	>1	1
τ <sub>жп</sub>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	>1	-
Пб	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1	>1	-
Σ	33,0	31,9	28,7	27,0	29,4	31,7	38,6	26,1	30,0	Σ30,8		100
Сред. Жест.	2,5	2,5	2,2	2,1	2,3	2,4	3,0	1,9	2,0	2,3		

Из табл. 13 следует, что наибольшей агрессивностью для техники с оценкой 19,3 обладают условия влажных субтропиков района Сухуми/Батуми. Как и следовало ожидать, на втором и третьем месте по агрессивности, Жесткости находятся условия ПКУ «Очень холодного» (Якутск) и «Умеренно холодного» (Улан-Удэ) с оценками воздействия низких температур воздуха 14,9 и 10,0. Следует заметить, что к расчету по ОМ привлекались только данные климатических районов, указанные в верхней строке табл.13. Вероятней всего, после аналогичного расчета для пропущенных районов интервал между последними значениями 14,9 и 10,0 заполнят оценки «Холодного» I<sub>2</sub>. (Салехард) и трех Арктических районов II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, II<sub>3</sub>.

Согласно последнему столбцу табл. 13 девять первых ВКФ вносят 95 % вклад в агрессивность, Жесткость ПКУ. В нижней строке приведены значения средней Жесткости по климатическим районам относительно нормальных условий. В конце строки значением 2,3 оценена Жесткость всей исследованной территории. Аналогичная таблица по собранным текущим данным метеорологических измерений и наблюдений может быть построена в конце каждого календарного года для каждой географической точки. По таким таблицам возможно отслеживание происходящих изменений неблагоприятности климата для техники и определены ВКФ, приведшие к таким изменениям.

Материалы предшествующих расчетов и табл. 13 были использованы при выполнении научно-исследовательских работ по уточнению межповерочных интервалов метеорологических приборов [26; 38; 39].

Из материалов главы следуют выводы:

- экспериментальное опробование двух исходных энтропийных методов оценки агрессивности ПКУ подтвердило их работоспособность и практическую значимость, что позволило организациям, проводившим опробование, оформить акты их внедрения;
- в результате применения разработанного Объединенного энтропийного метода известный приоритетный ряд ВКФ, полученный субъективным экспертным путем, был скорректирован расчетным путем на основании данных, имеющих проверенную надежность;
- по результатам расчетов была построена сводная таблица оценок Жесткости, агрессивности погодно-климатических условий установленных стандартами географических районов и применена на практике для уточнения межповерочных интервалов метеорологических средств измерений.

**Заключение** Задача создания новой научно обоснованной методологии (технологии) более полного использования поступающих и накопленных метеорологических и климатических данных о ПКУ различных географических районов для технических целей является сложной и обширной.

Для ее решения были проведены исследования в трех направлениях:

- создание наиболее адекватного опытным данным информационно-статистического метода оценки потенциала агрессивности погодно-климатических условий;
- разработка термодинамического (термодиссипативного) метода, конкретизирующего оценки первого метода по параметризованным воздействующим факторам с помощью известных закономерностей;
- разработка обобщающего метода, основанного на условной эквивалентности информационной и термодинамической энтропий.

Основные результаты проведенных исследований:

- разработаны принципы системного энергетического энтропийно-временного анализа взаимодействия технических изделий и атмосферы;
- развита теория энтропийных квалиметрических моделей, позволяющая установить и количественно оценить зависимость обобщенных показателей агрессивности атмосферных условий для техники от интенсивности и частоты воздействий влияющих климатических факторов;
- на основании разработанной теории и синтезированных моделей предложены энтропийно-временные показатели как текущей агрессивности атмосферных условий по отдельным ВКФ и по их комплексам, так и интегральной агрессивности - за выбранные (назначенные) периоды времени;
- установленные закономерности верифицированы;
- показана пригодность предложенных энтропийных методов для решения практических задач: для оценки коррозионной напряженности атмосферных условий района Прикаспийского нефтепромысла Каламкас; для разработки режимов ускоренных испытаний образцов технических изделий в камерах искусственного климата адекватных по разрушающему действию естественным атмосферным условиям различных климатических районов; для корректировки межповерочных интервалов метеоприборов; получены акты внедрения;
- разработан и модернизирован регистратор поверхностного увлажнения технических образцов для обнаружения химически и электрически активных капельножидких пленок воды в полевых условиях;

- на регистратор и на отдельные вспомогательные средства метеоизмерений и индикации явлений погоды получены авторские свидетельства и патенты на изобретения;

Сделаны следующие выводы:

1. Показано, что при таком многообразии влияющих атмосферных факторов и при таком разнообразии подверженных этому влиянию технических объектов единственной реальной возможностью решения поставленной в диссертации задачи является энергетический подход с использованием энтропийного аппарата, его энтропийно-временных показателей.

2. Вдвинута состоятельная гипотеза, что энтропийный аппарат с его относительной природой может быть успешно использован только при однозначном определении исходного состояния энергообменной системы с присписным начальным значением ее энтропии; показано, что в области техники таким состоянием (с условной нулевой энтропией, обеспечивающей практически полную сохранность объектов) являются т. н. «нормальные условия», установленные нормативно-техническими документами.

3. На основании этой гипотезы все поступающие и накопленные данные метеорологических наблюдений и измерений являются информацией о «аномальности» погодных-климатических условий и, следовательно, при их анализе применимы законы теории информации и положения информационной теории измерений; в этом аспекте воздействующие погодные-климатические факторы (ВКФ) могут рассматриваться как дезинформационный шум со стороны атмосферы и его интенсивность может рассчитываться через величину скорости производства информационной энтропии, а негативный эффект от шума за временной период – определяться количеством произведенной энтропии. Построенный на этих энтропийно-временных показателях информационно-статистический метод (ИСМ) позволяет по поступающей и накопленной метеоинформации рассчитать агрессивность атмосферы, опасность ее условий в данной географической точке как по отдельным воздействующим факторам, так и по их комплексам. С помощью ИСМ были оценены воздействия:

- температуры воздуха (термоВКФ);
- атмосферного давления (бароВКФ);
- относительной влажности воздуха (ОВВ ВКФ);
- температурно-влажностного комплекса (ТВК);
- коррозионного ТВК;
- туманов, осадков и других погодных явлений;
- коррозионного ТДВ с учетом туманов и осадков;
- температурно-ветрового комплекса;
- солнечного излучения.

Показана принципиальная возможности учета в оценках загрязнений воздуха при достаточной полноте соответствующих исходных данных.

Опробование в производственных условиях ИСМ и вспомогательного прибора, предложенного автором, подтвердило их работоспособность.

4. Показано, что уточнение оценок потенциальной опасности, исходящей от атмосферы, возможно путем применения термодинамической энтропии с использованием соответствующих физических закономерностей. Во избежание трудностей традиционного расчета энтропийных показателей в термодинамический метод (ТДМ) были введены представления о термическом заряде диссипации и коэффициента необратимости энергообмена, предложенные А. И. Вейником; вводимые представления были обоснованы моделями «дефектной тепловой трубки», «дефектного дозатора». Для нормирования энтропийного эффекта энергообмена на единицы количества вещества и времени в методику были введены также модели «энергообменного контура» и «трубки тока». В результате были получены выражения для расчета обоих термодинамических

энтропийных показателей как для нормальных условий, так и условий открытой атмосферы. С помощью ТДМ были оценены воздействия по п.2 за исключением влияния погодных явлений и загрязнений воздуха.

Опробование ТДМ в научно-практических целях в частности - по обоснованию режимов ускоренных испытаний образцов на надежность в климатических камерах подтвердило его работоспособность.

5. Устранение нелинейности обоих исходных методов посредством применения условных точек эквивалентности обеих энтропий, позволило создать третий линейризованный Объединенный метод (ОМ) оценки агрессивности атмосферы.

Опробование ОМ по оценке воздействующих факторов, выделенных экспертами от техники и обобщенных ранговым анализом в известной априорной Диаграмме рангов Коха, показало удовлетворительную сходимость полученных расчетных оценок с экспертными оценками; Последнее обстоятельство позволило обосновано перестроить диаграмму и сформировать сводную таблицу оценок агрессивности атмосферных условий климатических районов, установленных ГОСТ 16350.

На способ решения задачи, предложенный в диссертационной работе, выдан патент на изобретение, подтверждающий авторство (с соавторами), актуальность и новизну работы. Получены Акты внедрения свидетельствующие о практической полезности полученных результатов, которые при широком применении могут внести значительный вклад в развитие экономики страны, в повышение ее обороноспособности через более полное использование поступающих и накопленных данных метеонаблюдений и их климатических обобщений.

### **Список публикаций по теме диссертации**

**Авторские свидетельства и патенты на изобретения, выданные Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий и Роспатентом, отнесенные в соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России к публикациям в научных периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК**

**1. Кожевников Б.Л., Волков О.А., Железнов Б.В., Проценко В.А. Способ измерения комфортности условий окружающей воздушной среды для человека при воздействии климатических факторов и устройство для его осуществления – Патент на изобретение № 2376616. . – Бюлл. изобретений, 2009, № 12, с. 17.**

**2. Кожевников Б.Л., Романов Е. В. Психрометр. – Авт. свидетельство № 1022026. Бюлл. Изобретений, 1983, № 21, с. 8.**

**3. Кожевников Б.Л., Железнов В.В. Способ определения метеорологической дальности видимости. – Патент на изобретение и Авт. свидетельство № 1789948. - Бюлл. Изобретений, 1993, № 3, с. 9.**

**4. Кожевников Б.Л., Романов Е. В. Автоматический психрометр. – Авт. свидетельство № 966573. - Бюлл. изобретений, 1982, № 38, с.6.**

**5. Кожевников Б.Л. Измеритель продолжительности атмосферной коррозии. – Авт. свидетельство № 697886. - Бюлл. изобретений, 1979, № 42, с.8.**

**6. Кожевников Б.Л., Пьянцев Б.Н. Кулонометрический гигрометр. – Авт. свидетельство № 577500. - Бюлл. изобретений, 1977, № 39, с.11.**

**7. Кожевников Б.Л. Измеритель толщины слоя жидких осадков. – Авт. Свидетельство № 440629. - Бюлл. изобретений, 1974, № 31, с. 9.**

**8. Кожевников Б.Л. Сорбционный датчик влажности. – Авт. свидетельство № 365673. - Бюлл. изобретений, 1973, № 6, с. 6.**

**9. Кожевников Б.Л. Термостатирующее устройство. - Авт. свидетельство № 399838. - Бюлл. изобретений, 1973, № 39, с. 5.**

10. Кожевников Б.Л. Измеритель продолжительности атмосферной коррозии. – Авт. свидетельство № 357503. - Бюлл. изобретений, 1972, № 33, с. 4.

11. Кожевников Б.Л. Микрокоррозионный элемент. – Авт. свидетельство № 357539. - Бюлл. изобретений, 1972, № 33, с. 4.

**В других научных журналах и трудах**

12. Кожевников Б.Л. Оценка изменений климата энтропийным информационно-статистическим методом//Метеорологический вестник. том. 2 № 2(3) с. 140-148. URL:<http://elibrary.ru/download/50487038.pdf> (дата обращения 22.12.2009).

13. Кожевников Б.Л. Оценка изменений климата энтропийным термодиссипативным методом//Метеорологический вестник. том. 2 № 2(3) с. 149-163. URL:<http://elibrary.ru/download/72282540.pdf> (дата обращения 22.12.2009).

14. Кожевников Б.Л., Фомин В.Ф. Неопределенность как основная метрологическая характеристика метеорологических измерений. – /В сб.: Науч. конференции Межгосуд. Совет по г/метеорологии стран СНГ по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Тезисы докладов, сек. № 5. - М., Росгидромет, , 1996, с. 54 – 55.

15. Кожевников Б.Л. Результаты мероприятий по улучшению метрологического обеспечения метеорологических средств измерений . – /В сб.: Науч. конференции Межгосуд. Совет по г/метеорологии стран СНГ по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Тезисы докладов, сек. № 5. - М., Росгидромет, , 1996, с. 52 – 54.

16. Кожевников Б.Л. Сберегающие ресурсы атмосферы. Расчет для технических целей. – СПб, ГГО им. А.И.Воейкова, 1991, 224 с. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ МЦД 04.12.91 № 1103-гм 91.

17. Кожевников Б. Л. О возможности обоснования эквивалентных испытаний по метеорологическим данным.- /В сб.: Стандартизация средств и методов защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений. Тезисы докл. 8-го Всесоюзного семинара. - М., ВДНХ СССР, 1991, с. 66 – 68.

18. Кожевников Б.Л. Разработка и исследование энтропийных методов расчета степени жесткости атмосферных условий для технических целей. - В сб.: Труды Всесоюзного совещания по прикладной климатологии.- Л., Гидрометеиздат, 1990, с. 261 – 269.

19. Кожевников Б.Л. Методика формальной оценки климатических нагрузок на метеорологические приборы. - Труды ГГО, 1990, вып. 529. с. 149 – 162.

20. Кожевников Б.Л., Фомин В.Ф. Актуальные задачи метрологии метеорологических измерений. – Труды ГГО, 1990, вып. 529, с. 3 – 11.

21. Кожевников Б.Л., Железнов В.В. О юстировке регистратора поверхностного увлажнения. – Труды ГГО, 1990, вып. 529, с. 162 – 170.

22. Кожевников Б.Л., Питленко В. И. Энтропийный метод оценки качества электрорадиоэлементов метеорологических приборов. – Труды ГГО, 1989, вып. 522, с. 124 – 131.

23. Кожевников Б.Л., Железнов В.В. Устройство для поверки анемометров. – Труды ГГО, 1989, вып. 522, с. 83 – 88.

24. Кожевников Б.Л. Воздействие на приборы испаряющихся примесей воздуха. - Труды ГГО, 1986, вып. 510, с. 89 – 93.

25. Кожевников Б.Л. Оценка влияния гигроскопичных примесей воздуха. – Труды ГГО, 1986, вып. 510, с. 89 – 93.

26. Кожевников Б.Л. Поправочные коэффициенты к межповерочным интервалам метеорологических средств измерений. – Труды ГГО, 1986, вып. 510, с. 122 – 128.

27. Кожевников Б.Л., Тетерев Г.И. Влияние погрешности прибора на результат измерений. – Труды ГГО, 1985, вып. 476, с. 105 – 109.

28. Кожевников Б.Л. Влияние температурных воздействий атмосферы на надежность метеорологических приборов. – Труды ГГО, 1985, вып.476, с. 89 – 95.
29. Кожевников Б.Л. Влияние состава атмосферного воздуха на качество метеорологических приборов - Труды ГГО, 1985, вып. 491, с. 78 – 83.
30. Кожевников Б.Л. Физико-химическое воздействие выпадающих осадков на качество метеорологических измерительных устройств. – Труды ГГО, 1985, вып. 491, с. 61 – 68.
31. Кожевников Б.Л. Оценки воздействия водяного пара атмосферы на средства измерений. – Труды ГГО, 1985, вып. 491, с. 73 – 78.
32. Кожевников Б.Л. Влияние атмосферного давления на надежность метеорологических приборов - Труды ГГО, 1985, вып.476, с. 84 – 88.
33. Кожевников Б.Л. Оценки механического воздействия выпадающих осадков на метеорологические приборы. - Труды ГГО, 1985, вып. 491, с. 68 – 73.
34. Кожевников Б.Л. Влияние фазовых переходов атмосферной влаги на метеорологические приборы. – Труды ГГО, 1985. вып. 476, с. 96 – 103.
35. Кожевников Б.Л. Влияние радиационных воздействий на старение метеорологических приборов. - Труды ГГО, 1982, вып. 465, с. 55 – 60.
36. Кожевников Б.Л. Влияние ветровых воздействий на износ метеорологических приборов. - Труды ГГО, 1982, вып. 465, с. 51 – 56.
37. Кожевников Б.Л., Рогалев Ю.В., Фатеев Н.П. Состояние измерений параметров ветра и анализ их метрологического обеспечения. – Труды ГГО, 1982, вып. 465, с. 25 – 37.
38. Кожевников Б.Л. Влияние агрессивности атмосферы на межповерочные интервалы - Труды ГГО, 1982, вып. 465, с. 50 – 55.
39. Кожевников Б.Л. Оценка агрессивности атмосферных условий эксплуатации метеорологических средств измерений. – Труды ГГО, 1981, вып. 452, с. 39 – 46.
40. Кожевников Б.Л., Резников Г.П., Романов Е.В., Фатеев Н.П. Принципы метрологического обеспечения аэродромных средств измерений. – Труды ГГО, 1981, вып. 452, с. 3 – 9.
41. Кожевников Б.Л. Расчет термодинамической составляющей критерия агрессивности атмосферы. – Труды ГГО, 1981, вып. 452, с. 46 – 53.
42. Кожевников Б.Л. Эффективность учета законов распределения погрешностей. – Труды ГГО, 1981, вып. 432, с.37 – 41.
43. Кожевников Б.Л., Фатеев Н.П. Анализ состояния метеорологических измерений. – Труды ГГО, 1978, вып. 414, с. 3 – 8.
44. Кожевников Б.Л., Ануфриев В. И., Гутников В.С., Клементьев А.В., Лопатин В.В., Русских А.В. Измерительный комплекс метеорологических параметров в автоматизированной системе контроля загрязнения атмосферного воздуха. – /В сб.: Проблемы контроля и защиты атмосферы от загрязнения, вып. 3. - Киев, «Наукова думка», 1977, с. 12 – 19.
45. Кожевников Б.Л., Ануфриев В. И., Зайцев А.С. Измерение метеорологических элементов в автоматизированной системе контроля загрязнения воздуха. – /В сб.:Проблемы контроля и защиты атмосферы от загрязнения, вып. 3.- Киев, «Наукова думка», 1977, с. 19 – 24.
46. Кожевников Б.Л. Результаты эксперимента с регистраторами фазовых пленок увлажнения. – Труды ГГО, 1976, вып.346, с. 49 – 54.
47. Кожевников Б.Л., Ануфриев В. И., Гутников В.С. и др. Система с частотным выходом для измерения параметров воздушной среды. – /В сб.: Информационно-измерительные системы-75. Тезисы докл. Всесоюз. науч.-тех. конф. – Л., Энергия, 1975, с. 158 – 160.
48. Кожевников Б.Л. Методика и аппаратура для регистрации наружного увлажнения материалов с целью оценки агрессивности атмосферы. Диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук – Л., ГГО, 1974; 145 с.

49. Кожевников Б.Л. О регистрации капельножидких пленок поверхностного увлажнения. – Труды ГГО, 1973, вып.313, с. 128 – 133.

50. Кожевников Б.Л., Романов Е.В. Регистратор поверхностного увлажнения металлов. – Труды ГГО, 1973, вып.313, с. 134 – 138.

### ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр. 26 Рисунок 8 Следует читать

