

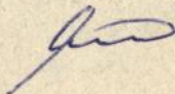
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

на правах рукописи

МУНИЦА Анатолий Иванович

ДИНАМИКА ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ  
В СИСТЕМЕ ТЕРМОЗОНД - ГРУНТ

01.04.14 - теплофизика и молекулярная физика



Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев - 1992

Работа выполнена в Институте технической теплофизики  
Академии наук Украины.

- Научный руководитель - доктор технических наук,  
ст. научный сотрудник  
Добрянский Ю. П.
- Научный консультант - доктор технических наук,  
академик АН Украины  
Щербань А. П.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Никитенко Н. И. ,  
- кандидат технических наук  
Черинько В. Н.
- Ведущее предприятие - Научно-производственное  
объединение НИПИОкеангеофизика  
г. Геленджик

Защита состоится " 27 " 10 1992 г. в 13<sup>00</sup>

часов на заседании специализированного совета К. 016. 43. 02  
при Институте технической теплофизики АН Украины (252057, Киев-57,  
ул. Леябова, 2а).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИТФ АН Украины.  
Автореферат разослан " 25 " 09 1992 г.

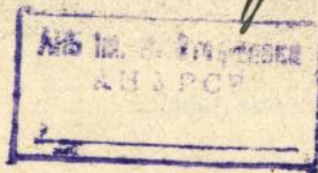
ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00816455 (Т)

Ученый секретарь специализированного  
совета, кандидат технических наук

*Кривошей*  
Ф. А. Кривошей



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом большое внимание уделяется развитию геотермических методов, применяемых для решения широкого круга задач геологии и геофизики. Значительный вклад в развитие данного направления внесли такие известные зарубежные ученые как Е. Буллард, фон Р. Герцен, В. Чермак, Р. Хенель, С. Уеда и др. Среди ученых нашей страны следует отметить таких исследователей как Е. А. Любимова, В. В. Суетнов, В. И. Кононов, Р. И. Кутас, Э. В. Чекалюк, В. И. Артеменко, В. И. Лялько, В. Г. Осадчий и др. Изучение температурных полей приповерхностного слоя земной коры для целей геологического поиска требует наряду с совершенствованием аппаратуры, применяемой для терморазведки, наличие методик (алгоритмов), позволяющих определить величину геотермических параметров на базе произведенных замеров. Условия проведения геотермических исследований приповерхностного слоя морского дна имеют некоторые преимущества от условий исследования на суше. Так, к примеру, значительная часть акваторий покрыта слоем ила, песка или глины, что позволяет легко заглублять зонд на несколько метров под дно моря, освобождая исследователей от бурения скважин. Однако разности температур, определяющие геотермический градиент в морских осадках, значительно меньше аналогичных величин, измеренных на суше, из-за разного расстояния между термодатчиками и составляют сотые доли градуса Цельсия. Измеряемая величина температурной разности содержит тепловые эффекты ряда других источников. Эти эффекты иногда при измерении в морских условиях составляют значительную ее часть. В связи с этим необходимы методы, позволяющие выделить геотермический градиент из измеряемой разности температур. Одним из таких факторов является трение зонда об осадки.

Измерения геотермического градиента в морских осадках производятся с борта судна путем опускания термозонда на тросе-кабеле и внедрения его в дно. Передача информации на борт производится по тросу-кабелю или снимается по окончании замера.

Даже в лучшем случае дрейф судна не позволяет производить измерения более 40-50 минут, тогда как для выравнивания температур в термовонде и морских осадках иногда необходимо не менее 4 часов. При сокращении времени выдерживания термовонда в грунте систематическая погрешность определения геотермического градиента иногда достигает 50%. С другой стороны, высокая оплата аренды судна, с которого производятся измерения геотермического градиента, стимулирует сокращение времени замеров. Для того, чтобы значительно снизить величину погрешности и одновременно сократить время измерения, потребовалось создание метода обработки данных, полученных при измерении геотермического градиента в морских осадках. Исследования по теме выполнялись по постановлению Госплана СССР и ГКНТ от 14.08.86г. и входили в координационный план НИР по проблеме 3.1.14.8 "Геотермика" на 1986-1990гг. АН СССР.

Цель работы. Создать программные и методические средства, позволяющие: определять геотермический градиент с погрешностью, не превышающей 2%; сократить время измерения геотермического градиента в морских условиях.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. В сравнении с известными методиками обработки данных о геотермическом градиенте разработанная методика учитывает как радиальный, так и продольный перенос теплоты в системе термовонд - грунт, а также теплофизические свойства не только грунта, но и материалов, составляющих термовонд. Это позволяет обобщить данные о геотермическом градиенте морского дна, накопленные другими исследователями, в том числе использовать замеры с укороченной длительностью вплоть до 20 минут.

2. В результате численных исследований было установлено, что регистрируемый термоградиент в первые три минуты после внедрения зонда в грунт зависит только от доли энергии торможения ( $AP$ ), превратившейся в теплоту и распределившейся вдоль штанги термовонда, и практически не зависит от величины градиента в грунте. Это позволяет определять  $AP$ , используя информацию о градиенте за первые три минуты.

3. Существенное влияние на разность регистрируемого гра-

диента и термоградиента в грунте оказывает АР. При АР-1 эта равность после выдержки термовонда в грунте в течение одного часа может достигать 50% в зависимости от месторасположения датчиков в штанге термовонда.

4. Установлено, что при  $АР < 0.1$  начальное распределение температуры в металлической части штанги является линейным. Это позволяет использовать для замеров градиента одноканальный термовонд. При  $АР > 0.1$  в связи с нелинейностью начального распределения температуры в металлической части термовонда для высокоточных замеров необходимо использовать многоканальный термовонд.

Практическая значимость работы. Результаты работы позволяют оценить влияние конструктивных параметров термовонда (длина штанги, расположение термодатчиков, наполнитель штанги), теплофизических свойств грунта и термовонда, начального распределения температуры в термовонде, величины влажности грунта, механической энергии внедрения на величину погрешности регистрируемого градиента.

Вследствие этого при обработке информации по определению геотермического градиента легко определяются критерии учета перечисленных факторов. Разработанная методика определения геотермического градиента в приповерхностном слое позволяет использовать показания термовонда в течение первых 15-20 минут после внедрения вместо 50.

Сокращение времени замеров приводит к сокращению времени использования арендованного судна. Использование методики в ИПО НИПИОкеангеофизика составило 108 тысяч рублей годового экономического эффекта.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методов и средств вычислительной техники, удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных данных.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на XIV конференции молодых ученых и специалистов ИТТФ АН УССР (1983 г.), на XIII сессии Всесоюзного семинара "Системы контроля тепловых параметров рудничной атмосферы и горного массива" (г. Киев, 1984г.), на совещании Рабочей

группы "Геотермика морей и океанов" (Москва, 1985 г.), на XX сессии научного всесоюзного семинара по горной теплофизике "Тепломассообмен в системе "горный массив - подземное сооружение" (г. Житомир, 1989 г.), на XXIV сессии Всесоюзного семинара "Теплофизические проблемы освоения недр и безопасность жизнедеятельности" (г. Владивосток, 1991 г.).

Основные публикации. Результаты работы опубликованы в 4 статьях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и трех приложений; содержит 212 страниц машинописного текста, 22 рисунка, 5 таблиц, список использованной литературы, включающий 105 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулирована цель работы.

В первой главе описаны основные методы, применяемые в геотермической разведке: вариации теплового потока, равноглубинных градиентов и полевой геотермической съемки. Информация, полученная с помощью тепломеров, по достоверности о величине геотермического потока значительно уступает информации, полученной с помощью термовонда. Поэтому метод равноглубинных градиентов получил более широкое применение, например, для картирования теплового потока, а термовонд является более распространенным измерительным инструментом. Его использование, хоть и в меньшей мере, но также, как и использование тепломера, вызывает искажение естественного температурного поля грунта. Поэтому нами в качестве объекта исследования температурного режима в связи с вышеизложенным выбран термовонд.

Во второй главе проведен анализ существующих численных методов, с помощью которых можно было бы решить задачу о температурном режиме термовонда в донных осадках. Из перечисленных мы избрали метод конечных разностей. С целью эффективного применения этого метода на ЭВМ с ограниченными вычислительными ресурсами использовалась неравномерная разбивка по

области. Для решения двумерной задачи теплопроводности применялась схема расщепления.

При выборе численного метода были учтены широкие возможности сеточных методов. Так, например, при использовании метода расщепления значительно упрощается как алгоритм решения, так и реализация его на ЭВМ по сравнению с методом конечных элементов и методом Монте-Карло. Неограниченность области (массив грунта) и непрекращающаяся нестационарность рассматриваемого теплового процесса требует наличия больших ресурсов ЭВМ в случае равномерной разбивки по области и по времени, и, соответственно, значительных затрат времени для расчетов. В результате покрытия области рассматриваемой задачи неравномерной сеткой при использовании неравномерных шагов по времени, значительно сокращается время счета, а также потребность в оперативной памяти для решения вышеизложенной задачи. Подготовка исходной информации для решения двумерных краевых задач, включая покрытие области сеткой, ввод координат каждого узла, ввод теплофизических свойств, привязанных к координатам, является довольно громоздкой процедурой. По этой причине возникла необходимость разработки программных средств, в значительной мере облегчающих исследователю подготовку исходной информации.

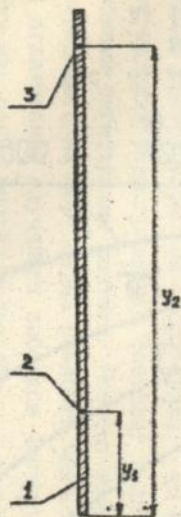
В третьей главе описан комплекс программ, вновь созданный нами, для решения двумерной задачи теплопроводности. Он позволяет решать задачи в декартовых, цилиндрических и сферических координатах с граничными условиями I, II и III рода. Область решаемой задачи допускает до 9 разрывов первого рода как в направлении OX, так и в направлении OY. Комплекс предусматривает решение задач с объемными источниками. Одним из существенных отличий от известных программ для решения задач теплопроводности является расчет начальной температуры на границе подобластей

Учитывая громоздкость и трудоемкость разбиения области на узлы, в комплексе предусмотрено такое разбиение с помощью программных средств. Для описания подобластей достаточно описать координаты граничных точек для каждой из подобластей и их условный номер.

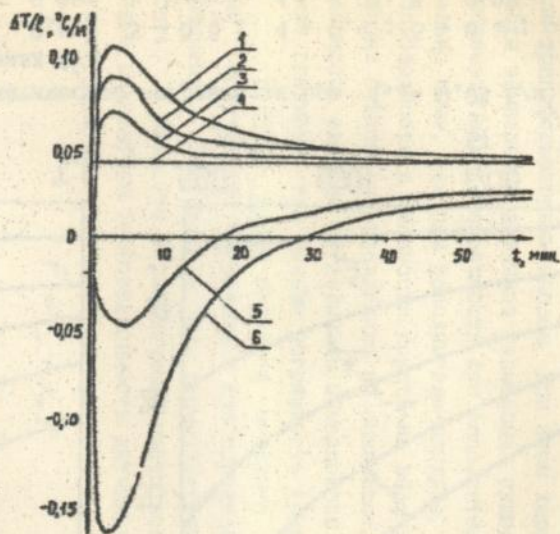
Решение двумерных задач теплопроводности с помощью программного комплекса позволяет задавать начальное распределение температуры в виде зависимости от координат. В зависимости от быстроты протекания теплового процесса предусмотрен неравномерный шаг по времени, а также неравномерный шаг выдачи результатов на печать (терминал). Значительно упрощенная подготовка исходной информации позволяет производить массовые многовариантные расчеты, чем выгодно отличается от известных программ.

В четвертой главе проведено исследование остывания термозонда на основе разработанного комплекса программ. В результате анализа температурных полей системы термозонд-грунт оказалось, что существенное влияние на величину систематической погрешности оказывает месторасположение датчиков температуры вдоль штанги термозонда. В зависимости от удаления нижнего термодатчика относительно нижнего конца штанги термозонда разность температур датчиков может изменяться во времени по разным законам и величина систематической погрешности может изменяться от 5 до 50% после выдержки термозонда в осадках в течение 1 часа (Рис. 1).

Значительное влияние на величину систематической погрешности оказывает количество механической энергии, превратившейся в теплоту трения и распределившейся вдоль штанги термозонда. Е. Буллардом было установлено в случае, если полностью механическая энергия превратится в теплоту и усвоится штангой термозонда, что время остывания термозонда в осадках составит 4 часа (систематическая погрешность будет при этом составлять 1-2%). В результате исследований нами было установлено, что разность температур датчиков за счет теплоты трения значительно превышает средний градиент температуры в грунте и изменение этой разности во времени в первые 3 минуты практически не зависит от величины регистрируемого градиента в грунте. Это условие дало возможность в первые 3 минуты определить величину механической энергии, перешедшей в теплоту трения и распределившейся вдоль штанги. Изменение систематической погрешности показано на рис. 2 при выдерживании термозонда в осадках в течение 30 мин при известных:  $AP$  - доли



а)



б)

Рис. 1. Схема расположения датчиков и изменение регистрируемого термогриента во времени при различном расположении датчиков:

а) - 1 - штанга термозонда; 2,3 - нижний и верхний датчики;

б) - 1 -  $y_1=26\text{см}$ ,  $y_2=128\text{см}$ ; 2 -  $y_1=341\text{см}$ ,  $y_2=443\text{см}$ ; 3 -  $y_1=7\text{см}$ ,

$y_2=463\text{см}$ ; 4 - термогриент в осадках до внедрения зонда;

5 -  $y_1=7\text{см}$ ,  $y_2=96\text{см}$ ; 6 -  $y_1=0.5\text{см}$ ,  $y_2=96\text{см}$ .

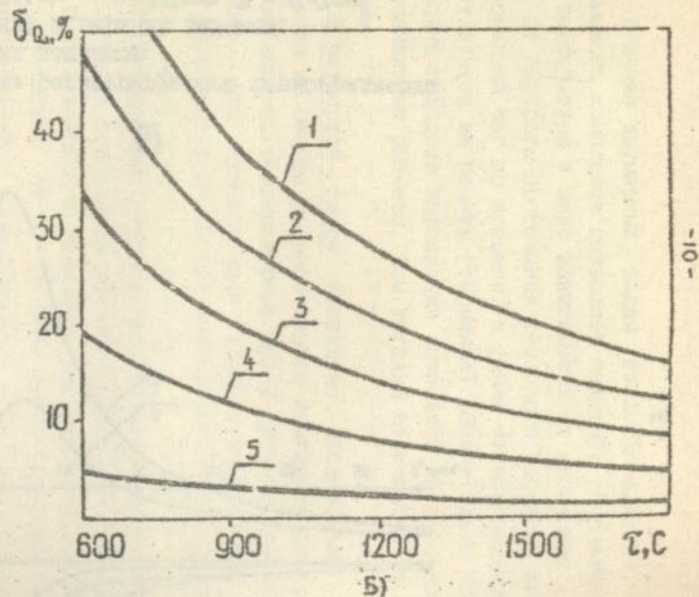
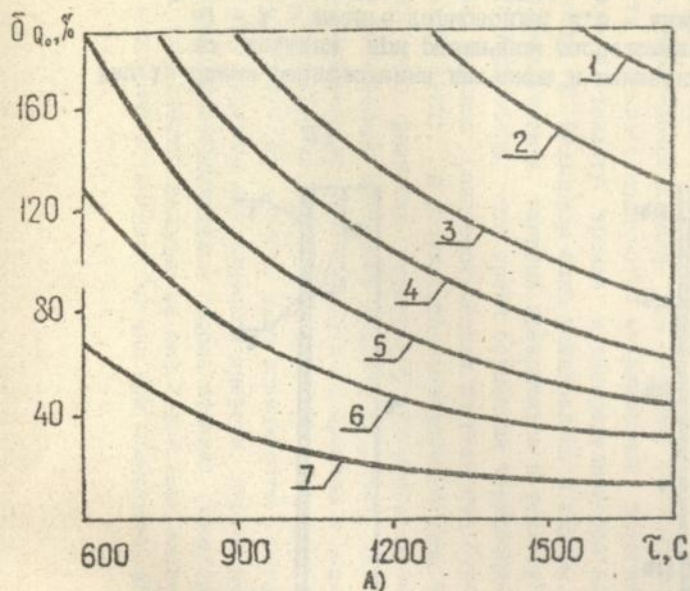


рис. 2. Динамика систематической погрешности при  $G_{\sigma} = 0,04$  к/м  
и разных значениях  $AP$ :

- А) 1 -  $AP=1,0$  ; 2 -  $0,8$  ; 3 -  $0,5$  ; 4 -  $0,4$  ; 5 -  $0,3$  ; 6 -  $0,2$  ; 7 -  $0$  ;  
 Б) 1 -  $AP=0,1$  ; 2 -  $0,08$  ; 3 -  $0,06$  ; 4 -  $0,04$  ; 5 -  $0,02$ .

теплоты, распределившейся вдоль штанги термовонда,  $G_0$  - термоградиенте в грунте до внедрения термовонда, а также теплофизических свойств грунта и термовонда.

Большое влияние на время выравнивания температур термовонда и окружающего его грунта оказывает заполнитель штанги. Внутреннее пространство штанги обычно заполнено воздухом или трансформаторным маслом. При этом характер изменения разности температур датчиков термовонда существенно отличается. Систематическая погрешность при заполнителе-масле будет значительно выше, чем при заполнителе-воздухе. Изменение температуропроводности и влажности грунта на величину систематической ошибки существенного влияния не оказывает. Систематическая погрешность зависит от величины измеряемого термоградиента - чем выше градиент, тем меньше погрешность (рис. 3).

В пятой главе изложена методика обработки информации, полученной термовондом для определения геотермического градиента. Учитывая высокую термочувствительность и линейность, в качестве термодатчиков часто используются пьезокварцевые резонаторы. Термовозвисимость датчиков определяется следующей формулой:

$$F = F_0 + K_T T$$

где  $F_0$  - опорная частота резонатора,  $K_T$  - коэффициент термовозвисимости,  $F$  и  $T$  - соответственно частота и температура. Используемые резонаторы имеют опорную частоту около 500 кГц. Разность частот, вызываемая наличием термоградиента составляет величину на 3-4 порядка ниже. Если передавать частоту от каждого резонатора на борт судна, то изменения частоты за счет наличия термоградиента составят величины, соизмеримые с ошибками регистрации частоты. Поэтому желательно фиксировать и передавать на борт судна разность частот двух генераторов. Для сглаживания случайных выбросов частоты и повышения точности измерения иногда целесообразно суммировать частоты за определенное время. Перевод показаний в единицы частоты при измерении трехканальным термовондом осуществляется по предлагаемым формулам

при  $K_1 \neq K_2$  или  $K_2 \neq K_1$  :

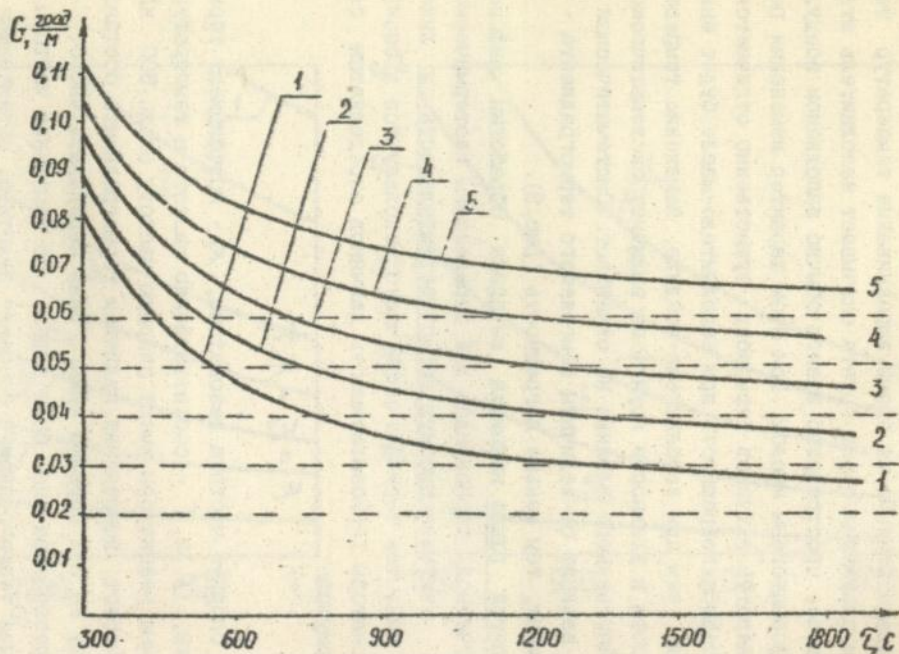


Рис. 3. Изменение регистрируемого термоградиента  $G$  (сплошная) во времени при разных  $G_0$  (пунктир) при заполнителе штанги - воздухе и доле теплоты трения AP-0.1: 1 -  $G_0=0.02$ град/м, 2 - 0.03, 3 - 0.04, 4 - 0.05, 5 - 0.06.

$$\Delta T = \frac{\Delta F_2 (K_2 - K_1) - \Delta F_1 (K_2 - K_3)}{(K_2 X_2 - K_3 X_3)(K_2 - K_1) - (K_2 X_2 - K_1 X_1)(K_2 - K_3)};$$

при  $K_1 \neq K_3$  или  $K_2 \neq K_4$  :

$$\Delta T = \frac{\Delta F_3 (K_2 - K_3) - \Delta F_1 (K_2 - K_4)}{(K_3 X_3 - K_4 X_4)(K_2 - K_1) - (K_2 X_2 - K_1 X_1)(K_3 - K_4)};$$

при  $K_2 \neq K_3$  или  $K_3 \neq K_4$  :

$$\Delta T = \frac{\Delta F_3 (K_2 - K_3) - \Delta F_2 (K_3 - K_4)}{(K_3 X_3 - K_4 X_4)(K_2 - K_3) - (K_2 X_2 - K_3 X_3)(K_3 - K_4)};$$

где  $\Delta F_i$  - разность частоты "градиентной" и "нулевой" линий, отнесенная к времени суммирования частот,  $K_i$  - коэффициенты линейного преобразования температуры в частоту,  $X_i$  - расстояние между  $i$ -тым термодатчиком и границей вода-грунт,  $\Delta T$  - оценка градиента температуры. В случае равенства всех коэффициентов  $K_i$  и теплофизически однородных осадков, в которых оценивается термоградиент, соотношения для определения термоградиентов значительно упростятся, и оценку градиента можно так и для одноканального прибора определить по формуле

$$\Delta T = \Delta F_1 / K_1 (X_2 - X_1) = \Delta F_2 / K_1 (X_2 - X_3) = \Delta F_3 / K_1 (X_3 - X_4).$$

Используя приведенные формулы, можно определить разность температур в любой момент времени, имея соответствующие параметры  $F_i$ ,  $K_i$ ,  $X_i$ . Однако, информация, полученная таким образом, не определяет однозначно геотермический градиент при разном времени измерения и поэтому требует дополнительной обработки. Приведем алгоритм дальнейшей обработки полученной информации, позволяющий снизить величину систематической погрешности до 2%.

Очередность операций в алгоритме обработки следующая:

1. По скорости опускания термозонда, его массе и длине рассчитывается полная энергия термозонда.
2. Определяется первоначальное значение доли механической энергии (AP), переходящей в теплоту и распределившейся вдоль штанги.
3. Производится расчет на ЭВМ задачи остывания термозонда в грунте, и, учитывая независимость термоградиента в зонде от величины термоградиента в грунте в первые 3-4 минуты, сравни

вается расчетное значение термоградиента с фактическим в моменты времени, равные 2, 3 и 4 минуты. В случае их несовпадения с определенной точностью, корректируем значение  $\Delta P$  и повторяем теплофизический расчет. Количество итераций определяется величиной наперед заданной суммарной невязки экспериментальных и расчетных значений.

4. Выбираются значения экспериментально измеренного градиента за предпоследнюю и последнюю минуты до вырыва термовонда из грунта.

5. Исходя из предположения, что равенство термоградиентов в вонде ( $G_T$ ) и грунте ( $G_{gr}$ ) обратно пропорциональна времени  $G_T - G_{gr} = A/n$ , где  $n$  - время в минутах, определяется первое приближение градиента в грунте:

$$G_{gr} = G_T^{n-1} (1-n) + G_T^n \cdot n.$$

6. Проверяется значение  $G_{gr}$  путем решения двумерной задачи. После оценки суммарной невязки рассчитанного и измеренного градиентов в случае необходимости корректируется  $G_{gr}$  и повторяется расчет. Подобная процедура проводится до тех пор, пока систематическая погрешность (СП) не превышает заданной величины. В большинстве случаев для определения геотермического градиента с погрешностью 2% необходимо выполнить 3-4 итерации.

В шестой главе описаны экспериментальные измерения в лабораторных и морских условиях. Проведение экспериментов объясняется необходимостью сравнения расчетных и натуральных значений термоградиента; выяснения формы начального температурного распределения в вонде; оценки влияния на показания прибора тепловыделений термодатчиков при их работе и влияния теплоконтакта между стенкой штанги и датчиком на СП.

Оценка влияния разогрева термодатчиков явилась результатом проведения следующего эксперимента. В термоизолированном цилиндре помещался термовонд и после выдерживания его в течение двух суток были сняты показания. В результате оценки показаний можно заключить, что разогрев термодатчиков за счет работы генератора частоты практически не влияет на показания

прибора.

При уменьшении термического сопротивления между термодатчиками и металлической частью штанги термовонда, которое было обеспечено путем прижатия датчика к внутренней поверхности корпуса штанги с помощью специальной пружины, наблюдается значительное сокращение времени выравнивания температур датчиков и окружающего грунта (рис. 4).

При проведении экспериментов было выявлено, что на мелководье при глубинах до 10 метров градиент температуры приповерхностного слоя грунта значительно зависит от глубины внедрения термовонда. Было также установлено, что начальное распределение температур в термовонде для больших глубин моря довольно близко к линейному (измерения проводились на глубинах свыше 1000 м). Сравнения показаний термовонда с вынесенными датчиками вне штанги и результатами, полученными после применения методики обработки показали хорошее совпадение. Отличие составляло 3% (рис. 5).

В результате проведенного эксперимента можно заключить:

- 1) измерения, проведенные аппаратурой АЦТМ-1 позволяют фиксировать градиент температуры с погрешностью 0,002 К/м;
- 2) на глубинах до 10 м значительно сказывается влияние сезонных колебаний температуры, что не позволяет определить геотермический градиент с помощью термовонда;
- 3) при измерении градиента в мягких илах начальное распределение в термовонде можно считать прямолинейным на глубинах свыше 1000м;
- 4) время выравнивания температур илов в местах расположения термодатчиков и температур датчиков при измерениях с достаточной точностью (погрешность не превышает 2%) не превышает 60 минут;
- 5) улучшение теплового контакта в местах расположения термодатчиков позволяет значительно сократить время выдерживания термовонда в грунте. Для условий проведенного эксперимента время выдержки термовонда в грунте можно сократить в 2-2,5 раза;
- 6) методика определения приповерхностного градиента температуры в морских осадках позволяет снизить систематическую погрешность определения градиента от 30-50% до 2-3%.

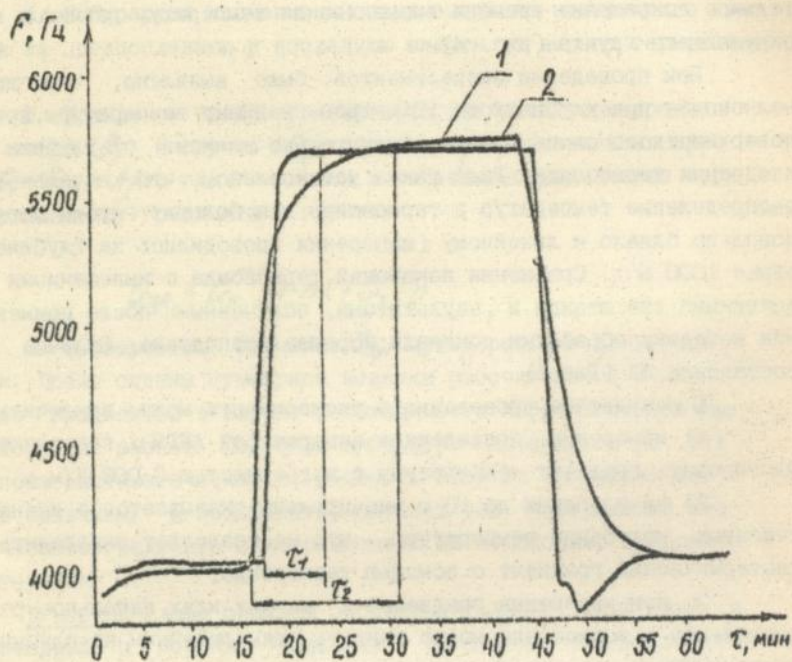
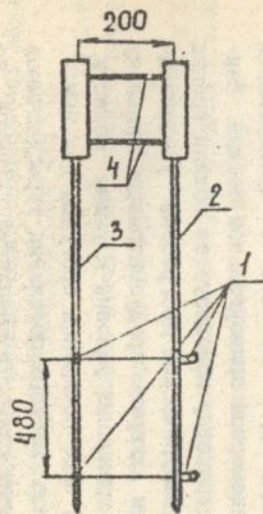
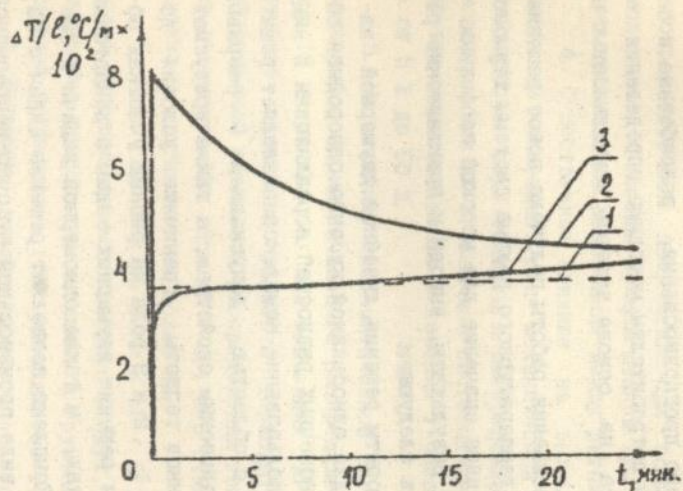


Рис. 4. Регистрация градиента температур в приповерхностном слое морского дна с применением теплопроводного корпуса для датчика (кривая 1) и без него (кривая 2).  $\tau_1$  и  $\tau_2$  - время выдерживания термовонда в грунте до СП, не превышающем 15%.



а



б

Рис. 5. Сравнение показаний одноканальных приборов.

а) Схема расположения датчиков:

1 - термодатчики, 2 - термозонд с вынесенными вне штанги датчиками, 3 - термозонд с датчиками внутри штанги, 4 - крепеж.

б) Изменение разности температур во времени: 1 - истинный термоградиент, 2 - показания термозонда 1, 3 - показания термозонда 2.

В заключении изложены основные результаты и выводы.

В диссертационной работе исследован температурный режим системы термовонд - грунт, предложена математическая модель для теоретического описания этого режима, разработан новый комплекс программ для его прогнозирования, разработана и передана заинтересованным потребителям методика определения геотермического градиента на основе замеров длительностью не менее 20 минут.

В результате выполнения работы получено новое решение задачи по исследованию температурного режима системы термовонд-грунт, имеющее существенное значение для морской геофизики.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации заключаются в следующем.

1. Разработан алгоритм решения линейной двумерной задачи теплопроводности для односвязной кусочно-однородной области на основе метода конечных разностей и реализован в виде комплекса программ. Использование комплекса позволяет решать задачи теплопроводности с областью, допускающей 9 разрывов первого рода по теплофизическим свойствам, а также предусматривается наличие источников теплоты. Граничные условия допускаются одновременно 1, 2 и 3 рода на разных участках области. Предусматривается решение двумерных задач в декартовых цилиндрических координатах, а также одномерной задачи в сферических координатах. Комплекс позволяет решение задач с начальной температурой в виде произвольной кусочно-непрерывной функции и сдан в ГосФАП.

2. Разработан алгоритм покрытия кусочно-однородной по теплофизическим свойствам двумерной области с произвольной непрерывной границей неравномерной прямоугольной сеткой. Наиболее мелкий шаг по пространству используется вблизи границ подобластей и по закону геометрической прогрессии увеличивается к середине подобласти. Алгоритм предусматривает привязку теплофизических свойств и граничных условий к узлам области. Этот алгоритм реализован в виде комплекса программ для ЭВМ.

3. В зависимости от месторасположения термодатчиков вдоль штанги кривая изменения разности показаний датчиков во времени имеет разную форму, и располагаться она может как вы-

ше так и ниже значения истинного геотермического градиента. Величина этой погрешности может составлять от 5 % до 50 % при выдерживании термозонда в грунте в течение 1 часа. Максимальную погрешность 50% получается при совмещении одного из термодатчиков с нижним концом штанги при длине штанги, значительно превышающей расстояние между датчиками.

4. Существенное влияние на величину систематической погрешности оказывает доля механической энергии (AP), выделившейся в виде теплоты и распределившейся вдоль штанги термозонда. При AP=1 величина систематической погрешности при измерении термоградиента в течение 1 часа находится в диапазоне от 5 % до 50 %.

5. На величину систематической погрешности оказывает влияние выбор формы начального распределения температуры в первые 10 минут при больших значениях AP. Так максимальное отклонение показаний равности термодатчиков при линейном и параболическом начальном распределении температуры и при AP=1 может достигать 40%. При AP < 0.1 это отклонение весьма незначительно и составляет не более 6%.

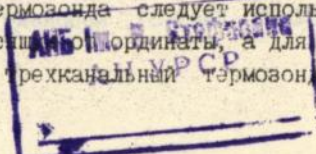
6. При глубинах до 2 км и AP < 0.1 предпочтительнее в качестве заполнителя использовать воздух, что уменьшает время выравнивания температур датчиков и грунта. При этом систематическая погрешность (СП) уменьшается с 22 % до 4 %.

7. Величина влажности и температуропроводности грунта при AP < 0.1 незначительно влияет на показания прибора (СП не превышает 6%) при выдерживании термозонда в грунте более 30 минут. При AP > 0.1 эти факторы имеют существенное влияние на СП.

8. Уменьшение термического сопротивления между датчиками и штангой зонда в местах их расположения ускоряет в 2-2.5 раза выравнивание температур термодатчиков и грунта.

9. Использование предложенного алгоритма определения термоградиента позволяет снизить систематическую погрешность до 2-3%.

10. При AP > 0.1 для аппроксимации начального распределения температуры вдоль штанги термозонда следует использовать квадратическую функцию, зависящую от координаты, а для измерения геотермического градиента - трехканальный термозонд.



ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

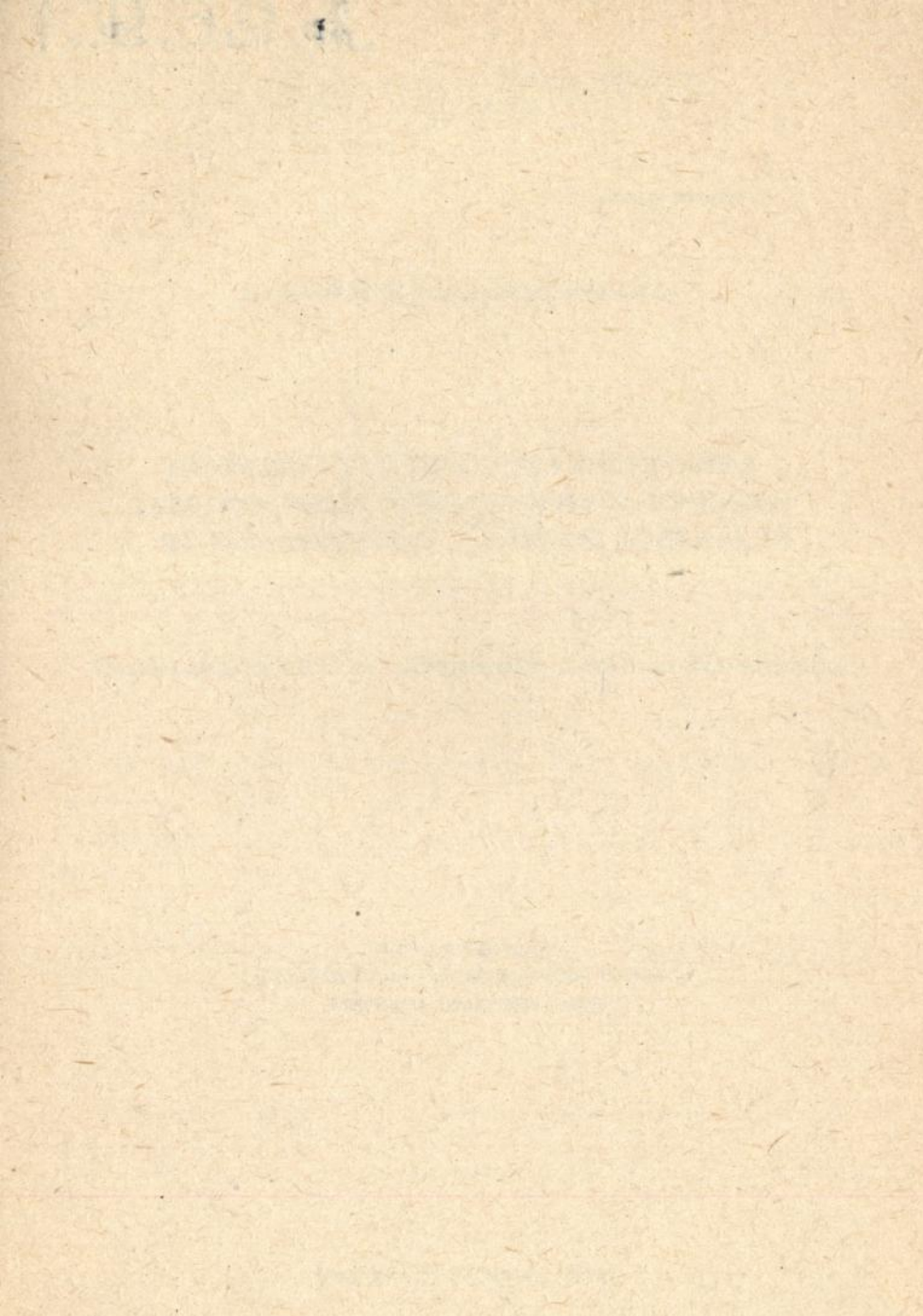
1. Муница А. И., Добрянский Ю. П. Ошибки измерения геотермического градиента, вызванные внедрением термоградиентометра. // Геотермические исследования на дне акваторий. М., Наука, 1988, с. 134-136.
2. Муница А. И. Комплекс программ для решения уравнения теплопроводности. ФАП АН УССР, N АПО239, 1.03.1989г.
3. Муница А. И. Численное исследование рассеивания теплоты трения при измерении геотермического градиента термовондом. Промтеплотехника, 1991, т. 13, N4, с. 77-81.
4. Муница А. И., Щербань А. Н., Добрянский Ю. П. Искажения при измерении геотермического градиента донных морских отложений. Промтеплотехника, 1986, т. 8, N6, с. 87-89.

Подписано к печати 26.08.1992 г., формат 60x84/16  
Бумага офсетная Усл.-печ. лист. 1,0. Уч.-изд. лист 1,0.  
Тираж 100 Заказ 227. Бесплатно

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины  
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.







AB 25.901