

Автореферат М  
Р 49

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

---

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Ригоберто ГОНСАЛЕС РОДРИГЕС

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ  
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГЛУБИНЫХ ВОД ТРОПИЧЕСКИХ МОРЕЙ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ХОЛОДА

(Специальность 05.04.03—гидравлические машины,  
машины и аппараты холодильной и криогенной техники)

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ОДЕССА — 1976

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Маной Натане  
- адмистратор  
Инженер,  
подписавший в  
этом институте работу  
на тему "Исследование  
и разработка методов  
использования  
глубинных вод тропических морей  
для получения энергии и холода"*

На правах рукописи

*Одесса, 26.04.76 г.*

Ригоберто ГОНСАЛЕС РОДРИГЕС

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛУБИННЫХ ВОД ТРОПИЧЕСКИХ МОРЕЙ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ХОЛОДА

(Специальность 05.04.03 - гидравлические машины;  
машины и аппараты холодильной и криогенной техники)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

XV1311  
ИНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
бібліотека

Одеська  
ВІДЛЮГЕНКА  
академія холоду  
енергетика

Работа выполнена в Одесском  
технологическом институте  
холодильной промышленности

**НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ:**

профессор, доктор технических наук	<b>МАРТИНОВСКИЙ В.С.</b>
профессор, доктор технических наук	<b>АЛЕКСЕЕВ В.П.</b>
профессор, доктор технических наук	<b>МЕЛЬЦЕР Л.З.</b>

**ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:**

профессор, доктор технических наук	<b>ЧУМАК И.Г.</b>
кандидат технических наук	<b>НЕДОСТУП В.И.</b>

**ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ:**

Проблемная лаборатория судовой холодильной техники и  
прикладной термодинамики Одесского института инженеров  
морского флота

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1976 г.  
в \_\_\_ час. на заседании специализированного Совета,  
шифр К-539/1 Одесского технологического института  
холодильной промышленности.

270000, г. Одесса, ул. Петра Великого, 1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1976 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

доцент

**НИКУЛЬШИН Р.К.**

**В В Е Д Е Н И Е**

Более ста лет прошло с тех пор, как В. Томсон указал на термические и другие неравновесности в природе, как на возможные источники полезной работы. К ним относятся температурно-плотностная стратификация океана, интересная как в плане энергетического преобразования разности потенциалов между поверхностными (теплыми) и глубинными (холодными) слоями, так и по разнообразным возможностям непосредственного использования глубинных вод (ГВ). Этим вопросам было посвящено немало работ, представляющих и ныне научную ценность, но имевших в свое время весьма ограниченное прикладное значение.

Современный подход как в оценке задачи освоения нового энергетического источника, так и, собственно, к ее постановке и решению определяется необходимостью и возможностью получения практических результатов уже в ближайшем будущем. Эта необходимость приобретает насущный характер в связи с достигнутым, недавно осознанным масштабом проблематики окружающей среды, энергии и природных ресурсов, а возможность достичь эффективных практических решений становится реальной благодаря достигнутому в настоящее время научно-техническому прогрессу. Эта задача органически взаимосвязана с начавшимся процессом комплексно-экстенсивного проникновения человека в Мировой океан.

Из 40 стран, имеющих благоприятные условия для крупномасштабной непрерывной эксплуатации термоморских ресурсов, выделяется Куба, где на половине островного контура возможно рентабельное использование ГВ в промышленных и бытовых объектах. В связи с природным дефицитом энергоресурсов и климатом,

задача поиска новых источников энергии и холода является определяющей для строительства социализма на Кубе. Некоторые решения рассматриваются в данной работе.

В диссертации защищаются следующие основные положения, отличающиеся новизной в научно-прикладном отношении:

- I. На современном уровне развития техники многоцелевое энергетическое и, особенно, непосредственное использование глубинных океанских вод, обладающих эксергетическим потенциалом, может быть рациональным как с технико-экономической, так и с экологической точек зрения.

Это положение, обоснованное применительно к Кубе, доказывается обобщением современного опыта, разработкой технологии трубопроводной добычи ГВ и общим анализом возможных циклов, схем и методов непосредственного использования ГВ в энергетике и холодильной технике.

- II. Целесообразным методом охлаждения и осушения воздуха является непосредственное использование холодных морских вод в контактных кондиционерах с "плавающей" насадкой.

В работе это положение находит подтверждение не только теоретическим, но и экспериментальным путем. Получены опорные данные и рекомендации к компактному аппаратному оформлению процессов, а также результаты внедрения первого промышленного образца.

Конкретные цели исследования: 1 - синтез накопленного опыта по освоению и применению ТМ-ресурсов; 2 - сопоставление и выбор наиболее приемлемых энергетических вариантов; 3 - теоретическое и экспериментальное исследование проблемы кондиционирования воздуха с использованием морских вод; 4 - обоснование основных направлений дальнейших исследовательских работ на Кубе.

Комплексный характер исследования обусловлен необходимостью на данном этапе произвести оценку общей эффективности ТМ-сис-тем и объектов с учетом реальных трудностей при их создании, а также стремлением как можно точнее наметить план будущих работ.

Настоящая работа представляет собой поисковый этап планируемой программы исследований по использованию на Кубе различных энергетических источников с низким термическим потенциалом. Первоначально предполагается и завершающаяся ныне стадия в сотрудничестве между нашими странами по данной тематике. В дальнейшем углублении этих связей автор видит основу будущей своей деятельности, а за достигнутый уровень подготовки, за доброе отношение - искренне благодарен своим научным руководителям, советским товарищам.

Главным вдохновителем настоящей работы был и остается В.С.Мартыновский, давно указывавший на еще не раскрытые потенциальные возможности термических ресурсов моря. Со светлой памятью о Владимире Сергеевиче, с наилучшими чувствами к его стране связано все, что нами сделано и все, что предстоит еще достигнуть в столь важном и интересном деле.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОМОРСКИХ РЕСУРСОВ

Стационарная градиентная циркуляция водных масс в мировом океане, вызванная неравномерным солнечным нагревом его поверхности, обуславливает значительный температурный перепад  $\Delta T = 20+25$  град. между поверхностными и глубинными слоями тропических морей. На глубинах 600+1000 м поддерживается постоянная температура  $T_{ГВ} = 4,2^{\circ}\text{C}$ , а на поверхности -  $T_{ПВ} = 27+30^{\circ}\text{C}$ . Колебания последней не превышают  $3+4^{\circ}$  в году и  $0,5+0,8^{\circ}$  в сутки.

Энергетическое использование термической неравномерности океана возможно в двух направлениях: производство технической работы и непосредственная эксплуатация природного холода (рис. I). Естественное аккумулирование солнечного тепла и отрицательной эксергии (холода) при стабильной разности потенциалов качественно отличает изучаемый нами источник от других возобновляемых источников энергии.

Возможно также получение иной терморморской продукции, в том числе пресной воды — с помощью гидратных циклов опреснения либо конденсацией влаги из морского воздуха. На выходе из технических объектов выгодно использовать богатые биогенными элементами ГВ для биологических целей, например, аквакультуры. Отвод отработанной ГВ в море будет способствовать улучшению экологической обстановки в прибрежных водах и микроклимата на побережье. Такое разнообразие целей, возможности последовательной утилизации ТМ-ресурсов предопределяют экономическую целесообразность их эксплуатации в комплексных системах берегового расположения.

Вопросами применения и освоения ТМ-ресурсов занимались с 1881 г. в 10 странах; имеется свыше 120 оригинальных публикаций. Наиболее известны работы Д'Арсоналя (1881), Камбелла, Дорнига и Борджи (1913), Клода (1926-1934), Баржо (1928) Низери и Низоля (1941-1957), Андерсенов (1966), Джерарда и Ворзеля (1967), Рольса (1970) и Зенера (1972).

В первых работах основное внимание уделялось вопросу генерации полезной энергии на малой АТ. Возможность этого доказали знаменитые опыты Клода и Бушера на Кубе (1930), где была создана вакуум-водяная энергетическая терморморская установка (ТМУ)

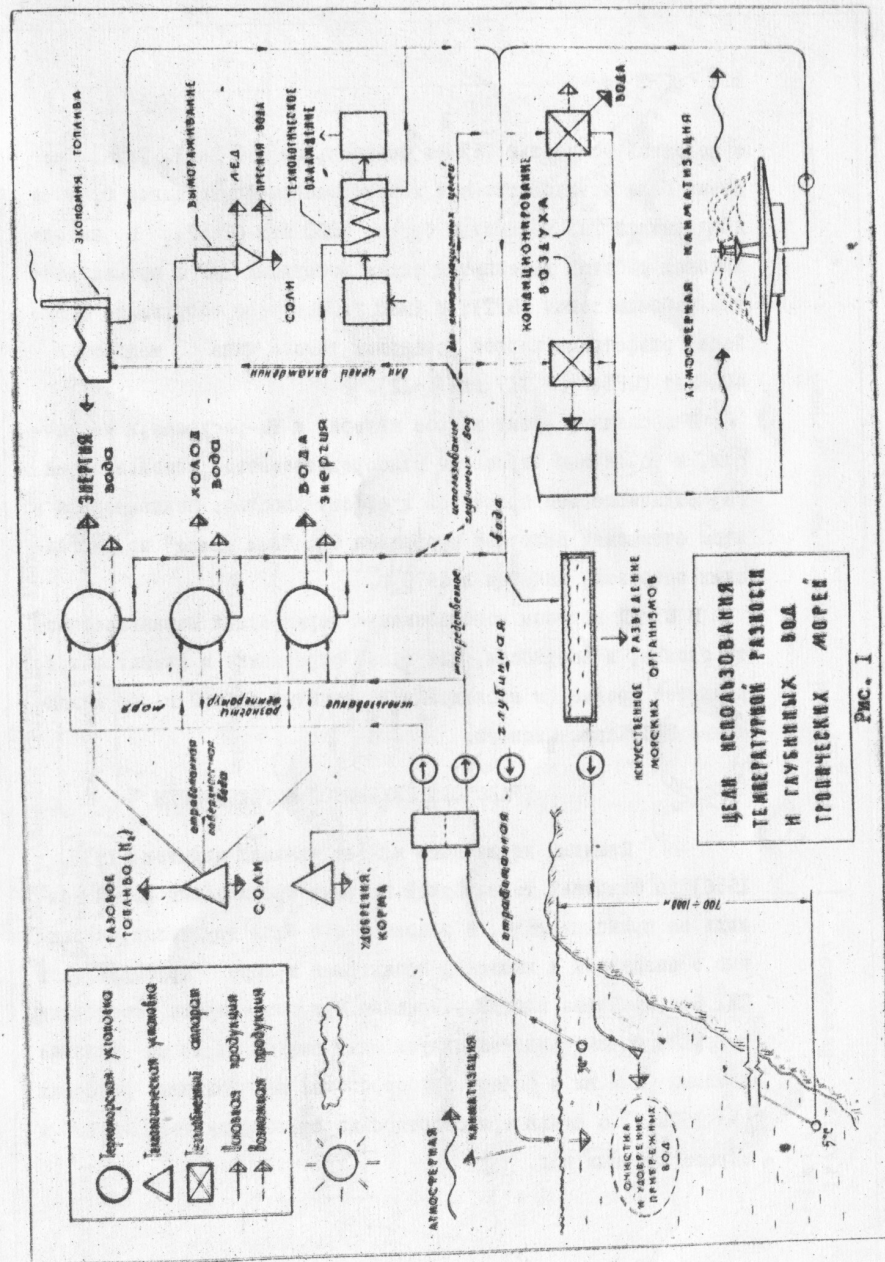


Рис. I

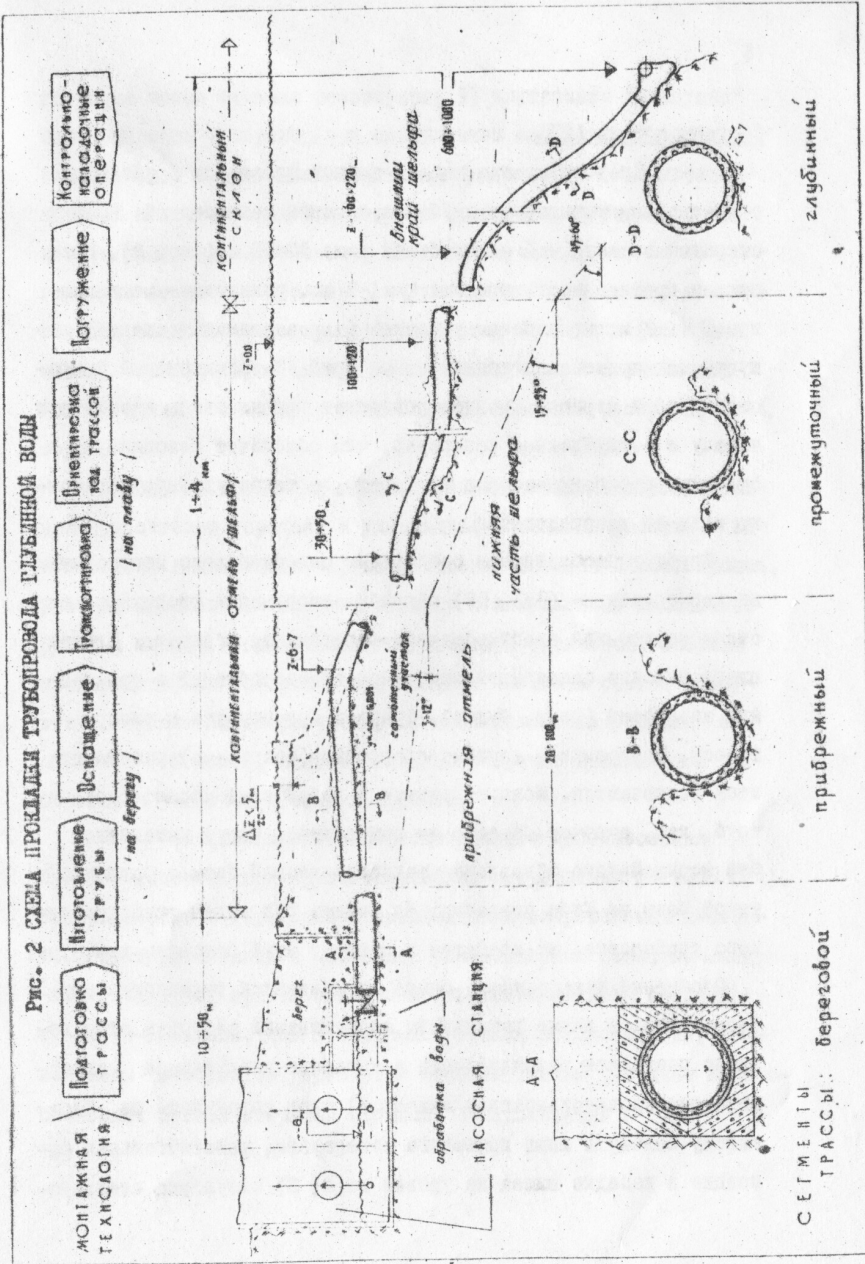
о полезной мощностью 75% от номинальной (50 квт). Такая же схема была предусмотрена в незавершенном французском проекте Абиджанской ТМУ мощностью брутто 7000 квт (1957). В американских работах выделяются схемы погружных ТМУ с промежуточным рабочим телом (ПРТ); к 1980 г. намечено сооружение в районе Гольфстрима первой установки такого типа мощностью 400 мвт (ПРТ; R-717 или R-12).

В последнее время возрос интерес к ТМ-ресурсам, в частности, к различным вариантам непосредственного использования ГВ, отличающегося простотой и эффективностью. Показательна в этом отношении пилотная программа США "Sea Grant" на Виргинских островах, начатая в 1970 г.

В ОТИХП вопросы использования термической неравновесности океана, в частности, для целей опреснения и климатизации, являются предметом исследований, начатых в 1967 г. по инициативе В.С.Мартыновского.

#### ТРАНСПОРТ ГЛУБИННОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ

Причины неудачного исхода прежних попыток (1930, 1956) по освоению термической энергии тропических морей отнюдь не принципиальны. В основном это были трудности, связанные с созданием и надежной прокладкой в море трубопроводов ГВ. Эта проблема вполне разрешима при современном состоянии техники, о чем свидетельствует опыт многих стран по укладке длинных (200 км и более) трубопроводов на больших глубинах (до 2600 м) с целью транспортировки нефтепродуктов, воды и сброса сточных вод.



### Системы подачи (СП).

Предпочтителен способ донной прокладки трубозабора с траншейным укрытием в наиболее опасной мелководной зоне и открытой экспозицией на глубинах ниже 30-50 м (рис. 2). Возможная протяженность трассы:  $L = 1-5$  км, рекомендуемые диаметры:  $D = 1-2$  м; по рабочим условиям (выравниванию давлений) допускается применение тонкостенных труб. Незначительный гидростатический перепад уровней позволяет организовать самотечную подачу в заглубленный резервуар, что обеспечит безопасную и стабильную работу насосов на берегу, а также удобную обработку воды до распределения.

Трубу с необходимыми свойствами целесообразно изготовить из термопластика (ПВХ, ПЭ) методом непрерывной экструзии на стационарном или адаптированном передвижном агрегате. Единая плеть выходит оснащенной минимум приспособлений в защищенную акваторию (реку, бухту), а затем буксируется к створу трассы. Трудоемкие, дорогие сборочные (сварочные) работы при этом исключаются. Конструктивные и габаритные характеристики труб, как, впрочем, и само их назначение, могут изменяться без капитального обновления технологической базы. Создание такой базы на Кубе позволило бы решать ряд задач трубопроводного транспорта, не прибегая к импорту труб большого диаметра.

Обобщение накопленного опыта по монтажной технологии трубопроводов, а также результаты исследований автора в этом вопросе позволяют рекомендовать в качестве оптимальной следующую последовательность укладки: 1) ввод порожняком по береговому каналу в шлюз приемного резервуара, уплотнительная фиксация в насадке шлюза на уровне моря; 2) откупорка введенно-

го конца после откачки резервуара; 3) внутренняя "ползущая" балластировка с берега (при постепенном опускании шлюза) горизонтальным протаскиванием утяжеляющего кабеля или гравитационной подачей текущей пригрузки (раствора, катающихся грузов) к частично затопленному головному участку; 4) полное погружение заливом с оголовка, опускание по профилю дна при последовательной отстройке поддерживающих поплавков (если они использованы), спуск шлюза. Затем приступают к засыпке подводящей траншеи и канала, соединившего приемный резервуар с морем.

Технология прокладки методом гибкого консольного погружения существенно упрощает и удешевляет монтажные работы. Исключаются, в частности, предварительная внешняя балластировка, участие специальной морской техники и напряженные водолазные работы; вместо дополнительного инвентаря (понтонных, опорных плавсредств) используются при монтаже элементы самого сооружения. Максимальная расчетная продолжительность укладки составляет 5-6 часов, причем основные операции выполняются с берега, с участием наземных средств.

Рентабельность непосредственного использования ГВ будет обеспечена при крупномасштабном потреблении ( $> 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Распределение в городских и промышленных микрорайонах целесообразно осуществлять в подземных разветвленных сетях из пластмассовых труб, причем себестоимость холодной воды оказывается на 10-50% ниже, чем в обычных системах водоснабжения. Отвод воды из объектов упрощается использованием частично приспособленных систем открытой (дождевой) канализации.

Тепловой расчет СП.

Температура ГВ на выходе из подводной трубы определяется:

$$t_2 = \frac{A \cdot t_{на}^{max}}{A + b} + \left[ t_1 - \frac{A \cdot t_{на}^{max}}{A + b} \cdot e^{-bx} \right] \cdot e^{-Ax} - \delta t_a \quad (1)$$

на выходе из подземной магистрали:

$$t_2 = t_{гп} (1 - e^{-AL}) + t_1 \cdot e^{-AL} \quad (2)$$

где  $\delta t_a = \alpha \cdot g (\beta \cdot t_1 / c)_{гв}$  - адиабатическое охлаждение восходящего потока.

$$A = k \pi D / (Gc)_{гв}$$

$k$  - коэффициент теплопередачи;  $G$  - массовый расход;  $c$  - теплоемкость;  $\beta$  - коэффициент объемного расширения;  $\alpha$  - глубина в море;  $b$  - коэффициент перемешивания водных масс [ $m^{-1}$ ];  $t_{гп}$  - температура грунта на расчетной отметке.

Подводные трубы средней протяженности и большой пропускной способности фактически не нуждаются в тепловой изоляции. Изменение  $\delta t_{гв}$  в трубах из разных материалов не превышает 0,8 град. даже при наименее благоприятном вертикальном положении, а в полиэтиленовых трубах  $\delta t_{гв}$  принимает отрицательные значения. По подогреву  $\delta t_{гв} < 10$  град. установлена допустимая протяженность магистральных трасс подземного распределения для обычных труб:

5-8 км, для пластмассовых - до 10-12 км от места забора. Последние в ряде случаев могут быть проложены без дополнительной тепловой изоляции.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Максимальная термодинамическая эффективность ТМ систем устанавливается путем анализа соответствующих образцовых (обратимых) циклов и схем с последующим переходом к теоретическим (эталонным) и, наконец, реальным процессам. Завершающим этапом является термоэкономический анализ, учитывающий все затраты и приводящий к экономически оптимальному варианту.

В данном случае образцом является изобарный процесс I-0 (рис. 3б) обратимого подогрева ГВ от температуры ее при поступлении на берег ( $T_I$ ) до состояния равновесия с окружающей средой ( $T_0, P_0$ ). В качестве "окружающей среды" принимается теплый поверхностный слой моря, обладающий практически неограниченной теплоемкостью, а не холодная вода, извлечение которой требует определенных затрат; параметры на нулевой отметке соответствуют также равновесному состоянию атмосферного воздуха. В отдельных процессах, например КВ,  $T_0$  выбирается в зависимости от конкретных граничных условий.

В интервале  $\Delta T = 22$  град. процесс I-0 обеспечит максимальное использование холода или эксергии природной среды:

$$q_{max} = 86 \text{ кдж/кг гв}$$

$$\Delta ex^{max} = 3,26 \text{ кдж/кг или } 0,93 \text{ кВт-ч/м}^3 \text{ гв}$$

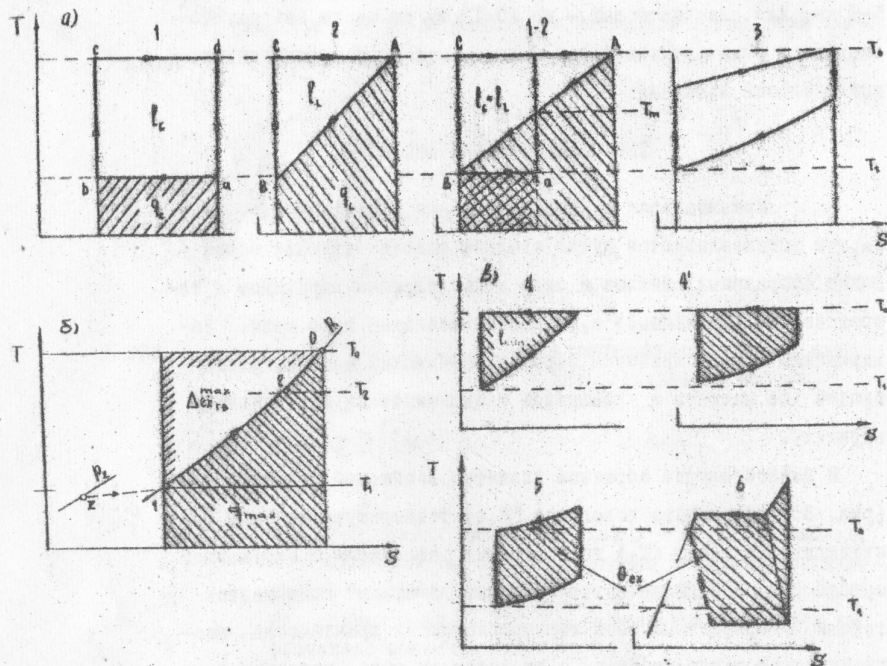


Рис. 3 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЦИКЛЫ НА МАЛОЙ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР

а) Прямые циклы:

- 1 - соответствующий цикл Карно;
- 2 - обратный цикл Лоренца ( $T = \text{var}$ );
- 3 - эталонный цикл Лоренца.

б) Образцовый (I-0) и действительный (I-2) процессы подогрева глубинной воды.

в) Обратные циклы:

- 4, 4' - обратимые циклы охлаждения ( $T = \text{var}$ );
- 5, 6 - теоретические (эталонные) циклы холодильных машин.

Резервы термодинамического совершенства разрабатываемых циклов и схем могут быть выявлены путем сопоставления получаемого в реальном процессе (I-2) эффекта к предельно возможному:

$$\eta_q = q_{1-2} / q_{\text{max}} \quad (3); \quad \eta_e = \Delta e_{\text{ex}}^{1-2} / \Delta e_{\text{ex}}^{\text{max}} \quad (4)$$

Автономное получение работы.

Условие наилучшего использования ГВ является исходным при выборе образцового прямого низкотемпературного цикла, чему соответствует минимум затрат в ТМУ. Применение соответственного цикла Карно I (рис. 3а) подразумевало бы нереальный, бесконечно большой расход термически неравновесных сред. Достижение  $q_{\text{max}}$  и, следовательно,  $\Delta e_{\text{ex}}^{\text{max}}$  возможно лишь в обратимом цикле Лоренца 2 с отводом тепла от рабочего тела при  $T = \text{var}$  (AB) и изотермическим - в предельном случае - подводом тепла из окружающей среды (CA). Коэффициент преобразования такого треугольного цикла

$$\eta_L = l / q = (T_0 - T) / (T_0 + T) \quad (c_{\text{AB}} = \text{const}) \quad (5)$$

где  $l - q - q$  - полученная работа;

$q$  - холодопроизводительность;

$q_0$  - тепловой заряд цикла (солнечное тепло);

При  $\Delta T = 22$  град.  $\eta_L = 0,038$ .

Примером возможного эталона является цикл 3, в котором допускается внешняя необратимость вследствие ограничения рабочих расходов и теплообменной поверхности.

Влияние внешней необратимости наименее ощутимо в разомкнутых схемах, использующих морскую воду как рабочее тело. В схеме Клода-Бушера влажный пар, полученный под вакуумом из

поверхностной воды, расширяется в активной турбине до давления конденсации, соответствующего  $T_{ГВ}$ . Недостатками являются неблагоприятные объемные характеристики водяного пара ( $100-140 \text{ м}^3/\text{кг}$ ) и трудности, связанные с работой турбины и с деаэрацией воды. В другой разомкнутой схеме техническая работа производится двигателем нового типа - гидропаровой турбиной (ГПТ), в которой теплая вода, адиабатически расширяясь, частично вскипает. Даже при существенном понижении (до 10-20%) кпд турбины из-за потерь от метастабильности, в этом цикле достижимы значения  $\Delta ex$ , почти в 2 раза превышающие показатели влажнопарового цикла при более компактной и надежной компоновке. Треугольный цикл у нижней пограничной кривой может быть реализован в трех разных схемах ТМУ.

Применение низкокипящих агентов способствует увеличению удельной объемной работы рабочего тела, расширению интервала давлений и, следовательно, уменьшению конструктивной сложности тепловой машины и габаритов установки. Однако это связано с созданием громоздкой, специального исполнения теплообменной аппаратуры, неизбежно приводящей к существенному уменьшению располагаемого теплоперепада. В качестве ПРТ рекомендуется использовать пропан, аммиак, фреоны - I2, -II, -I3 и др.; интерес представляет применение кристаллогидратов в сочетании процессов трансформации и опреснения. Для уменьшения потерь от внешней необратимости предложена усложненная схема с контактными теплообменом между морской водой и гидрофобным ПРТ ( $\theta T = 0,5 + 1,0$  град). При этом близкий к эталону 3 цикл может быть реализован применением азеотропной смеси агентов с переменной температурой конденсации либо в "треугольном ансамбле из 2-3 последовательных циклов.

В циклах с изотермической конденсацией существует оптимальная температура конденсации, соответствующая получению максимальной работы с единицы массы ГВ. Ориентировочные расчеты показывают, что в вакуум-водяных схемах эта температура несколько превышает среднеарифметическую располагаемого диапазона температур.

При анализе автономных ТМУ также необходим учет доли  $\Delta N$  единичной мощности, идущей на собственное энергопотребление и составляющей в минимуме 15-25%. Попытки уменьшить необратимые потери в циклах всегда сопряжены с дополнительным ростом  $\Delta N$ .

На заманчивом пути к эффективному преобразованию термической энергии океана в полезную работу, - без затраты топлива, - стоят серьезные трудности, решение которых потребует немало усилий. Оставаясь примерно на том же уровне термодинамического совершенства, отдельные варианты могут стать все же приемлемыми с экономической точки зрения, что объясняется влиянием таких факторов, как прогрессирующее удорожание органического топлива, затраты на ликвидацию вредных последствий ТЭС и АЭС на среду и др.

#### ГВ - "эксергетическое сырье"

Реальный эффект экономии топлива или электроэнергии в пределах 5+15% можно получить за счет использования ГВ в обычных энергетических, холодильных и прочих установках, расположенных вблизи моря.

В прямых циклах повышение верхней граничной температуры в принципе меньше влияет на термический кпд, чем изменение ниж-

ней температуры. Более того, последний вариант, характеризующийся отсутствием внешне необратимых потерь на уровне среды ( $T_0$ ), относительно просто обеспечит термoeкономический эффект, более высший, чем при любом варианте автономной трансформации на малом перепаде  $\Delta T$ .

Понижение температуры конденсации с 310 К (охлаждение поверхностной водой) до 290 К (охлаждение ГВ без глубокого разряжения в конденсаторе) в паросиловой установке современного типа обеспечит сокращение годового расхода топлива в количестве 60-70 тонн на Мвт установленной мощности. Трудно переоценить важность такого мероприятия для Кубы, где более 80% национальной выработки электроэнергии приходится на расположенные вблизи ГВ станции, работающие на привозимом из СССР топливе. Средний удельный расход мазута можно было бы понизить с 318,9 (1975 г.) до 308,7 г/квт·ч, что означает годовую экономию валюты порядка \$ 1,4 млн. на 100 Мвт при сроке окупаемости дополнительных сооружений (водозабора) 2-4 года.

Располагая природным источником охлаждения с температурой 278 К, можно реализовать предложенные Анджелино конденсационные углекислотные циклы для АЭС, характеризуемые высоким КПД (50-55%).

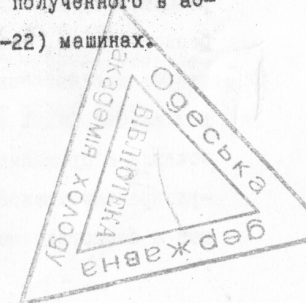
В практике эксплуатации объектов, охлаждаемых морской водой, немалое значение имеет предотвращение биообрастаний на стенах каналов и теплообменников, а также устранение "теплового загрязнения" прибрежных вод благодаря применению ГВ вместо поверхностной.

Преимущества ГВ как источника холода очевидны из сопоставления с циклами холодильных машин, предназначенных для охлаждения хладоносителя, до заданной температуры (рис. 3в). Из них образцовым считается обратный цикл Лоренца 4, требующий минимальной работы  $l_{min}$ . Такому минимуму соответствует эксергетический выигрыш  $\Theta_{ex}^{min} = 0,93$  квт·ч/м<sup>3</sup> ГВ при использовании природного холода в интервале  $\Delta T = 22$  град.

Величина  $\Theta_{ex}$  увеличится на 20-60% по затраченной работе в обратном цикле 4' с небольшим температурным перепадом потока охлаждаемой среды. Если учесть величину затрат энергии в современных центральных системах хладоснабжения и существенные необратимые потери в теоретических и действительных циклах холодильных машин, как, например, в циклах 5 и 6, то реальный эксергетический выигрыш от эксплуатации природного холода в 2-4 раза превзойдет величину  $\Theta_{ex}^{min}$ .

Удельные затраты энергии на распределение ГВ колеблется в пределах 0,08-0,1 квт·ч/м<sup>3</sup>. Следовательно, минимальный эксергетический выигрыш нетто можно оценить в размере 0,8 квт·ч/м<sup>3</sup> ГВ. Этот показатель, наряду с отсутствием дорогого (импортного, тропикализованного) холодильного оборудования, обуславливает весьма низкую стоимость "морского" холода, составляющую примерно 4-5% от стоимости единицы холода, полученного в абсорбционных (LiBr) и турбокомпрессорных (R-22) машинах.

xv1311  
 ИНСТИТУТ холода  
 ОНАХТ  
 бібліотека



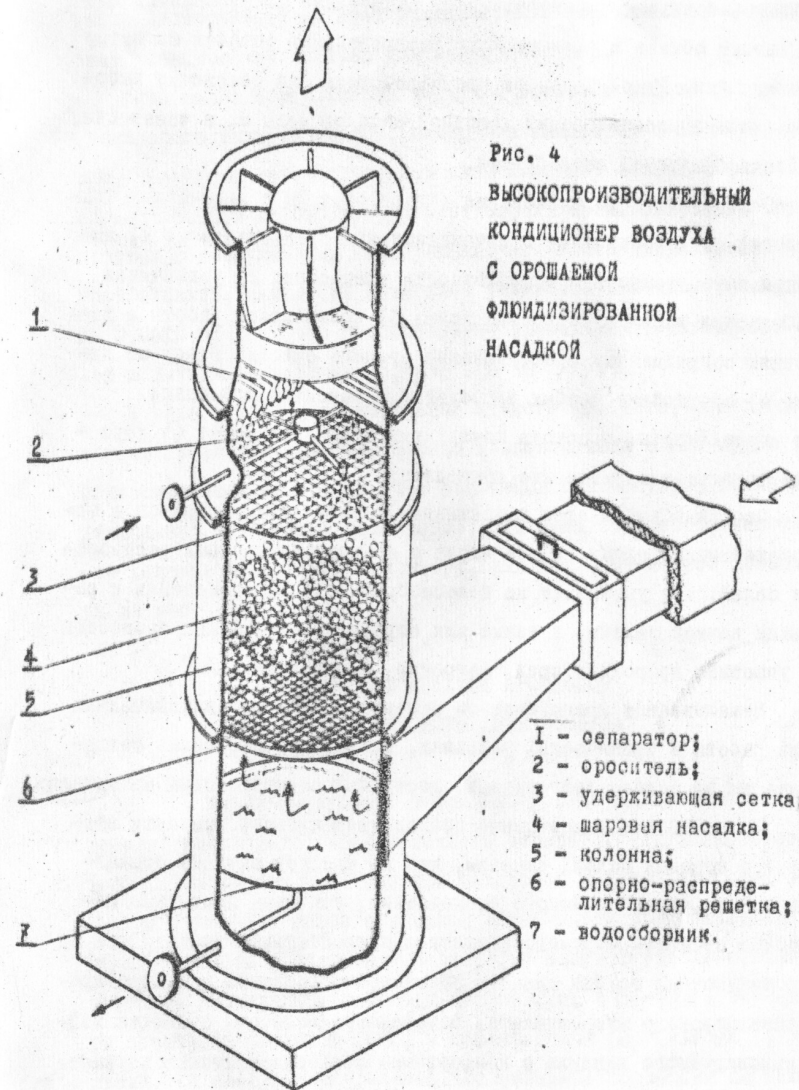
### КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОРСКОЙ ВОДЫ

Потенциальный интерес для тропических стран представляет возможность эксплуатации массового источника дешевого холода с целью охлаждения и осушения воздуха помещений и технологических объектов. Выбор соответствующих аппаратов должен отвечать таким специфическим требованиям, как: а) максимальное использование природного холода ( $\eta_c$ ), б) длительная работоспособность на морской воде, в) экономическая целесообразность. Согласно первому требованию следует отдать предпочтение аппаратам противоточного типа.

Применение бесконтактных теплообменников не желательно из-за необходимости защиты теплообменных поверхностей, эксплуатационных трудностей и наличия значительных необратимых потерь. Последние обусловлены, в частности, температурным перепадом  $\theta t = 8 + 12$  град. между воздухом и водой в оребренных воздухоохладителях.

Наиболее целесообразна контактная тепловлажностная обработка воздуха морской водой. Перспективно использование тепломассообменных аппаратов нового типа - с орошаемой флюидизированной насадкой. При этом устраняются основные недостатки как бесконтактных, так и традиционных контактных аппаратов.

В качестве "плавающей" насадки (ПН) используется слой легких шарообразных элементов, флюидизируемый восходящим потоком воздуха и орошаемый сверху водой в колонне, ограниченной опорно-распределительной и удерживающей решетками (рис. 4). Интенсивное и беспорядочное движение элементов способствует турбулизации



потоков, созданию высокоразвитой, непрерывно обновляющейся поверхности обмена и равномерному распределению потоков по всему объему слоя. Такой механизм взаимодействия фаз обеспечит высокую степень использования холодной морской воды и, в частности, ее пенообразующей способности.

Опыт 15-летнего применения аппаратов с ПН в химической технологии свидетельствует о принципиальных преимуществах: 1) высокая интенсивность и эффективность процессов; 2) устойчивая работа при высоких скоростях газа; 3) возможность работы в условиях загрязненных сред, высокая степень очистки газов от пыли; 4) отсутствие особых требований к качеству орошения; 5) компактность, простота конструкции и обслуживания; 6) хорошие технико-экономические показатели.

Особенно выделяется эффективная работа этих аппаратов с загрязненными средами, в том числе с концентрированными растворами солей, что указывает на целесообразность их применения к решению данной задачи, а также для осуществления других процессов с участием природных сред, например, в градирнях.

Немаловажным преимуществом аппаратов с ПН, предназначенных для работы в тропических условиях, является возможность создавать их на основе долговечных, доступных синтетических материалов.

Обсуждая возможные последствия прямого контакта воздуха с морской водой, отметим, что не следует ожидать отрицательного физиологического воздействия, учитывая известные целебные свойства морского климата и относительную чистоту вод из промежуточных глубин океана. Возможность создания и контролируемого морского микроклимата, сочетающего лечебные свойства кондиционируемого воздуха с комфортными тепловлажностными парамет-

рами, достигаемыми за счет использования холодных ГВ, представляет практический интерес для талассотерапии.

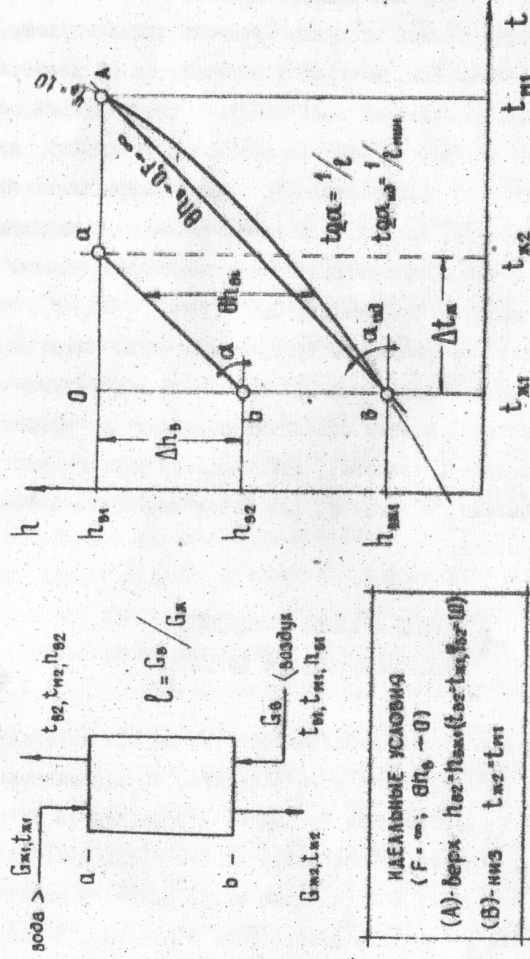
Унос солей обработанным воздухом возможен только путем механического захвата капель, который в аппаратах с ПН незначителен, поскольку псевдооживленный слой обладает сепарирующей способностью. При необходимости этот эффект можно устранить путем простых конструктивных мероприятий. Установка инерционных брызгоотбойников, например, позволяет уменьшить величину каплеуноса до 0,001% от  $\Theta_{ж}$ , что соответствует предельной концентрации солей в выходящем воздухе порядка  $2,8 \cdot 10^{-5}$  г/м<sup>3</sup>.

В ряде случаев, во избежание прямого контакта, можно использовать промежуточный гидрофобный хладоноситель с минимумом термодинамических потерь. В этом отношении перспективны кремнийорганические соединения (силиконы), отличающиеся нетоксичностью. Это решение приемлемо, к примеру, для конденсационной добычи воды из морского воздуха.

#### МЕТОД АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Новый инженерный метод базируется на использовании модели "идеального" противоточного аппарата, термодинамически характеризующейся обратимостью процессов и равновесием на обоих концах (рис. 5). Условие внешней обратимости предполагает квазистационарность процессов и бесконечно малую разность потенциалов переноса энтальпии воздушного потока  $\Theta_{hs} = h_s - h_{sj}$ , выражающего сочетание тепловой ( $\Theta_t$ ) и диффузионной ( $\Theta_p$  или  $\Theta_x$ ) движущих сил изобарного процесса. Равновесные состояния на входе

Рис. 5 К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ И ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА.  
Графическая интерпретация идеального (А-В) и  
реального (а-б) процессов на h-t диаграмме.



Параметры воздуха:  $t_{в1}, t_{в2}$  - температуры по сухому и мокрому термометру;  $\varphi_{в}$  - относительная влажность;  $h_{в}$  - энтальпия;  $h_{ж1}, h_{ж2}$  - энтальпия при насыщении ( $t_{ж1} = t_{ж2} = \varphi_{в} = 1,0$ ).

и выходе, являющиеся предельно-образцовыми для любого реально-го аппарата в интервале  $t_{ж1} - t_{ж2}$ , достигаются при соотношении массовых расходов  $(G_{в}/G_{ж}) = l_{мин}$  - минимальном относительном расходе воздуха, ниже которого  $t_{ж2} \neq t_{ж1}$ .

Удобно анализировать процессы на h-t диаграмме, где рабочая линия идеального аппарата занимает положение АВ (наклон  $1/l_{мин}$ ), а реального аппарата - а-б (наклон  $1/l$ ). Рабочие линии не отражают характера изменения состояния потоков внутри аппарата.

Рабочие условия и эффективность теплообмена (ТМО) в аппарате описываются величинами:

$$\Lambda = \frac{l}{l_{мин}} \quad \text{- характеристическое число} \quad (6)$$

$$E_{ж} = \frac{t_{ж2} - t_{ж1}}{t_{ж1} - t_{ж2}} \quad \text{- степень использования воды } (\eta_{ж}) \quad (7)$$

$$E_{в} = \frac{h_{в1} - h_{в2}}{h_{в1} - h_{ж1}} \quad \text{- степень охлаждения воздуха} \quad (8)$$

Характеристиками аппарата могут служить зависимости  $E_{ж} = f(\Lambda)$  и  $E_{в} = f(\Lambda)$ , каждая из которых, однако, односторонне характеризует его работу. Для единой оценки предложена степень эффективности процесса E, графически интерпретируемая как соотношение площадей треугольников аоб ( $F_{\Delta}$ ) и АОВ ( $F_{\Delta_{ид}}$ ), соответствующих реальному и идеальному аппаратам. С интенсификацией процессов и увеличением поверхности обмена F, рабочая линия реального аппарата приблизится к рабочей линии образца и, тем самым, возрастет  $F_{\Delta}/F_{\Delta_{ид}}$ ; только у идеального аппарата  $F_{\Delta}/F_{\Delta_{ид}} = 1$ .

$$E = F_{\Delta} / F_{\Delta_{\text{уд}}} = E_{\text{ж}} \cdot E_{\text{в}} \quad (9)$$

Характеристикой ТМО-аппарата является зависимость

$$E = f(\Lambda) \quad (10),$$

которая всегда имеет максимум ( $E_{\text{ж}}$ ) в точке с  $\Lambda = 1$ . Это позволяет перестроить опытные данные в приведенных координатах

$\bar{E} = E/E_{\text{ж}}$ ,  $\Lambda$  и получить единое уравнение

$$\bar{E} = 2,25 (1 - \bar{\theta}^{-1,1} \Lambda)^2 \cdot \Lambda^{-1} \quad (11),$$

описывающее значения приведенной характеристики аппарата независимо от типа, конструктивных особенностей и условий его эксплуатации. Таким образом, характеристика аппарата, исследуемого в заданном диапазоне  $t_{\text{м1}} - t_{\text{ж1}}$ , может быть получена по экспрессному эксперименту в одной лишь точке  $\Lambda = 1$ .

Характеристика (10) строится на основе эксперимента, но величина  $E$  может быть рассчитана и помимо эксперимента, путем изменения определенной последовательности комбинации значений  $t_{\text{ж1}}$ ,  $t_{\text{м1}}$ ,  $l$  и  $\Delta h_{\text{в}} = h_{\text{в1}} - h_{\text{в2}}$ . Найденная расчетная зависимость  $E_{\text{р}} = f(\Lambda)$  не зависит от типа аппарата.

В случае испарительного охлаждения удобно строить характеристические линии  $E_{\text{р}} = f(\Lambda)$ , используя в качестве неизменных параметров  $t_{\text{ж1}}$  и  $t_{\text{м1}}$  (при этом  $l_{\text{мол}} = \text{const}$ ), а текущего параметра - подохлаждение воды  $\Delta t_{\text{ж}} = t_{\text{ж1}} - t_{\text{ж2}}$ . В области, ограниченной предельными линиями  $E^{\circ}$  и  $\Delta t_{\text{ж}}^{\circ}$ , получится  $E_{\text{р}} - \Lambda$  номограмма (рис. 6а), являющаяся универсальной, поскольку охватывает весь диапазон  $t_{\text{ж1}} - t_{\text{м1}}$ . Точка пересечения характеристики ап-

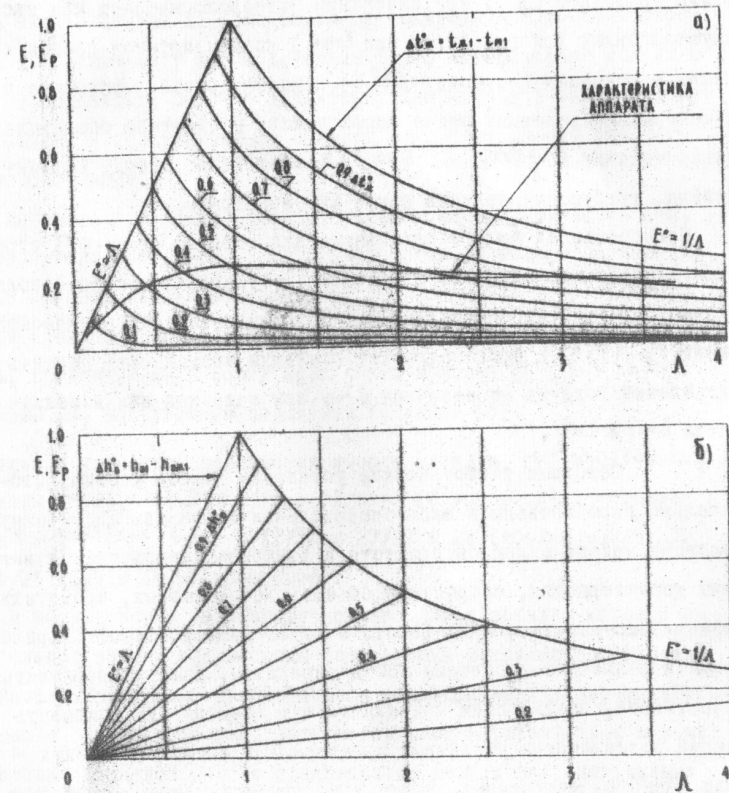


Рис. 6 УНИВЕРСАЛЬНАЯ  $E_{\text{р}} - \Lambda$  НОМОГРАММА  
ДЛЯ ВОДЫ (а) И ВОЗДУХА (б)

парата и кривой  $E_p = f(\Delta)$  позволяет определить значение  $\Delta$ , при котором в данном аппарате достижимо значение  $\Delta t_{жс}$ , соответствующее данной  $E_p$ . При изменении метеорологических или эксплуатационных условий ( $t_{м1}$  или  $t_{жс1}$ ) корректируется градация шкалы номограммы (пересчет  $\Delta t_{жс}$ ) и характеристика аппарата в изменившихся условиях легко определится. Совместное оперирование зависимостями  $E = f(\Delta)$  и  $E_p = f(\Delta)$  аналогично методу Лихтенштейна, требующему наличия свыше 470 номограмм.

Универсальная  $E_p - \Delta$  номограмма для воздуха (рис. 6б) строится аналогичным образом; в качестве текущего параметра используется энтальпийный перепад  $\Delta h_s$ . Положение характеристической линии  $E_p = f(\Delta)$  предопределяет реальную возможность достичь охлаждения воздуха на величину  $\Delta h_s$  при заданных или изменившихся  $t_{жс1}$  и  $t_{м1}$ .

Основные теоретические установки нового метода положительно апробированы в экспериментальном исследовании. Преимуществами метода являются простота и точность использования внешних характеристик, сокращение объемов лабораторных, проектных и промышленно-испытательных работ, а также универсальность приложения к различным процессам ТМО и аппаратам. Наши эксперименты, в частности, подтвердили принципиальную возможность описывать единой зависимостью различные процессы ТМО в системе воздух - вода. Данные, полученные, к примеру, при испарении, могут быть просто распространены на другие процессы, такие как охлаждение и осушение воздуха.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Цели эксперимента: 1) Установить оптимальную для тепломассообмена (ТМО) динамику взаимодействия фаз в лабораторной модели с ПН; 2) определить рабочие характеристики модели в режимах с конденсацией и испарением; 3) выявить специфику работы аппаратов на морской воде.

Лабораторный стенд (рис. 7) состоял из головной части I-8, разомкнутого воздушного тракта 9-13, системы водоснабжения I4-I9 и контрольно-измерительного комплекса 22-34. В головной части между верхней (I) и нижней (8) камерами устанавливали модель, представляющую собой стеклянную колонну (4)  $D = 56$  мм;  $H = 500$  мм, загруженную подвижной насадкой (5).

Начальные условия: статическая высота насадки  $H_{ст} = 40+340$  мм; расходы  $G_{ж} = 6,5+52,2$ ;  $G_{в} = 2,6+31$  кг/ч ( $\ell = 0,3+2,91$ ); температуры  $t_{жс1}/t_{в1}/t_{м1}$  °C - 8 и 12/32 и 27/27 и 22° (конденсация), 35 и 65/25/11,5 и 18,5° (испарение).

В исследовании было предусмотрено использование морской либо соленой воды и разработаны специальные методики по изучению совместных процессов брызгоуноса и образования туманно-солевого аэрозоля, а также по испытанию материалов и устройств в морских условиях. В данной работе представлены результаты, полученные на пресной воде.

#### Динамика фаз.

Сначала изучали аэродинамику простых систем (кривые I-3, рис. 8). Визуальные наблюдения позволили различать основные режимы, в том числе наиболее равномерный режим развитого псевдооживления, который устойчиво создавался при  $D/d > 10$ ;

$H_{гг}/D=1; 2,5 < H_{гг}/H_{ст} < 5$ . Эти соотношения соблюдались в дальнейших опытах; насадочные элементы подбирались диаметром  $d = 4+5$  мм.

В гройной системе, под воздействием лапласовских сил, доминирующих в колонне малого диаметра, возникли адгезионные явления, которые нарушали равномерность слоя, способствуя появлению застойных зон и сегрегации фаз. На опорно-распределительных решетках с малыми ячейками ( $\phi < d$ ) вода чрезмерно накапливалась, что приводило к резкому росту  $\Delta p$  и потере устойчивости режимов.

Учитывая возможность непосредственного применения малогабаритных аппаратов с ПН в технике КВ, была предпринята попытка улучшить работу модели путем изменения активности рабочих поверхностей, нарушения капиллярно-гравитационного равновесия, сепарации фаз у нижней решетки, активизации орошения, а также с помощью специальных приспособлений. В поисковых опытах (30% эксперимента) решалась задача апробирования ряда конструктивных вариантов и их комбинаций:

10 элементов (шары, кольца, шайбы) насыпной плотностью  $\rho_s = 34,2, 233-970$  кг/м<sup>3</sup> из 8 различных материалов;

14 газораспределителей в виде плоских или выпуклых сеток, тонких перфорированных либо высоких трубчатых решеток, а также 1 циклонное и 2 ротационных тонколопастных устройств; периферийный дренаж - через трубки или по зазору ( $\delta = 3,5$  мм) концентричной трубчатой вставки  $H=100$  мм; живое сечение изменяли в пределах  $17+97\%$  (S.);

8 типов водораспределителей - игольчатый, душирующие, пенно-струйные, ротационный и пленочно-стержневой (с осевой нитью); 10 внутренних приспособлений, в том числе плавающие или фиксированные на осевой нити шары большого диаметра ( $d > 20$ ), опорно-направляющие кольца ( $\Phi_{вн} = 38+48$ ), секционные вставки и сеточная настенная оболочка.

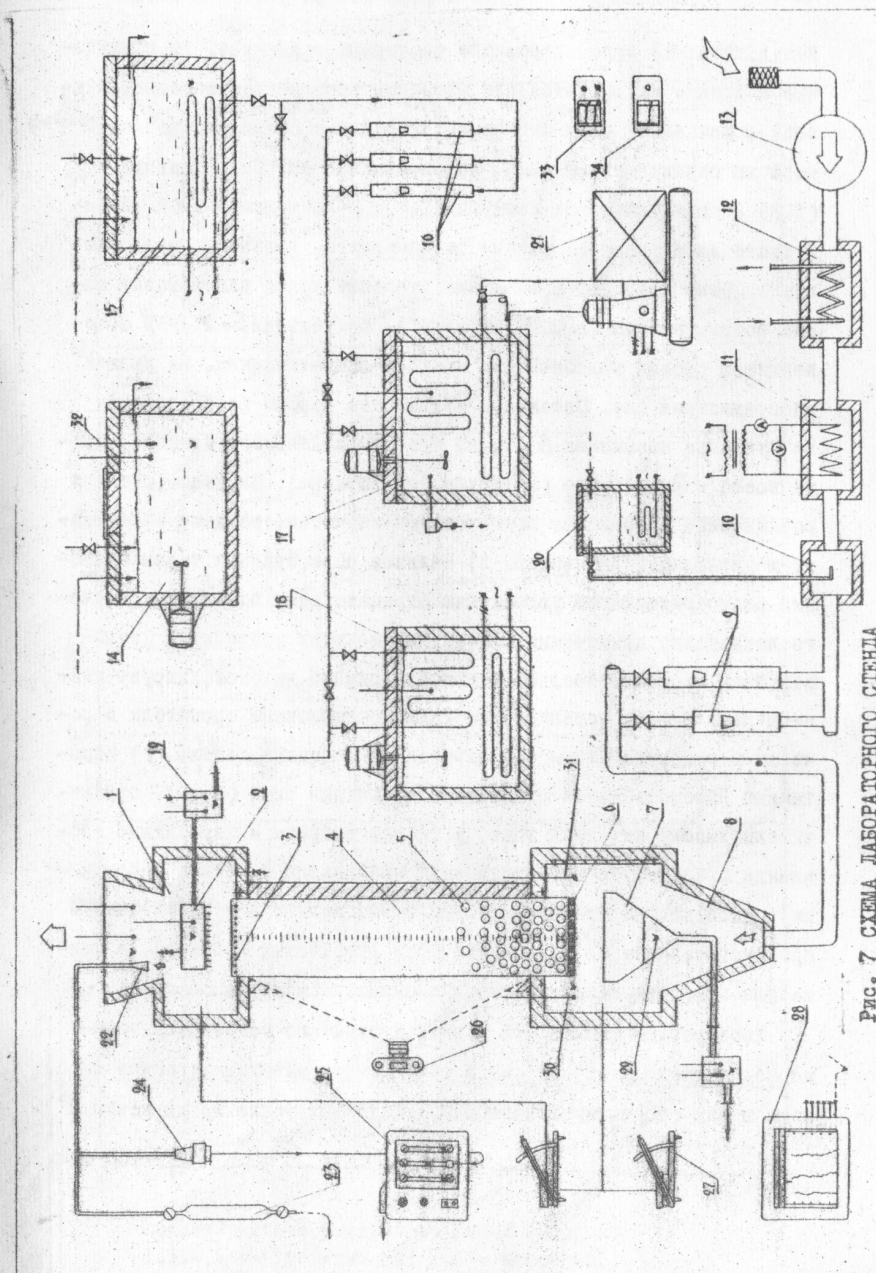
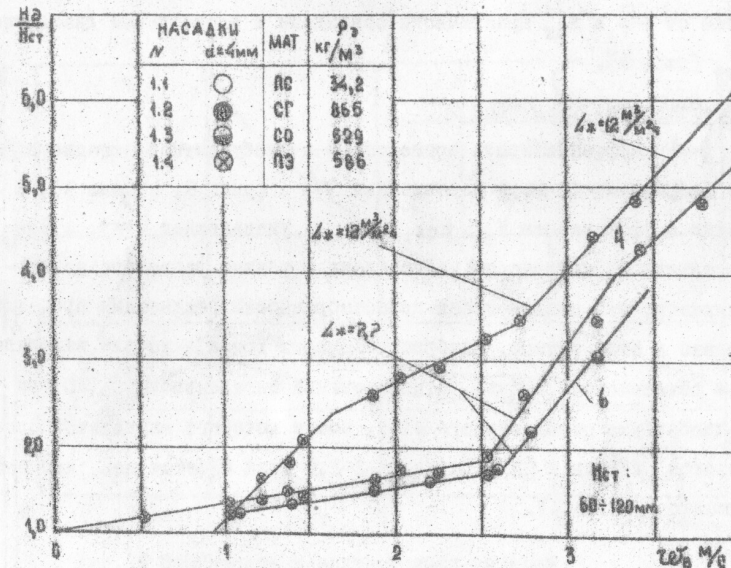
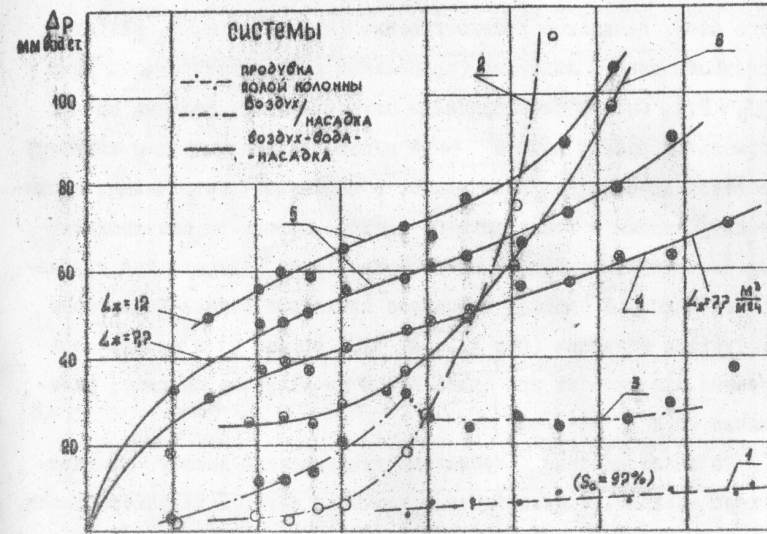


Рис. 7 СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Результаты: а) Агломерирование смоченных элементов, их прилипание к стенке устраняются при насыпном весе мокрой насадки, близком к удельному весу жидкости. Наилучшими оказались пористые шары из силикагеля (№ 1.2), гофрированные шары из станиоля (1.3) и полиэтиленовые гранулы (1.4); с элементами иной конфигурации затруднено получение равномерного, плавного псевдооживления. Целесообразно применение стеклянных или пластиковых шаров большего веса (1000–1200 кг/м<sup>3</sup>). б) Решетки  $S_0 > 75\%$  обеспечивают провал жидкости при меньшем сопротивлении, но худшем распределении фаз. Остальные устройства хорошо распределяют воздух (при повышении  $\Delta p$ ), но требуют отдельного дренажа, лучше всего циркулярного (на трубчатой вставке). Выпуклые сетки и ротационные устройства препятствуют инверсии, создают своеобразную циркуляцию элементов. в) Наличие периферийных точек орошения благоприятствует устранению отрицательных эффектов, для чего достаточно применения простых душирующих устройств. Пенноструйное орошение с предварительной аэрацией интенсифицирует взаимодействие фаз; перспективны также ротационные оросители в сочетании с центробежным сепарированием уносимых капель. г) Испытанные приспособления сглаживали пульсации слоя (шары), ограничивали высоту активной зоны, устраняя выбросы и паразитные скопления (кольца), и препятствовали прилипанию к стенке (оболочка). Вставки, перераспределяющие фазы, желателен использовать при многосекционной компоновке (без решетчатых делений), а также для плавного замыкания циркуляционного контура слоя.

Характерные кривые 4 и 5 рис. 8 отражают основные закономерности трехфазной системы в турбулентно флюидизированном слое, хотя в них отсутствуют переломы, соответствующие критическим и

Рис. 8 ПОТЕРИ НАПОРА ( $\Delta p$ ) И СТЕПЕНЬ РАСШИРЕНИЯ ПСЕВДОЖИВЕННОГО СЛОЯ ( $N_2/N_{ст}$ ) В ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ



Характеристики флюидизированных насадок:  
1,3,4,5 - турбулентной; 2,6 - вихревой.

переходным состояниям. Наблюдали 4 режима: расширение стационарного слоя, начальное псевдооживление (при  $w_0 > 0,5$ ), развитое псевдооживление и инверсия (пределный режим, наступающий при  $w_0 > 2,5$ , быстро переходящий в захлебывание). Верхний предел нормальной работы модели  $\sim 4$  м/сек. Работа модели с вихревой насадкой качественно отличалась, в частности, устойчивым, нисходящим у стенки и восходящим по центру, вращением псевдооживленных элементов, центробежным сепарированием жидкости над трубчатой вставкой. В рабочем диапазоне циклонной модели характерны отсутствие инверсии (при  $N_{от} \leq 120$ , кривая 6) и начало взвешивания практически при одной и той же нагрузке по газу, независимо от  $N_{от}$ .

По шкале колонны определяли динамическую высоту  $H_d$  подвижной насадки, скачкообразные значения которой характеризовали критические состояния системы. Зависимости степени расширения слоя от  $w_0$  и  $N_{от}$  практически совпадали в исследуемом диапазоне  $N_{от}$  (рис. 8).

#### Эффективность процессов ТМО.

Эффективность процессов  $E$  в турбулентной насадке плавно возрастает по мере наращивания  $w_0$  (рис. 9, кривые 3), а также с увеличением  $N_{от}$ ,  $t_{в1}$ ,  $t_{м1}$  и уменьшением  $t_{н1}$ . Максимальная эффективность установлена в режиме развитого псевдооживления, что подтверждает целесообразность реализации процессов именно в этом режиме. Разброс некоторых точек в начале взвешивания объясняется, видимо, относительной интенсивностью ТМО при захлебывании стационарного слоя, после которого нарушается противоток. Модель с ПН работала в 2-2,5 раза эффективнее, чем без насадки (кривые 1).

Рис. 9 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ И ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА

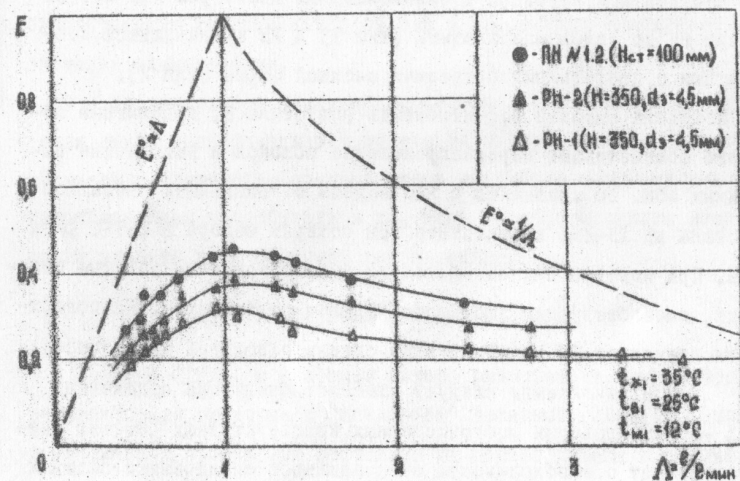
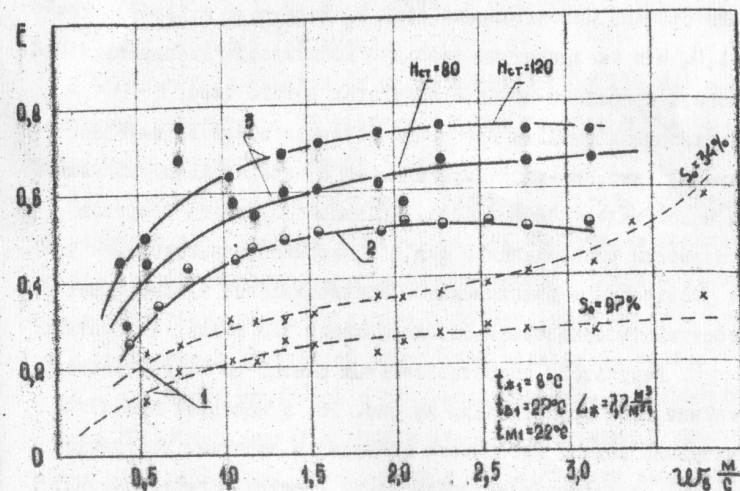


Рис. 10 Обобщенные характеристики моделей с регулярной насадкой (РН) и "плавающей" насадкой (ПН) при испарительном охлаждении воды.

В режиме развитого псевдооживления орошаемой турбулентной насадки степень использования воды  $E_{\text{ж}}$  достигала  $0,85 \pm 0,94$  при  $\xi > 1,0$ , что указывает на реальную возможность максимально использовать природный холод в аппаратах нового типа.

В циклонной насадке процессы протекали менее эффективно (кривые 2), что, по-видимому, связано с избирательным движением фаз и малой задержкой жидкости. Правильное решение вопросов равномерности распределения фаз и синхронности наступления режимов расширение - взвешивание - псевдооживление должно будет способствовать дальнейшей интенсификации ТМО в этих аппаратах.

Результаты сопоставительных опытов по испарительному охлаждению воды представлены на рис. 10. В качестве прототипа использовали модель пленочного аппарата с насадкой регулярной структуры, представляющей собой пакет плоских и гофрированных тонких листов алюминия, образующих систему вертикальных каналов сложной конфигурации с эквивалентным диаметром 4,5 мм. Испытали РН со сплошными листами (тип 1) и РН оригинальной конструкции с продольными прорезями сложной формы (тип 2).

Получена высокая эффективность прототипа 2, выполнение которого обеспечивает перераспределение потоков и устранение застойных зон. По сравнению с ним модель с "плавающей" насадкой работала на 15-25% эффективнее при потерях напора в 1,5-2 раза выше. При осмотре пленочной модели были обнаружены солевые отложения, способствующие забиванию каналов отложениями. На поверхности элементов ПН не обнаружено следов отложений или износа.

В заключение следует отметить следующие положения:

I - Опыт проверки многочисленных конструктивных решений свидетельствует о необходимости окончательной оптимизации сложных

трехфазных систем не по отдельным конструктивным факторам, как обычно принято, а по их комбинациям в сочетании с наиболее характерными рабочими условиями.

2 - Масштабный переход от малых моделей ( $D < 135$  мм) к промышленным аппаратам с ПН требует особого подхода с учетом качественных отличий процессов в них.

3 - Полученные в лабораторной модели результаты подтверждают возможность применения малогабаритных контактных кондиционеров. Централизованное распределение холода, таким образом, может быть реализовано не только в районе, но и в самом объекте с последующей контактной обработкой воздуха на месте.

4 - Адаптация аппаратов с ПН к специфическим требованиям систем КВ подразумевает в первую очередь раскрытие и использование всех резервов эффективности и интенсивности процессов в качестве компенсации высоких потерь напора. С другой стороны, только с появлением таких аппаратов создаются беспрецедентно благоприятные условия для перехода к компактным высоконапорным системам климатизации.

5 - На динамике и кинетике процессов ТМО качественно отражаются такие специфические свойства глубинных морских вод, как вязкость и плотность, поверхностное натяжение и криоскопичность, пенообразующая способность и др. Наша априорная оценка комплексного влияния этих факторов положительна.

#### ПРОМЫШЛЕННЫЙ АППАРАТ ГПН-1200

В ОТИХИ, с участием автора разработана компактная вентиляторная градирня с "плавающей" насадкой ГПН-1200. Экспериментальный проект был составлен на основе данных и рекомен-

даций по процессам химической технологии и гидродинамике в системе воздух-вода, включая опыт, накопленный при проведении настоящей работы. В мировой практике не известны прецеденты применения компактных охладителей с подвижными поверхностями обмена для целей оборотного водоснабжения промышленных объектов.

Основные технические характеристики:  $G_{ж} = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $G_{в} = (11-21) \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_{ср} = 1800 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч}$ ;  $t_{ж,1} = 45^\circ\text{C}$ ;  $D = H = 1200 \text{ мм}$ . В качестве насадки использованы полые пластмассовые шары  $d = 37$ ,  $H_{от} = 300 \text{ мм}$ . Пластинчатая опорно-распределительная решетка имеет живое сечение 90% и высоту 50 мм; размеры ячеек:  $30 \times 30 \text{ мм}$ . Общие габариты  $2,9 \times 1,6 \times 3,9 \text{ м}$ . По сравнению с типовой капельно-пленочной градирней той же производительности, ГПН-1200 на 95 % компактнее и занимает меньшую в 4 раза площадь.

В конце 1975 г. ГПН-1200 была установлена на Одесском заводе сельскохозяйственного машиностроения им. Октябрьской революции. Первые испытания подтвердили действительные преимущества таких аппаратов при проведении процессов испарительного охлаждения воды. Годовой экономический эффект от внедрения одного аппарата составляет около 6000 рублей.

Опыт внедрения градирни с "плавающей" насадкой позволяет рекомендовать эти аппараты для решения проблемы компактного аппаратного оформления процессов испарительного охлаждения на Кубе, где атмосферный воздух и проточная вода характеризуются высоким содержанием. На 152 кубинских сахарных заводах до сих пор используют малоэффективные бассейны для охлаждения технологической воды; обычная компактная градирня не может быть внедрена из-за интенсивного забивания стационарных насадок.

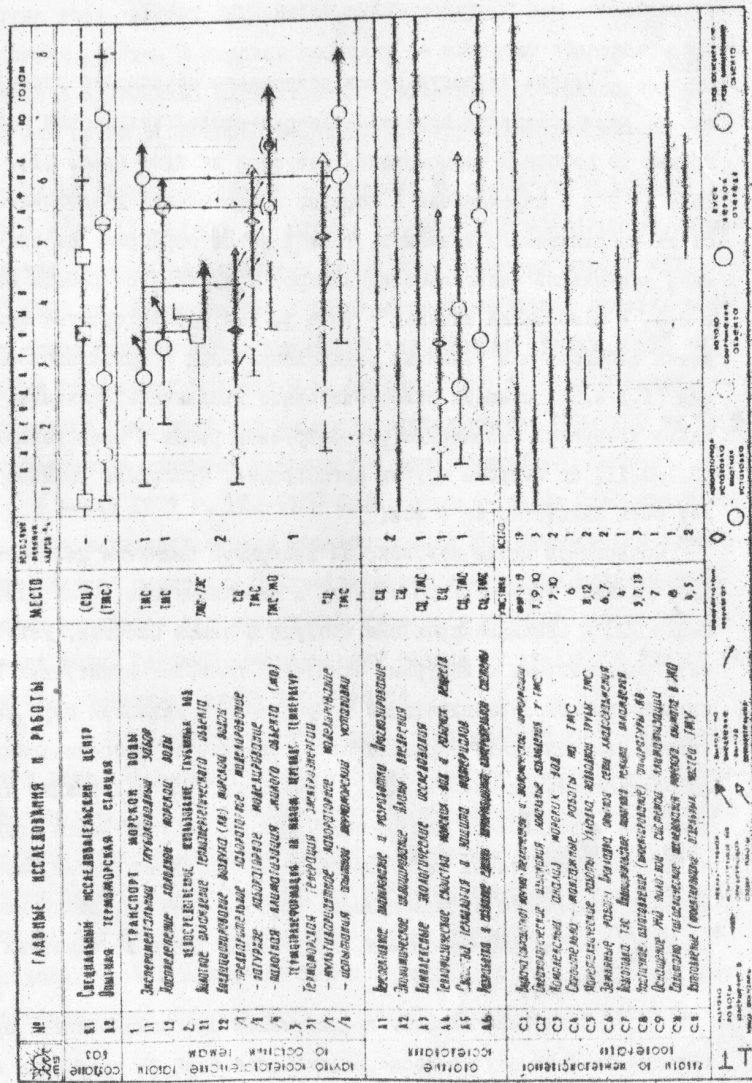
## НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ

Исходя из результатов настоящего поискового исследования, нами составлен проект инженерно-исследовательской программы по освоению термоморских ресурсов на Кубе (рис. II). Темы 1, 2 и 3 перечислены в порядке предпочтения в зависимости от их практического значения. Тема 1 имеет определяющее значение; наибольший экономический интерес представляют работы 2.1 и 2.2, а наибольший интерес — тема 3. Эти работы требуют проведения собственными усилиями ряда специальных опорных исследований (А.1-А.5), имеющих самостоятельное прикладное значение. Также требуется выполнение разнообразных работ и исследований (С.1-С.11) со стороны других организаций. Программа реально может быть выполнена за 8 лет.

Конкретной целью комплексной программы является создание на Кубе опытной термоморской станции с пилотными системами охлаждения ТЭС и кондиционирования воздуха в жилом массиве. Результаты лабораторных и натурных испытаний позволят приступить к крупномасштабной эксплуатации ТМ-ресурсов в наиболее перспективных направлениях. Наряду с этим, результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть непосредственно или косвенно использованы для решения ряда актуальных задач сходного характера, таких как: централизация хладоснабжения, использование солнечного и техногенного сбросного тепла, внедрение высокоэффективных ТМО-аппаратов, энергетических и холодильных теплоиспользующих машин и др.

Важнейшим вкладом предложенной программы является организация на Кубе научно-исследовательской базы по проблемам ос-

Рис. II ПРОЕКТ ИНЖЕНЕРНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРОГРАММЫ ПО ОСВОЕНИЮ ТМ-РЕСУРСОВ НА КУБЕ



воения источников энергии и холода с низким термическим потенциалом. Создание такого центра и национальной школы специалистов соответствующего профиля было бы вполне обоснованным в современных и современных социально-экономических условиях Кубы.

Проект программы разработан с учетом возможности ее реализации в научно-техническом сотрудничестве с Советским Союзом.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ накопленного ранее опыта и учет современных достижений в области морской технологии показал, что в настоящее время существуют благоприятные предпосылки для комплексного решения проблемы освоения термической стратификации тропических морей. Глубинная морская вода, обладающая эксергетическим потенциалом, может быть эффективно использована для получения энергии и сокращения ее расходов при производстве холода. Конкретные разработки и технические решения выполнены для специфических условий Кубы.
2. Предложена технология извлечения глубинной воды, включающая непрерывное изготовление трубопровода на месте и скоростную его прокладку методом гибкого консольного погружения, выгодно отличающаяся от существующих простотой, надежностью и минимальной стоимостью в условиях Кубы.
3. Доказано, что незначительные тепловые потери по трассе ( $\delta t < 1$  град.) позволяют обойтись без тепловой изоляции глубоководных трубопроводов холодной воды.
4. Реальный эффект экономии топлива или электроэнергии в пределах 5+15% достигается путем использования эксергии глубинной морской воды в существующих теплоэнергетических и холодильных установках. Как показал сравнительный анализ, такой метод экономии топлива доступнее и эффективнее, чем автономная низкотемпературная генерация электроэнергии.

5. Применение глубинной воды взамен машинного охлаждения обеспечивает экономию электроэнергии в количестве 1,5+3,2 квт.ч на тонну холодной воды. Себестоимость холодной воды оказывается на 10-50% ниже, чем в обычных системах водоснабжения городов, а себестоимость природного холода - на 90-95% ниже, чем при использовании машинного холода для кондиционирования воздуха.
6. Разработан новый метод анализа процессов совместного тепло-массообмена, базирующийся на привлечении модели "идеального" аппарата и отличающийся простотой и достаточной для практики точностью. Впервые для нужд эксплуатации предложен удобный и точный способ пересчета характеристик по "универсальной" номограмме.
7. Предложено использование теплообменных аппаратов с псевдоожженным слоем орошаемой насадки для охлаждения воздуха в системе кондиционирования глубинной водой. Проведенные на модели эксперименты подтвердили принципиальную возможность эффективной реализации этих процессов. Выявлены основные режимы псевдоожжения и условия стабильного поддержания режима развитого псевдоожжения как оптимального для теплообмена. Достигнута эффективность процессов, в среднем на 20% превышающая полученную в традиционных аппаратах.
8. Разработана и внедрена впервые в мировой практике компактная градирня с подвижной насадкой ГПН-1200, производительностью 30 м<sup>3</sup>/ч по воде. Натурные испытания подтвердили ее высокие теплотехнические характеристики, надежность и простоту в эксплуатации. Получен экономический эффект, составляющий 6000 рублей в год для одного аппарата.
9. Полученные в диссертации теоретические и экспериментальные данные, а также технические разработки и результаты испытаний аппаратов могут быть рекомендованы для использования при разработке специальной программы по комплексному освоению терморесурсов на Кубе.

#### АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Доклады по теме диссертации представлены на XIV Международном конгрессе по холоду (Москва, 1975), III Национальной конференции по холодильной технике (Варна, 1974) и на 44-ой отчетной конференции ОТИХП (Одесса, 1975).

#### ПУБЛИКАЦИИ

1. Никульшина Д.Г., Гонсалес Р. Тепловой расчет системы подачи глубинной воды тропических морей. В сб.: Холодильная техника и технология, вып. 12, К., "Техніка", 1971.
2. Алексеев В.П., Дорошенко А.В., Гонсалес Р. Избирательно охлаждение на вода. III Национална конференция по хладилна техника. Варна, 1974.
3. Alexeev V.P., Meltzer L.Z., Gonzalez R. Deep water of the tropical seas as a power and cold source.  
- XIV International Congress of Refrigeration, Preprint V I.6I, Moscow, 1975.  
- Bulletin of the International Institute of Refrigeration, 75-III7, vol. IV, Paris, 1975.
4. Гонсалес Р., Дорошенко А.В. Режимы псевдоожжения в тепло-массообменных аппаратах с подвижными поверхностями обмена. В сб.: Холодильная техника и технология, вып. 22, К., "Техніка", 1976.

25.03.76 г. Формат 60 x 84 I/16 Об'єм 2,75 п.л.  
Заказ № 1268 Тираж 150 экз.  
Гортипóграфия Одесского обиполиграфиздата  
Ленина, 49