

Автореферат
№ 34

g

Одесский институт низкотемпературной техники и энергетики

На правах рукописи

НГУЕН ВАН МИНЬ

ДВУХКОНТУРНАЯ ТЕПЛОМАССООБМЕННАЯ АППАРАТУРА С
ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Специальность 05.04.03 – Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем
кондиционирования

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса – 1991 г.

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики

Научный руководитель - кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Дорошенко А.В.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Чепурненко В.П.
- кандидат технических наук, Чернозубов А.М.

Ведущая организация - ВНИИ "Биотехника", г. Одесса

Защита диссертации состоится 1 июля 1991 г. в 11 часов на заседании специализированного совета К.068.27.01 при Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики по адресу Одесса, 270100, ул. Петра Великого, 1/3, ОИНТЭ.

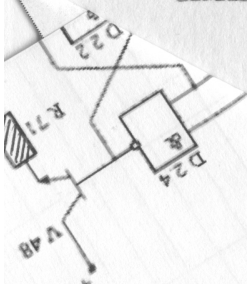
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Автореферат разослан "5" июня 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
К. Т. Н., доцент

Р. К. Никульшин

Исх. № 20-03-407



- 3 -

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

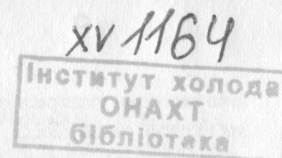
Актуальность темы диссертации. Бурное развитие различных отраслей промышленности, в том числе холодильной техники, приводит к значительному возрастанию потребления пресной воды для отвода тепла от производственного оборудования. Ныне проблема сохранения равновесия экологических систем окружающей среды, непрерывно увеличивающийся дефицит пресной воды волнует весь мир. Поэтому испарительное охлаждение циркуляционной воды в градирнях и аналогичных аппаратах получает преобладающее использование в системах оборотного водоснабжения. Это особенно важно и для Социалистической Республики Вьетнам, где не представляется возможным использовать воду из естественных водоемов и рек в системах прямого водоснабжения из-за нестабильности уровня воды по сезонам.

Разработанные градирни с подвижной насадкой типа ГПН [1] рассчитаны на эксплуатацию в экстремальных условиях: повышенная загрязненность потоков, возможное биологическое обрастание поверхности, высокая степень минерализации воды. Это характерно для условий Вьетнама, поэтому нами, в качестве базового решения, выбран ГПН.

Следует отметить, что градирня ГПН является открытой системой и накопителем вредности, в результате чего, в сравнительно короткий срок образуются растворы слабых кислот, разрушающих оборудование. Поэтому в мировой практике получили развитие так называемые двухконтурные градирни, внутренний контур которых заполняется технологической водой, не вступающей в прямой контакт с окружающим воздухом. Нами предпринята попытка создать двухконтурные градирни на основе псевдооживленного слоя.

Поставленная задача - исследование совместного тепломассообмена в системе вода-воздух, разработка новых расчетных методов и создание высокоэффективных, компактных аппаратов для испарительного охлаждения циркуляционной воды - является актуальной и перспективной и может быть успешно решена только на основе сочетания теории с экспериментом.

Целью данной работы является исследование гидродинамических и тепломассообменных характеристик, а также выявление особенностей поведения псевдооживленного слоя подвижной насадки (ПН) в условиях ограничения секциями теплообменника, размещаемого в слое; анализ и обработка данных, полученных на экспериментальном стенде в виде графиков и корреляционных выражений; разработка инженерной методики расчета с учетом полученных результатов и конструктивное



оформление типоразмерного ряда двухконтурных градирен с подвижной насадкой типа ГПНД.

Научные положения, защищаемые в работе:

1. Поведение слоя подвижной шаровой насадки в условиях стесненности слоя (ограничение по степени возможного расширения) характеризуется развитием режима инверсии и существенным ростом скорости начала псевдооживления.

2. Прекращение роста эффективности с увеличением величины статической высоты слоя $H_{ст}$ в условиях стесненности отмечается при сравнительно малых значениях $H_{ст}$ и связана с развитием инверсионного процесса и соответствующим нарушением качества псевдооживления.

Научные результаты, полученные в работе:

1. В ГПНД рабочий диапазон скоростей газового потока оказывается суженным по отношению к обычному поведению подвижной насадки и составляет 2,5 - 4 м/с, охватывая режим развитого псевдооживления, а высота динамического слоя ограничена расположением теплообменных элементов и диктует необходимость правильного выбора соотношения $H_{ст}/h^*$. При малых плотностях орошения ($q_{ж} = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) возможно возрастание скорости начала псевдооживления.

2. Установлено, что унос капельной влаги из слоя подвижной насадки характеризуется уменьшением скорости вторичного уноса с пластин каплеуловителя до значения $W_{кр} = 4 \text{ м/с}$.

3. Установлено, что эффективность процесса охлаждения мало чувствительна к расположению единичной секции по высоте многоярусного аппарата, благодаря высокой поперечной равномерности. Рост $H_{ст}$ приводит к увеличению степени охлаждения E_x и наблюдается стабилизация при $H_{ст} \approx 2-3 d_H$, что обеспечивает возможность выбора $H_{ст}$ в пределах от 40 до 60 мм, для единичной секции ГПНД.

4. Получены корреляционные выражения, позволяющие определить основные гидродинамические и тепломассообменные характеристики подвижной насадки в условиях стесненности слоя и расположения в нем теплообменных элементов.

Научная новизна. Изучены основные характеристики подвижной насадки в неисследованной области повышенной стесненности слоя и с ограничения возможной степени его расширения. Определен основной диапазон рабочих нагрузок, обеспечивающий существование режима развитого псевдооживления и предотвращающий развитие режима инверсии и интенсивного уноса капельной влаги из слоя.

Практическая ценность работы состоит в выработке рекомендаций

по конструктивному оформлению ГПНД с учетом особенности поведения слоя ПН с теплообменными элементами, размещаемыми в нем, получению расчетных зависимостей и созданию комплексной инженерной методики расчета, реализованной на ЭВМ и обеспечивающей взаимосвязанный расчет всех основных узлов аппарата и подбор вентиляторов. Успешно проведены натурные испытания. Материалы в настоящее время используются при промышленном освоении ГПНД.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованной литературы 93 наименований и 5 приложений на 23 страницах. Работа содержит 142 страниц машинописного текста, 48 рисунков и 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи настоящего исследования, раскрывается общее направление работы и ее сущность.

В первой главе проведен краткий обзор по вопросу псевдооживления насадочного слоя в тепломассообменных аппаратах. На основании анализа литературных данных сделан вывод о целесообразности использования ПН как перспективного способа организации насадочного слоя, обладающего рядом преимуществ: эффективной, безотказной работой в условиях образования липких и твердых отложений, низким требованием к качеству начального распределения воды, высокой устойчивостью при колебании нагрузок по газу и жидкости, высокими коэффициентами переноса тепла и массы, благодаря высокой поперечной равномерности распределения материальных потоков, что характерно для АПН и обеспечивает возможность создания аппаратов значительной единичной мощности при значениях коэффициента масштабного перехода 0,8 - 0,9, что существенно упрощает расчет и эксплуатацию промышленных систем [2,3].

Вопросы о поведении слоя ПН в трехфазной системе вызвали большое внимание многих авторов: Н.И.Гальперин, Б.С.Кругляков, А.Г.Вальдберг, И.П.Левин, Н.И.Кушнер, М.М.Колотризов и другие. Однако, эти исследования проведены лишь для свободного состояния слоя.

Особый интерес представляет поведение слоя ПН в условиях ограничения возможности его расширения. Такая ситуация возникает при введении внутрь рабочего объема слоя, либо на его верхней и нижней границах, теплообменных элементов. Это характерно при создании на основе ПН оросительных теплообменников, испарительных конденсато-

ров, двухконтурных градиен и прочих. Особенность поведения ПН в такой сложной ситуации практически не изучена. В ОИНТЭ разработаны конструктивные основы создания таких аппаратов (а.с. СССР № 994981, 1020742), однако специальное исследование поведения псевдооживленного слоя в этих новых условиях ранее не проводилось.

На основе анализа сведений, проведенного в данной главе, обобщены и сформулированы задачи исследования.

Важнейшей особенностью двухконтурных аппаратов с ПН является принципиальная возможность использования на внешней контуре любых загрязненных сред, поскольку в этом случае обеспечивается возможность самоочищения рабочих поверхностей, включая и теплообменные элементы, например, возможность применения морской воды в прибрежных районах. Установлено отсутствие необходимых расчетных зависимостей и рекомендаций для практического конструирования двухконтурных аппаратов, поскольку работа ПН в этом случае имеет существенное отличие, состоящее в стесненности слоя, изменении всех основных характеристик и качества псевдооживления.

В качестве основного метода исследования выбран экспериментальный путь ввиду чрезвычайной сложности теоретического описания поведения псевдооживленного слоя.

Вторая глава посвящена описанию экспериментального оборудования, программы и методики проведения испытаний. Экспериментальная колонна имеет сечение 400x400 мм, высоту 1600 мм. Стенд снабжен приборами для измерения основных параметров потоков воды и воздуха. В качестве элементов насадки использованы шары из вспененного полипропилена диаметром 40 мм и плотностью 300 кг/м³. Эти значения параметров были выбраны на основании ранее проведенных в ОИНТЭ исследований [4]. Испытания проведены для сухого и оросительного режимов. Значения расходов рабочих потоков изменяются в диапазоне: скорость потока воздуха от 1,5 до 5 м/с; плотность орошения от 5 до 15 м³/(м²·ч), расстояние между секциями от 100 до 200 мм. Экспериментальный стенд большой производительности обеспечивает получение информации наиболее приближенной к реальным условиям эксплуатации промышленного оборудования. Головная часть (колонна) позволяла производить оперативный ремонт, изменять высоту рабочей зоны, число секций, количество элементов в них, геометрию теплообменника. Специальный узел обеспечивал фиксацию количества капельного уноса в широких пределах рабочих нагрузок.

Во время эксперимента изучались следующие вопросы:

- изучение влияния конструкции теплообменников (расстояние между

секциями h^*), находящихся в рабочей зоне, на поведение псевдооживленного слоя;

- изучение характеристик слоя ПН в условиях стесненности между секциями;
- изучение совместного тепломассопереноса при испарительном охлаждении слоя ПН;
- изучение явления уноса капельной влаги из системы.

Всего было получено свыше двухсот экспериментальных точек. Погрешность при оценке дебаланса не превышает 15%. Наибольшее расхождение данных зафиксировано при малых значениях скорости воздуха (до 2 м/с) и плотности орошения (5 м³/(м²·ч)).

Третья глава посвящена изучению особенности псевдооживления слоя ПН в условиях стесненности. Отметим, что ранее проведенное в ОИНТЭ [5] исследование, было выполнено применительно к свободному слою на малом лабораторном стенде ($D = 200$ мм), что реально сужает практическую возможность использования полученных результатов в инженерной практике. Было показано, что для шаров из вспененного полипропилена в диапазоне эффективной плотности $\rho_n = 90-1000$ кг/м³, существует оптимум значения ρ_n , составляющий диапазон от 200 до 700 кг/м³. Поэтому мы продолжили исследования с насадочными элементами, у которых $\rho_n \approx 300$ кг/м³.

Как показали данные натурных испытаний промышленных образцов ГПН в реальных условиях эксплуатации наблюдается отличие в качестве псевдооживления, обусловленное значительно большим поперечным размером аппарата по отношению к диаметру элементов насадки d_n , чем в маленькой лабораторной колонне. Поэтому нельзя проводить моделирование, основанное на количественных показателях лабораторных опытов. Созданный нами стенд имеет наиболее близкие к реальности условия эксплуатации аппаратов. Это неизбежно должно было сказаться на качестве псевдооживления, в первую очередь, на величинах $W_0, W'_0, W_{кр}$.

Таким образом, основное внимание при изучении вопросов гидродинамики мы уделяли двум аспектам:

- изучению особенности псевдооживления в условиях, максимально приближенных к реальным, когда отношение $D/d_n > 10$;
- влиянию ограничения слоя ПН на особенности процесса псевдооживления и на унос капельной влаги из системы.

Основные результаты, полученные в ходе экспериментального исследования, приведены на рис.1 и 2. На рис.1 приведены кривые псевдооживления для различных значений h^* (расстояние между секция-

ми) при возрастании в каждой из двух серий опытов величины статической высоты $H_{ст}$. При $H_{ст} = 0$ на кривой не отмечается характерный перелом, связанный с переходом к режиму псевдооживления. На рис.1б видно, что значение скорости начала псевдооживления оказывается независимым от отношения $H_{ст}/h^*$ и составляет $w'_0 \approx 2,5$ м/с.

Обратим внимание на резкое увеличение w'_0 только в одном случае, когда $H_{ст}$ становится близкой к величине h^* (рис.1а, $h^* = 100$ мм), то есть именно в этом случае конструкция начинает скапливаться на псевдооживлении, сужая область развитого псевдооживления и создавая тем самым неблагоприятные условия для эксплуатации АН.

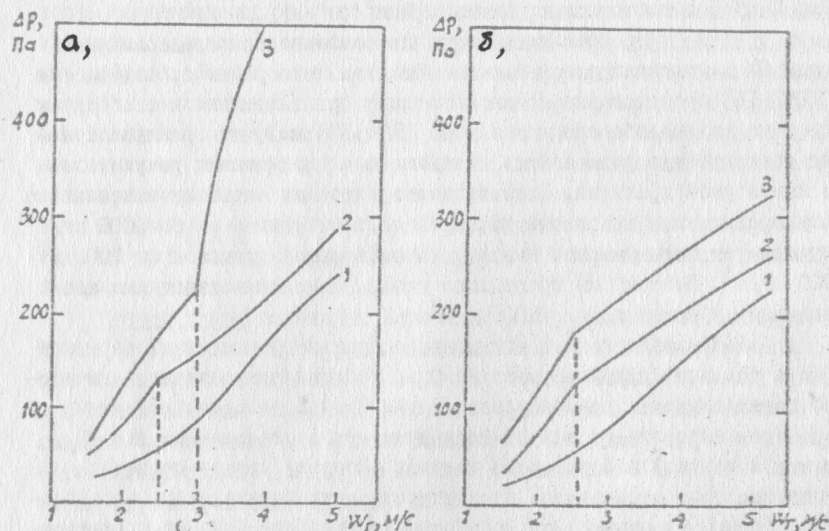


Рис.1. Зависимость потери напора воздушного потока от скорости при $q_{ж} = 10$ м³/(м²·ч); а - $h^* = 100$ мм; б - $h^* = 200$ мм; $H_{ст}$ (мм): 1 - 0, 2 - 40, 3 - 80.

На рис.2 приведены кривые псевдооживления, показывающие влияние величины плотности орошения $q_{ж}$. На графиках приведена зависимость $\Delta p = f(w_r)$ для случая $q_{ж} = 0$ для сравнения.

Отметим важный зафиксированный результат: для $q_{ж} = 5$ м³/(м²·ч) (малая плотность орошения, не характерна для эксплуатации аппаратов в режиме испарительного охлаждения воды, но встречается в других практических случаях - оросительных теплообменниках, испарительных конденсаторах) наблюдается сдвигка по w'_0 в сторону существенного увеличения. С дальнейшим ростом $q_{ж}$ функция $w'_0 = f(q_{ж})$ отсутствует. Отсутствие влияния $q_{ж}$ на w'_0 зафиксировано в литера-

туре. Отмеченный нами факт проявления зависимости $w'_0 = f(q_{ж})$ при малых плотностях орошения является новым и должен учитываться в соответствующих ситуациях.

В случае, когда отношение $H_{ст}/h^*$ приближается к единице, наблюдается более резкий рост Δp (рис.2б), что отмечалось выше и

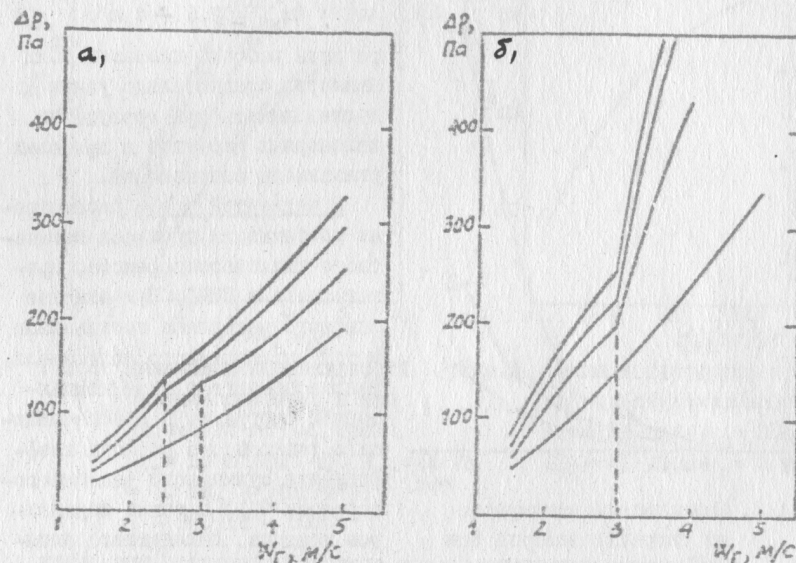


Рис.2. Зависимость сопротивления слоя насадки от скорости потока воздуха при $h^* = 100$ мм, а - $H_{ст} = 40$ мм, б - $H_{ст} = 80$ мм, $q_{ж}$ (м³/(м²·ч)): 1 - 0, 2 - 5, 3 - 10, 4 - 15.

что, по всей видимости, связано с ускоренным развитием инверсионного режима. Общий вывод из этого - ограничение по степени скатости слоя, то есть $H_{ст}/h^* < 0,5$. На рис.3 дан график по уносу капельной влаги из слоя. Отметим, что наши опыты были проведены в условиях, максимально приближенным к реальным, когда высота колонны (стенда) от верхней границы слоя до каплеуловителя соответствовала ситуации в промышленном оборудовании, в отличие от опытов у других авторов, где высота лабораторной колонны была неоправданно завышена. При полном качественном соответствии протекания процессов, указанная зависимость была зафиксирована в качестве критической скорости $w_{кр} = 4$ м/с, в отличие от $w_{кр} = 6$ м/с по данным [6]. Это то реальное значение критической скорости начала вторичного уноса, на которое следует ориентироваться при расчете промышленного оборудования.

Следует отметить, что значение $W_{кр}$ является важнейшим для эксплуатации аппаратов, поскольку унос капельной влаги характеризует возможность эксплуатации с точки зрения обеспечения необходимой подпитки и ограничивает диапазон скоростей, который практически составляет величину

$$W_0 \div W_{кр} = 2,5 \div 4 \text{ м/с,}$$

то есть рабочий диапазон ГПНД является сравнительно узким и должен лежать при проведении инженерных расчетов в пределах указанного соотношения.

В четвертой главе рассмотрены особенности процесса совместного тепло-массопереноса, протекающего в ГПНД. При анализе опытного материала использован метод энтальпийного потенциала, реализованного в виде компьютерной программы и обеспечивающего возможность расчета коэффициента суммарного тепло-массопереноса K_h , а также параметров воздуха, покидающего аппарат.

Тепло-массоперенос изучался в единичной секции ПН, экранированной горизонтально расположенными секциями трубчатого теплообменника, а также при многоярусном расположении аналогичных секций. При этом варьировали число секций, расстояние между секциями h^* и статическую высоту слоя в ней. Из результатов работы [4] следует, что диапазон значения ρ_H , составляющий 200 - 700 кг/м³, является оптимальным, поэтому в наших опытах использованы шары из вспененного полипропилена с плотностью $\rho_H = 300 \text{ кг/м}^3$. Такие шары выпускаются в СССР с диаметром $d_H = 40 \text{ мм}$ и в данной работе используются как в лабораторном, так и в натурном (проведенном совместно с В.К.Карловичем) эксперименте.

На рис.4 и 5 приведена зависимость коэффициента совместного тепло-массопереноса K_h от скорости потока воздуха W_r и плотности орошения q_x . В целом, ее проявление идентично ранее полученному в работе [5], при некотором снижении интенсивности тепло-массопереноса.

На рис.4 и 5 приведена зависимость коэффициента совместного тепло-массопереноса K_h от скорости потока воздуха W_r и плотности орошения q_x . В целом, ее проявление идентично ранее полученному в работе [5], при некотором снижении интенсивности тепло-массопереноса.

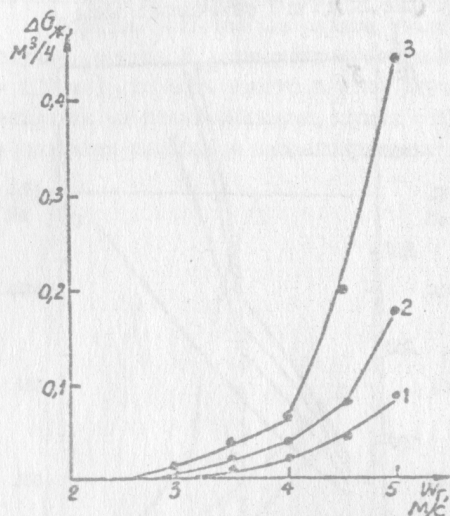


Рис.3. Зависимость каплеуноса от скорости воздуха при $h^* = 150 \text{ мм}$, $H_{ст} = 40 \text{ мм}$, $q_x (\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}))$: 1 - 5, 2 - 10, 3 - 15.

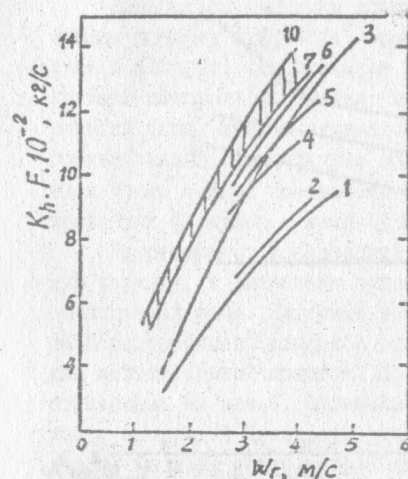


Рис.4. Изменение интенсивности тепло-массопереноса в зависимости от W_r при $q_x = 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, $H_{ст} = 40 \text{ мм}$, $\rho_H (\text{кг/м}^3)$: 1 - 90, 10 - 1000.

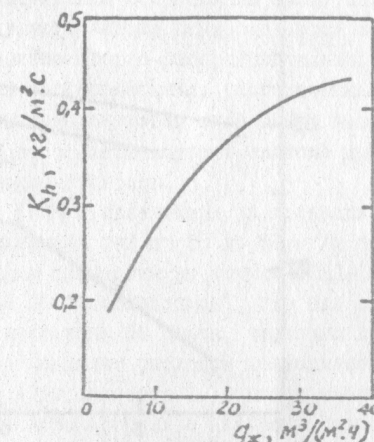


Рис.5. Влияние плотности орошения на тепло-массоперенос в слое ПН при $\rho_H = 300 \text{ кг/м}^3$, $H_{ст} = 40 \text{ мм}$, $W_r = 3 \text{ м/с}$.

носа, что, очевидно, вызвано новыми условиями работы слоя.

Рост $H_{ст}$ приводит к увеличению E_x , причем при $H_{ст} \approx 2-3 d_H$ наблюдается стабилизация величины E_x . В связи с этим, для ГПНД целесообразно принимать значение $H_{ст}$ в пределах от 40 до 60 мм. Показано, на основе анализа приведенных энергозатрат, что для $\rho_H = 200-700 \text{ кг/м}^3$ наблюдается одновременный рост как эффективности процесса охлаждения, так и энергозатрат, а в области малых значений q_x величина E^* существенно возрастает.

Установлено, что для многоярусной ПН эффективность процесса мало чувствительна к расположению секции в аппарате, что обусловлено высокой поперечной равномерностью слоя ПН. Поэтому основные результаты представлены в виде расчетных зависимостей, применительно к базовой единичной секции ГПНД, то есть слоя ПН со статической высотой $H_{ст} = 40-60 \text{ мм}$, $h^* = 100 \text{ мм}$, с экранированными секциями теплообменниками в виде горизонтальных пучков труб $d = 16 \text{ мм}$ и с расстоянием между трубами $c = 25 \text{ мм}$.

В пятой главе описана разработанная методика инженерного рас-

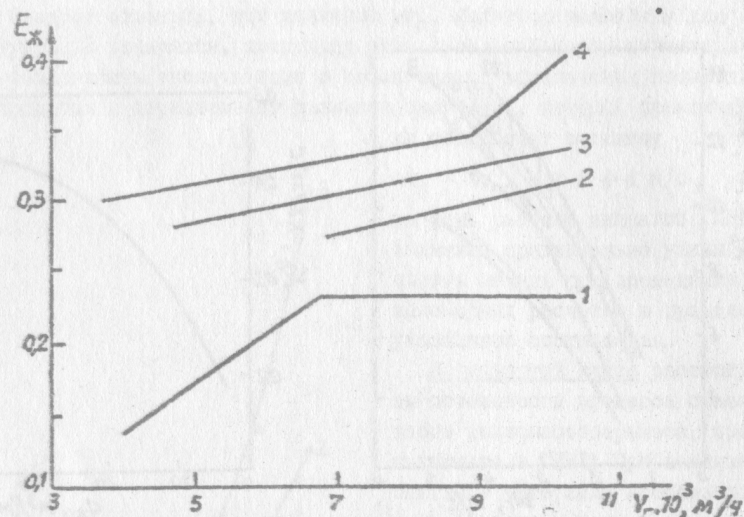


Рис. 6. Зависимость $E_{\text{ж}}$ от расхода потока воздуха при расходе технологической воды $V_{\text{х}} = 5,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и расходе орошающей воды $V_{\text{х}}' (\text{м}^3/\text{ч})$:
1 - 1,12; 2 - 3,5; 3 - 7,5; 4 - 10.

чета ГПНД, состоящая во взаимосвязанном и одновременном расчете процессов тепломассообмена в насадочном слое и основных узлах. Методика обеспечивает подбор вентилятора с учетом характеристик ряда альтернативных вентиляторов, введенных в память компьютера, и обеспечивает прямой и обратный (прогнозируемый) расчеты. Методика учитывает все многообразие процессов, протекающих в различных узлах аппарата: обмен импульсом и тепломассообмен в слое, пленочное течение жидкости на пластинах каплеуловителя, движение капля в противоточном воздушном потоке в дождевой зоне, аэродинамику потока воздуха в диффузоре и на поворотной решетке. Течение воздуха полагалось однородным с различными скоростями на участках входа, разворота и в слое ПН. Учитывается реальная задержка жидкости в слое. В каплеуловителе полагается установившимся ламинарное безволновое течение жидкости. Тепломассообмен в слое описывается уравнением теплового баланса в терминах энтальпийного потенциала. Используются полученные в работе корреляционные зависимости по гидродинамике и тепломассообмену.

В работе приведены результаты расчетов ГПНД в инт. ком диапа-

зоне производительности и данные реальных испытаний.

Выработаны принципы конструктивного оформления ГПНД. Используются плоские диффузоры с разделительными стенками на входе воздуха в аппарат; выравнивание воздушного потока осуществляется с помощью поворотной решетки; в качестве опорно-распределительной решетки используется нижняя секция теплообменника, расположенная горизонтально; аналогичным образом секционирован слой ПН по высоте и число секций составляет от 3 до 5; используется система центробежных форсунок и жидкий каплеуловитель.

Разработан типоразмерный ряд ГПНД в ориентации на холодильную технику, в диапазоне производительностей от 10 до 50 $\text{м}^3/\text{ч}$ по охлаждаемой воде. Натурные испытания проведены на модуле ГПНД-10 на Береговой испытательной станции ПО "Одесколдмаш", где был создан испытательный полигон. Всего проведено 64 опыта, частично представленных на рис. 6. Оптимальным отношением расходов технологической и орошающей (рециркулирующей) воды является 1. В целом наблюдается хорошее соответствие данных лабораторных и натурных испытаний. В настоящее время осуществляется постановка промышленного выпуска ГПНД.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Наиболее перспективной для эксплуатации в экстремальных условиях (повышенная загрязненность сред) является подвижная насадка, обеспечивающая самоочищаемость рабочих поверхностей. Базовым решением для оформления аппаратуры для холодильной техники (традирен, испарительных конденсаторов, оросительных теплообменников) является двухконтурная аппаратура с подвижной насадкой, обеспечивающая надежность эксплуатации оборудования и возможность использования на внешнем контуре любых загрязненных сред.

2. Экспериментально установлены оптимальные соотношения режимных и конструктивных параметров для двухконтурных аппаратов, составляющие: $D/d_{\text{н}} > 10$, $N_{\text{ст}}/n^* < 0,5$, число секций - 3-5. В случае малых плотностей орошения ($G_{\text{ж}} = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) необходимо учитывать изменение величины скорости начала псевдооживления W_0' .

3. Получены основные расчетные зависимости, описывающие гидродинамику аппаратов с подвижной насадкой, характеризующие особенности псевдооживления в двухконтурных аппаратах и унос капельной влаги из слоя. Установлено сужение рабочего диапазона нагрузок для ГПНД.

4. Полученные расчетные зависимости описывают процесс сов-

местного тепломассопереноса в полученной единичной секции ПН, экранированной горизонтально расположенными трубчатыми теплообменниками. Показана возможность описания процесса испарительного охлаждения в ГПНД применительно к любой секции, независимо от ее расположения в аппарате.

5. Разработаны основные принципы конструктивного оформления ГПНД и установлено отличие в оформлении рабочей зоны аппарата, в частности, сформулированы рекомендации для выбора геометрии теплообменного устройства, размещаемого в слое подвижной насадки.

6. Разработана комплексная инженерная методика расчета и прогнозирования рабочих характеристик ГПНД, обеспечивающая взаимосвязанный расчет всех основных узлов аппарата и подбор вентилятора. В практическом отношении решение обратных задач представляется важным для обеспечения их надежной эксплуатации.

7. Разработан типоразмерный ряд ГПНД, состоящий из трех типоразмерных единиц. Проведены натурные испытания. Получены результаты, обеспечивающие возможность создания нового поколения вентиляторных градирен, испарительных конденсаторов и других аппаратов с подвижной насадкой для холодильной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Градирни с подвижной насадкой для холодильной техники/А.В.Дорошенко, М.М.Кологривов, Н.П.Угольников, А.А.Грандов// Холодильная техника. - 1982. - № 2. - с.39-43.
2. Анализ процессов тепломассопереноса в аппаратах с подвижной насадкой/ А.В.Дорошенко, М.М.Кологривов, Н.П.Угольников, А.А.Грандов// Холодильная техника и технология: Респ. межвед. сб./ м-во высш. учеб. заведений УССР. - Киев.: Техника, 1983. -Вып.36.-с.46-51.
3. Дорошенко А.В., Кологривов М.М., Угольников Н.П., Сикорская Е.М. Опыт эксплуатации градирен с подвижной насадкой. - В кн.: Вопросы судостроения. Сер.: Промышленная энергетика, охрана окружающей среды и энергоснабжение судов. - 1984. - Вып.11. - с.39-44.
4. А.с. 967532, МКИ В 01 Д 53/20. Насадка/ В.П.Алексеев, А.В.Дорошенко, Н.П.Угольников, М.М.Кологривов; Одесский технол. ин-т холодильной пром-сти. - № 2703658/26; Заявлено 02.01.79; Опубл. 23.10.82, Бюл. № 39. - 2 с.
5. Эффективность использования вентиляторных градирен с ПН/В.П.Алексеев, А.В.Дорошенко, М.М.Кологривов, Н.П.Угольников//Холодильная техника. - 1979. - № 7. - с.18-23.

6. Кириллов В.Х., Грандов А.А., Дорошенко А.В. К расчету скорости вторичного уноса в сепараторах жалюзийного типа//Инженерно-физический журнал. - 1989. - Т.56, № 5. - с.842-843.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

D - диаметр (размер аппарата), м
d - диаметр, м
H - высота, м
h* - расстояние между секциями, м
 Δp - сопротивление слоя, Па
 K_h - коэффициент совместного тепломассопереноса,
 ρ - плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$
 E_x - степень охлаждения,
 E^* - приведенные затраты,
 ρ - удельная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$
w - скорость, м/с
G - массовый расход, $\text{кг}/\text{ч}$
V - объемный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$
ПН - подвижная насадка
АПН - аппарат с подвижной насадкой
ГПН - градирня с подвижной насадкой
ГПНД - градирня с подвижной насадкой двухконтурная

ИНДЕКСЫ

н - насадка
ст - статический
ж - жидкость
г - газ
кр - критический
о - начало псевдооживления

мн

г.Одесса, роталит СМНТ. Подписано к печати 3.06.91
Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ 910-91

