

Автореферат Н.
К23

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

Карлович Виктор Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Специальность: С5.04.03 – 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

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
вед. научн. сотр.
ДОРОШЕНКО А.В.

Официальные опоненты: доктор технических наук,
профессор ЧЕПУРНИКОВ В.П.

кандидат технических наук,
ст. научн. сотр.
ЧЕРНОЗУБОВ А.М.

Ведущая организация: ВНИИ "Биотехника" /г. Одесса/

Защита диссертации состоится "27" января 1992 г.
в В часов на заседании специализированного совета
К.68.27.01 Одесского института низкотемпературной техники и
энергетики по адресу: 270100, г. Одесса, ул. Петра Великого,
1/3, ОИИТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Автореферат разослан "25" декабря 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
т.н., доцент

Р.К.НИКУЛЬМИН

Подписано к печати 2.12.91
№ 1045/91

DA1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ухудшение экологической обстановки диктует необходимость внедрения природоохранных мероприятий, в том числе оборотных и замкнутых систем промышленного водоснабжения. Многократное использование воды приводит к накоплению примесей, осаждаемых на внутренних поверхностях элементов системы /контактные и рекуперативные теплообменники, трубопроводы/ ухудшает гидродинамические и тепловые условия работы технологического оборудования, ускоряет его износ и коррозию. Основным источником внесения примесей являются градирни /испарение воды, стывание воздуха от пыли, абсорбция газов/. Применение специальных методов механической и химической обработки воды экономически оправдано в крупных централизованных системах. В локальных системах оборотного водоснабжения целесообразно использовать воздушно-испарительные охладители /ВИО/, реализующие принцип косвенно-испарительного охлаждения /воздух-вода, вода-хладагент/. Общим недостатком известных конструкций ВИО является сравнительно невысокая эффективность из-за возможности образования отложений на поверхности теплообменника со стороны орошающей воды.

Следует также отметить, что аппараты такого типа отечественной промышленностью не выпускаются, ограничен опыт их проектирования, расчета и эксплуатации.

Работа выполнена в ИИИТЭ по холодильной технике ОИИТЭ. Результаты использованы в госбюджетной НИР 78.21.03.91.12/1, хозяйственных НИР 3044, 91091, при реализации Координационного плана работ по процессам ректификации, абсорбции и экстракции ГИАП на 1981-1990 гг., Координационного плана НИР по направлению "Теоретические основы химической технологии" на 1986-1990 гг. АН СССР /направление 2.27.1.2.13/.

Цель исследований состоит в изучении возможности интенсификации процесса теплопередачи в ВИО при погружении теплообменной поверхности /ТП/ в слой орошаемой подвижной насадки /ПН/.

В соответствии с целью исследований определены задачи работы:

1. Разработка математической модели процессов гидродинамики /ГД/ и теплообмена /ТЮ/ в слое ПН.
2. Экспериментальное изучение структурных и рабочих характеристик слоя ПН. Выработка принципов компоновки теплообменного пучка.
3. Сопоставление результатов расчета с натурными исследованиями.

получение корреляционных зависимостей для расчета рабочих характеристик испарительных теплообменников /ИТ/ с ПН в широких диапазонах изменения конструктивных параметров и условий эксплуатации.

4. Разработка методик и программ расчета, проектирование и внедрение опытно-промышленных аппаратов различного назначения.

Научные результаты. Разработана математическая модель процессов ГД и ТМО в слое ПН при испарительном охлаждении воды с учетом случайного характера взаимодействия элементов, влияния упругих свойств материала насадки, продольного перемешивания жидкости, неравномерности распределения потоков по поперечному сечению слоя. Выявлен основной механизм диспергирования жидкости – взаимное соударение насадочных элементов. Определены скорость движения /СД/ и частота взаимодействия /ЧВ/ элементов в слое, параметры распределения капель по размерам. Получены значения коэффициента восстановления при соударении сухих и орошаемых насадочных элементов из различных материалов. Установлено, что погружение теплообменной поверхности /ТП/ в слой ПН обеспечивает интенсификацию процесса теплопередачи при умеренном росте энергозатрат, выявлены оптимальные условия эксплуатации.

Научные положения, защищаемые автором:

1. Интенсивность тепломассопереноса в слое псевдоожиженных орошаемых сферических элементов определяется, преимущественно, частотой взаимодействия последних друг с другом или с теплообменной поверхностью и долей их кинетической энергии, расходуемой на диспергирование жидкости; частота и энергия взаимодействия элементов определяют, соответственно, частоту обновления и величину поверхности контакта фаз.
2. Погружение теплообменной поверхности в псевдоожиженный орошаемый слой насадочных элементов, в сравнении с пучком без насадки при одинаковых условиях эксплуатации, обеспечивает увеличение удельной тепловой нагрузки, причем эффект интенсификации теплопередачи определяется развитием поверхности массообмена при испарении орошаемой воды в воздух, а степень интенсификации снижается с увеличением плотности орошения и скорости газа.

Практическая ценность работы. Получены корреляционные зависимости для расчета рабочих характеристик ИТ с ПН при изменении

конструктивных и эксплуатационных параметров в диапазонах: $d_H = 0,02 \pm 0,05$ м; $\rho_H = 100 \pm 1500$ кг/м³; $H_0 = 0,03 \pm 0,5$ м; $q_{ж} = 5 \pm 30$ м³/м²ч; $\omega_r = 1,5 \pm 5,0$ м/с. Разработаны методы и программы расчета ИТ различного назначения: градирен, воздухоохлаждающих, водоохлаждающих, водонагревателей. Выработаны рекомендации по компоновке трубного теплообменного пучка, предложены оригинальные конструкции аппаратов. Внедрены опытно-промышленные образцы, проведены их испытания на действующих объектах.

Реализация результатов работы. Результаты реализованы при расчете и проектировании ВМО с ПН производительностью 10 и 50 м³/ч по воде технологического контура /в/ч 14262/ и 25 м³/ч /179 Военный завод/; воздухоохлаждающих производительностью 10 и 25 тыс. м³/ч по воздуху /Всесоюзный селекционно-генетический институт, г. Одесса/; воздухонагревателя производительностью 80 тыс. м³/ч /Нагорная пиковая котельная, г. Нижний Новгород/; разработке техпредложений по конструкции экономайзера 2й ступени для парогазовых установок производительностью 500 м³/ч по питательной воде /ЦКТИ им. И.И. Ползунова, г. Санкт-Петербург/. Опытные образцы ИТ с ПН внедрены в открытых системах оборотного водоснабжения /градирни ГПН-50 на Одесском хлебзаводе № 4, Килийском СРЗ; ГПН-8 на Одесском СРЗ-2; ГПН-4 на Одесской обувной фабрике/, в закрытых системах /ГПНД-10 на Бердянском з-де "Жгидромах"; ГПНД-25 на 179 Военном з-де/; в системе кондиционирования воздуха /ВПН-10 и ВПН-25 на фитотроне ВСПИ/.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на 8ми Всесоюзных конференциях: по холодильной технике /Тбилиси, 1984; Ленинград, 1986; Кишинев, 1987/, по процессам и аппаратам химических производств /Харьков, 1986/, по процессам и аппаратам энергетических систем /Ленинград, 1985 и 1990; Москва, 1986/, по водооборотным системам /Одесса, 1989/, а также на 1й Национальной конференции с международным участием по применению псевдоожиженных систем в пищевой промышленности /Болгария, 1989/.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, получено 3 авторских свидетельства на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и приложений. Объем работы 190 страниц основного текста, 60 рисунков, 13 таблиц, 58 страниц приложений. Список использованной литературы содержит 150 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены цели исследования, раскрывается общее направление работы и ее сущность.

В первой главе выполнен обзор технической литературы по вопросу влияния качества оборотной воды на эффективность работы градирен и теплообменного оборудования. Рассмотрены способы предотвращения и очистки систем от загрязнений, конструкции ВАО, методы интенсификации теплопередачи. Погружение ТП в псевдоожидженный однофазным потоком слой является прогрессивным методом интенсификации теплообмена и предотвращения загрязнения поверхности. Исследования ВАО такого типа /погружение теплообменника в орошаемый слой подвижной насадки/ практически отсутствуют, что затрудняет расчет аппаратов, их проектирование, использование в промышленности. Конкретизированы задачи работы, выбраны методы их решения.

Во второй главе предложена математическая модель процессов ГД и ТМО в слое ПН. При восходящем движении газового потока силы сопротивления стремятся изменить структуру слоя таким образом, чтобы потери напора были минимальными. Такое состояние достигается за счет расширения слоя, т.е. при таком значении порозности, когда уравниваются силы сопротивления и тяжести, действующие на каждый элемент. Однако, из-за инерционности элементов равновесие нарушается, происходит их соударение, вызывающее хаотическое движение. Жидкость в слое подвергается воздействию как со стороны газового потока, так и элементов насадки, что приводит к образованию динамической трехкомпонентной системы. Из рассмотрения сил, действующих на каждый элемент насадки в минимальном проходном сечении слоя, получены выражения для определения:

- газосодержания слоя

$$\varphi_r = 1 - 0,8 \cdot \left(1 - \frac{\omega_r \cdot (d_n + 2 \cdot \bar{\delta}_{пл})}{d_n} \sqrt{\frac{c_n \cdot \rho_r}{8 \cdot g \cdot (\rho_n \cdot d_n / 6 + \rho_{ж} \cdot \bar{\delta}_{пл})}} \right)^{1,5}$$

- ускорения и вертикальной составляющей СД элементов

$$a_n = \frac{c_n \cdot \rho_r \cdot \omega_r^2 \cdot (d_n + 2 \cdot \bar{\delta}_{пл})}{8 \cdot \psi^2 \cdot d_n^2 \cdot (d_n \cdot \rho_n / 6 + \rho_{ж} \cdot \bar{\delta}_{пл})} - g$$

$$u_n = \sqrt{0,33 \cdot d_n \cdot a_n / (1 - \varepsilon)}$$

Составляющая СД элементов, обусловленная их взаимным соударением / σ_n /, определена из условия сохранения импульса при непрямом неупругом ударе шаров одинаковой массы:

$$\sigma_n = \frac{u_n \cdot \cos \alpha_1 \cdot (1 - K_n) + \omega_n \cdot \cos \alpha_2 \cdot (1 + K_n)}{2}$$

Общая СД элементов найдена как модуль векторной суммы составляющих.

В приближении пограничного слоя получены выражения для распределения пленки жидкости по поверхности элементов, а также определения ее среднего значения:

$$(2g - \frac{c_n \cdot \rho_r \cdot \omega_r^2}{\varphi_r \cdot \rho_{ж} \cdot d_n}) \cdot \frac{\bar{\delta}_{пл}^3}{3 \cdot V_{ж}} - \frac{c_n \cdot \rho_r \cdot \omega_r^2 \cdot \bar{\delta}_{пл}}{4 \cdot \mu_{ж} \cdot \varphi_r} - \frac{\rho_{ж} \cdot d_n}{2} = 0$$

Относительная высота столба задержанной жидкости определена в предположении, что присутствие элементов и стекание пленки по их поверхности является определяющим для удержания жидкости в слое:

$$\chi = 6 \cdot \bar{\delta}_{пл} / d_n$$

Рассмотрены условия дробления струй и пленок жидкости газовым потоком или при соударении элементов. Показано, что взаимодействие элементов - преимущественный механизм диспергирования. Из условия преобразования части кинетической энергии движения элементов в потенциальную энергию образующихся капель определен их средний диаметр:

$$\bar{d}_k = 2 \cdot \chi \cdot d_n \cdot \delta / (\omega_n^2 \cdot (\rho_n \cdot d_n / 6 + \rho_{ж} \cdot \bar{\delta}_{пл}) \cdot (K_c^2 - K_n^2) \cdot (1 - \varepsilon))$$

Распределение капель по размерам аппроксимировано экспоненциальным законом. Продольное перемешивание и унос жидкости определены как потоки капель, размеры которых меньше "диаметров витания", соответствующих истинной /с учетом газосодержания/ и приведенной скорости газа.

Поток массы при испарении капель определен с учетом, что часть их движется совместно, а часть против газового потока. В соответствии с этим выбирается определяющий размер и зависимость для интенсивности массообмена.

$$\beta_k \cdot F_k = \begin{cases} \beta_{k1} \cdot (1 - p) \cdot 6 \cdot V_k / \bar{d}_k + \beta_{k2} \cdot p \cdot 6 \cdot V_k / d_{кв}, & \bar{d}_k \geq d_{кв} \\ \beta_{k1} \cdot (1 - p) \cdot 6 \cdot V_k / d_{кв} + \beta_{k2} \cdot p \cdot 6 \cdot V_k / \bar{d}_k, & \bar{d}_k < d_{кв} \end{cases}$$

$$\beta_{к1} = \begin{cases} \beta_1(\bar{d}_k), & \bar{d}_k \geq d_{квф} \\ \beta_2(d_{квф}), & \bar{d}_k < d_{квф} \end{cases} \quad \beta_{к2} = \begin{cases} \beta_2(\bar{d}_k), & \bar{d}_k < d_{квф} \\ \beta_1(d_{квф}), & \bar{d}_k \geq d_{квф} \end{cases}$$

Температура воды на выходе из слоя найдена из совместного решения уравнений кинетики и теплового баланса с корректировкой на перемешивание жидкости

$$t_{ж} = t_{ж0} - \frac{\beta_k \cdot F_k \cdot \Delta h}{G_{ж} \cdot C_{ж}} \cdot (1 + \rho)^{-1}$$

Коэффициент теплоотдачи в орошающей жидкости определен из модели обновления поверхности Хигби с частотой, равной ЧВ элементов друг с другом или с ТП

$$\alpha_{ж} = \sqrt{C_{ж} \cdot \beta_{ж} \cdot A_{ж} \cdot V}$$

Влияние неравномерности распределения потоков по сечению аппарата на теплотехнические и гидродинамические характеристики слоя учтено при помощи коэффициента

$$K_{в} = \prod_{i=1}^n \frac{a_i \cdot \omega_{ср i}}{n_i \cdot \beta_i^{m_i+2, i+1}} \cdot \Gamma\left(\frac{m_i+2, i+1}{n_i}\right)$$

полученного в предположении, что частотное распределение скорости аппроксимируется экспоненциальной, а зависимость эффективности от расходных параметров - степенной функцией. Значение $K_{в}$ зависит от формы распределения /соотношение наиболее вероятного и среднего значения скорости/ и показателя степени при расходном члене и может быть как меньше, так и больше 1 /при одинаковой средней скорости/.

В третьей главе представлено описание экспериментального оборудования, техники и методик проведения опытов /рис. I/.

СД и ЧВ насадочных элементов в слое определены с использованием оригинальной методики /II/, основанной на частотном анализе и сопоставлении интенсивности вибрации одиночного пробного элемента в слое/рис. Iб/. ЧВ соответствует экстремальному значению приращения интенсивности вибрации пробного элемента в слое по отношению к одиночному.

Методом фотографирования пристеночной области слоя через гидроробную стенку /рис. Iв/ определены размеры капель. Законы распределения капель по размерам, могут быть аппроксимированы экспоненциальной функцией с показателем степени $n = 1,0+2,0$.

Схема определения коэффициента восстановления при соударении сухих и орошаемых элементов из различных материалов показана на рис. Iд. Коэффициент восстановления при соударении смоченных эле-

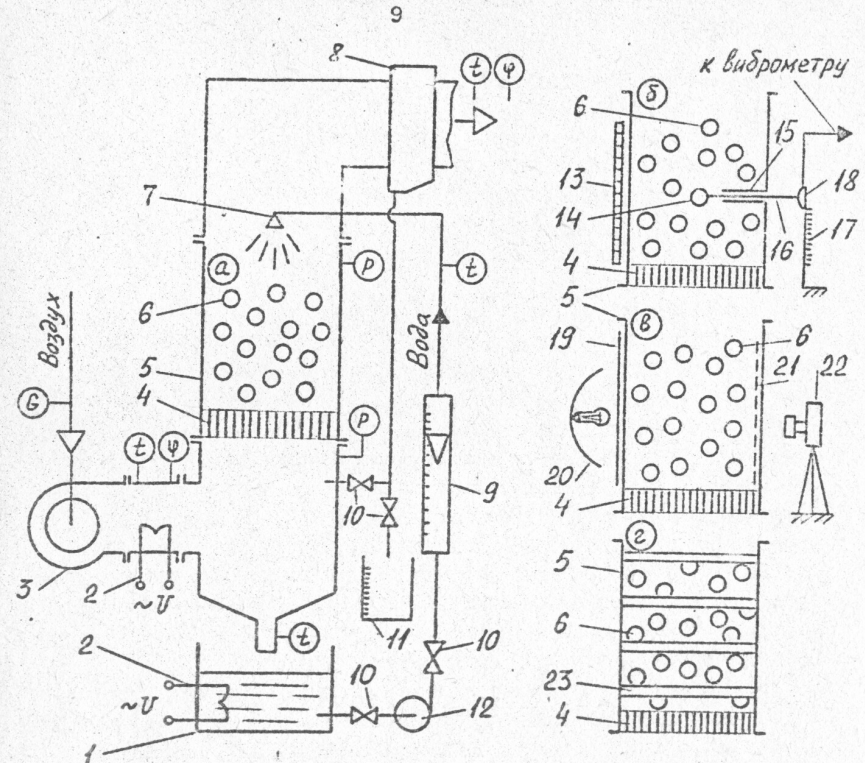
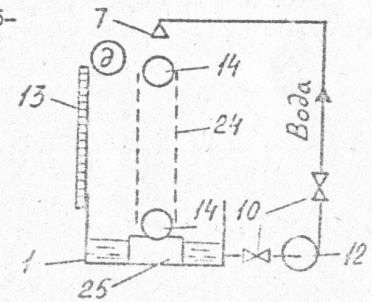


Рис. I. Экспериментальное оборудование.

1-водосборная емкость; 2-электронагреватель; 3-вентилятор; 4-опорная решетка; 5-рабочая зона; 6-элемент насадки; 7-водораспределитель; 8-каплеуловитель; 9-ротаметр; 10-вентиль; 11-мерная емкость; 12-насос; 13-измерительная линейка; 14-пробный элемент; 15-экранирующая труба; 16-соединительный стержень; 17-координатный; 18-пьезодатчик; 19-рассеивающий экран; 20-осветитель; 21-плоскость фокусировки; 22-фотокамера; 23-трубки; 24-направляющие; 25-массивное основание.



ментов не зависит от упругих свойств материала /в отличии от сухих/, а его значение близко к нулю.

Интегральные теплотехнические и гидродинамические параметры ПН определены как для свободного слоя /рис. 1а/, так и для слоя с погруженной трубчатой поверхностью различной конфигурации /рис. 1г/.

В четвертой главе описаны результаты расчетов и экспериментальных исследований, проведено их сопоставление друг с другом и данными других авторов.

Система уравнений, полученная в гл. I, решена с использованием численных методов /итерационных, Монте-Карло и др./ на ЭВМ. Результаты представлены в виде функциональных зависимостей безразмерных комплексов $\varphi_r, k \cdot \omega_n / \omega_r, \chi_{jk} / (1 - \epsilon) / \beta_n$ и критериев Eu, Nu_0 от определяющих параметров $Re_r, Re_{ж}, Ar_r, H_0 / d_n, K_c$. При выполнении вычислительного эксперимента обеспечивалось строгое изменение только одного определяющего параметра /что практически невозможно в натурном эксперименте/. Безразмерные комплексы подбирались таким образом, чтобы функциональная зависимость была однозначной /в пределах естественного разброса результатов в связи с использованием метода Монте-Карло/. Вид зависимости подбирался по максимальному значению коэффициента корреляции. Обработка проводилась с использованием стандартного матобеспечения.

Сопоставление проведено по степени расширения слоя, гидродинамическому сопротивлению, интенсивности тепломассообмена, капельному уносу, СД элементов, поверхности контакта фаз, количеству удержанной жидкости /рис. 2/.

Расчет ВЮ с ПН выполнен на основе решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений для изменения температур потоков вдоль ПН. Анализ коэффициентов переноса проведен по полученным корреляционным зависимостям. Результаты сопоставления с натурными исследованиями представлены в табл. I.

Таблица I

G_r	$G_{ж}^0$	$t_{ж1}$	$t_{ж2}$	$t_{ж2}, ^\circ C$	$t_{ж2}, ^\circ C$	Q , кВт	δQ , %
м ³ /ч	м ³ /ч	! C	! C	! расч!	! эксп!	! расч!	! эксп!
6500	3,5	31,5	18,7	27,3	27,7	22,5	22,9
6700	6,2	27,9	20,6	25,3	25,6	22,8	23,0
6700	8,0	35,7	18,1	29,1	30,0	23,7	23,7
6200	10,0	28,7	17,9	24,9	25,4	21,8	24,7

Расход технологической воды во всех опытах составлял 5,5+6,0 м³/ч.

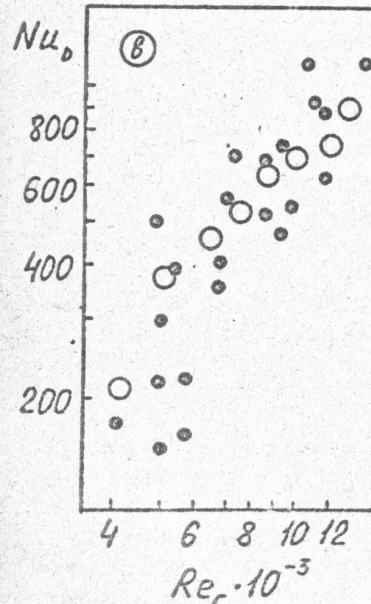
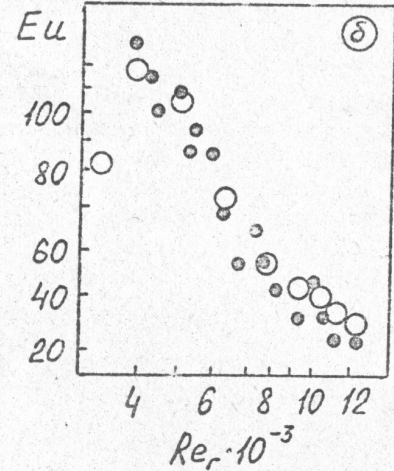
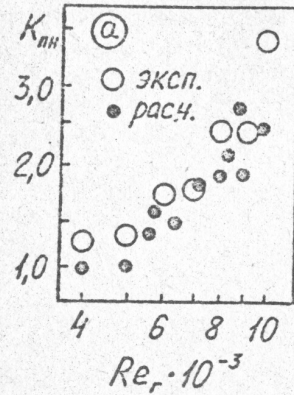


Рис. 2. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений степени расширения /а/, гидродинамического сопротивления /б/ и интенсивности тепломассообмена /в/ слоя ПН.

$d_n = 0,04$ м; $G_n = 300$ кг/м³;
 $H_0 = 0,1$ м; $q_{ж} = 20$ м³/м²ч /

Сравнение эффективности работы ВЮ с насадкой и без нее показало, что присутствие ПН приводит к интенсификации массообдачи от орошающей воды в воздух в 1,6-1,8 раза при плотностях орошения $\Gamma_e = 0,02-0,05$ кг/м с, что позволяет уменьшить величину ТП на 8-10% /рис. 3, 4/. Уменьшение запаса поверхности на загрязнение снижает материалоемкость теплообменника еще на 10-15%. Энергозатраты возрастают при этом в 2-2,5 раза.

В пятой главе представлено описание разработанных ИТ с ПН, проведено их сопоставление с отечественными и зарубежными аналогами /таблица 2/.

Таблица 2

Аппарат	$G_{ж}^{sp}$! м ³ /ч!	G_r ! м ³ /ч!	$G_{ж}$! м ³ /ч!	Q ! кВт!	$N_{эл}$! кВт!	$L \times W \times H$! д.з.л. м!	$F_{по}$! м ² !
УЖИ 9-1 Baltimore Airco I, США/ ПНД-10 /ОИНТЭ/	8	8300	8	46	1,5/0,25/	1,2x0,9x2,3 IO /1,1x0,9x0,65/ 2,4x1,0x3,0 5 /0,8x0,8x0,6/	
441/470-670 /Эшер-Висс, ФРГ/ ПН-50 /ОИНТЭ/	6I	31000	-	355	4,0	4,7x4,7x3,2 - 5,0x2,6x3,5 -	

Сопоставление при условиях: $t_{жг} = 35^\circ\text{C}$, $t_{мг} = 18^\circ\text{C}$.

В скобках указана мощность рециркуляционного насоса и габариты теплообменной секции.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Совмещение рекуперативного теплообменника и градирни в одном устройстве обеспечивает уменьшение габаритов аппаратов, гибкое регулирование тепловой производительности за счет возможности работы в оросительном, воздушном или испарительном режимах, позволяет снизить количество плановых остановок технологического оборудования для очистки внутренних поверхностей от загрязнений.
2. Основное термическое сопротивление теплотransporte в ИТ сосредоточено на поверхности раздела воздух-орошающая вода. Для интенсификации процесса за счет развития поверхности массообмена целесообразно погружение ТП в слой ПН. При этом для изготовления ТП используются гладкие трубы, снижается вероятность образования отложений, а требуемая величина поверхности /в сравне-

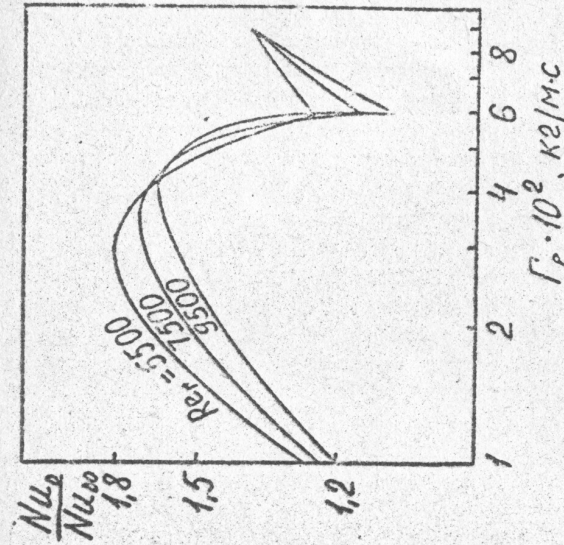


Рис. 4. Отношение интенсивности массообмена от орошающей воды в воздух в ВЮ с ПН и без нее.

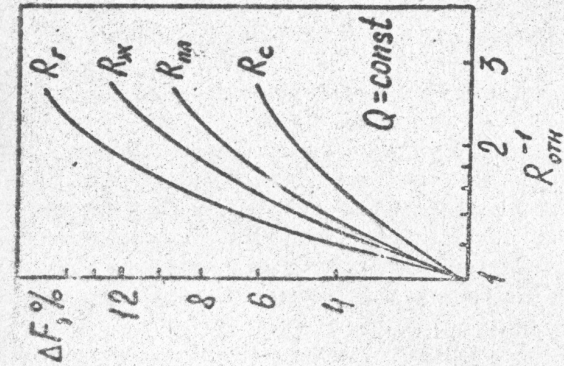


Рис. 3. Относительное уменьшение поверхности теплообмена при снижении термических сопротивлений составляющих теплопередачи в ВЮ.

нии с гладкотрубным пучком без насадки при одинаковых условиях эксплуатации/ меньше на 20-25%.

3. Тепловой расчет ВЮ основан на решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений для приращения температур потоков вдоль ТП при известных значениях коэффициентов тепло- и массоотдачи при течении жидкости внутри труб, орошении наружной поверхности труб и испарении орошающей воды в воздух. Значения последних для ИТ с ПН определены на основе модели процессов ТД и ТМО в слое ПН.
4. Поведение элементов насадки в слое с погруженным теплообменником аналогично свободному слою, если характерный линейный размер пучка больше или равен величине размещенный элементов для соответствующих условий эксплуатации. В стесненных условиях работы слоя наблюдается увеличение капельного уноса, сопротивления, снижение интенсивности массообмена.
5. Математическая модель процессов ТД и ТМО в слое ПН предложена в виде системы алгебраических уравнений для определения газосодержания слоя, количества удерживаемой жидкости, средней толщины жидкостных пленок, СД насадочных элементов, среднего диаметра образующихся капель, капельного уноса и перемешивания жидкости, ЧВ элементов друг с другом и с ТП, интенсивности тепло- и массоотдачи в газовом и жидкостном потоках. Система уравнений решена с использованием численных методов, причем случайное независимое изменение величин, определяющих динамические характеристики /порозность, СД элементов, распределение капель по размерам и т.д./ обуславливает вероятностный характер определения гидродинамических и массообменных параметров /разброс результатов до 25%/.
6. Жидкость в слое ПН присутствует, преимущественно, в виде пленок на поверхности элементов и капель в объеме слоя. Взаимодействие газа со стекающей пленкой приводит к отеснению последней в кормовую зону элемента /по ходу газового потока/ и оголению поверхности на $1/3-1/2$ в зависимости от сочетания конструктивных параметров насадки и условий эксплуатации слоя, а дисперсность распла капель определяется интенсивностью движения элементов, поэтому поверхность капель в 2-10 раз больше смоченной поверхности насадки.
7. Удовлетворительное согласование экспериментальных и расчетных значений характеристик слоя ПН /как свободного, так и с погруженным теплообменником/ подтверждает корректность принятых до-

пущений, разработанных расчетных методик, использованных методов измерений и обработки опытных данных, а следовательно и достоверность полученных результатов.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кологривов М.М., Дорошенко А.В., Карлович В.К. Интенсивные контактные аппараты для систем обратного водоснабжения // Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф. "Интенсификация производства и применение искусственного холода", секц.: Защита окружающей среды. - Ленинград, 16-18 октября 1986 г. - С. 100.
2. Карлович В.К. Расчетный метод определения поверхности контакта фаз в аппаратах с подвижной насадкой // Гос. научно-исследовательский энергетический ин-т. - М., 1987. - Деп. № 2510 ЭН 87.- 25 с.
3. Янкина Е.Е., Карлович В.К., Дорошенко А.В. Расчет капельного уноса из насадочных теплообменников аппаратов // Гос. научно-исследовательский энергетический ин-т. - М., 1987. - Деп. № 2408 ЭН 87. - 19 с.
4. Карлович В.К., Дорошенко А.В. Гидродинамика аппаратов воздушно-испарительного охлаждения с погруженной в слой подвижной насадки теплообменной поверхностью // Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф. "Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса", секция "Кондиционирования воздуха. Теплообмен". - Кишинев, 24-26 декабря 1987. - С. 65.
5. Губанов В.А., Кологривов М.М., Карлович В.К., Чернозубов А.М. Воздухоохладители с подвижной насадкой для систем кондиционирования // там же. - с. 66.
6. Карлович В.К., Дорошенко А.В., Лавренченко Г.К. Характер движения жидкости в подвижном насадочном слое // Одесск. технол. ин-т холод. пром-сти. - Одесса, 1988. - Деп. УкрНИИТИ № 1618.- Ук. 88. - 60 с.
7. Карлович В.К. Моделирование процессов гидродинамики и теплообмена при обработке воды и воздуха в псевдооживленном слое сферических элементов // I Национальная науч.-технич. конф. с международно участие: "Приложение на псевдокипящий слой и флуидизированные системы в хранительно-вкусовата и биотехнологичната промышленност". - Пловдив, 1989. - Резюме. - С. 12-13.
8. Карлович В.К., Дорошенко А.В. Исследование воздушно-испарительного водоохлаждения с погруженной в псевдооживленный слой тепло-

обменной поверхностью // там же. - С. 21.

9. А.С. № 1272086 /СССР/. Теплообменник /Одесск. технолог. ин-т холод. пром-сти; Авт. изобрет. Дорошенко А.В., Боровцев А.И., Карлович В.К., Кологривов М.М. - № 3929134/24-06; Заявл. 22.04.85; Оpubл. 23.11.86 Бюл. № 43.
10. А.с. № 1509672 /СССР/. Способ определения характеристик взаимодействия элементов подвижной насадки в аппаратах с псевдоожиженным слоем /Одесск. технолог. ин-т холод. пром-сти; Авт. изобрет. Дорошенко А.В., Карлович В.К. - № 4258676/31 - 25; Заявл. 11.06.87; Оpubл. 23.09.89 Бюл. № 35.
11. А.С. № 1603167 /СССР/. Испарительный теплообменник /Одесск. технолог. ин-т холод. пром-сти; Авт. изобрет. Карлович В.К., Дорошенко А.В., Угольников Н.П. - № 4411895/24 - 06; Заявл. 18.04.88; Оpubл. 30.10.90 Бюл. № 40.

Условные обозначения: d - диаметр, м; H - высота, м; w, v , u - скорость, м/с; a - ускорение, м/с²; g - ускорение свободного падения, м/с²; δ - толщина, м; $\rho_{ж}$ - плотность орошения, м³/м²ч; φ - газосодержание; ψ - минимальное проходное сечение; ε - порозность; X - доля задержанной жидкости; ρ - доля перемешиваемой жидкости; K - степень расширения слоя; коэффициент восстановления при ударе; K_w - коэффициент учета неравномерности; β - коэффициент массоотдачи, кг/м²с; F - поверхность, м²; V - объем, м³; ρ - плотность, кг/м³; ν - кинематическая вязкость, м²/с; M - динамическая вязкость, Па с; σ - поверхностное натяжение, Н/м; C - теплоемкость, кДж/кг град; c - коэффициент сопротивления; G - расход, кг/с; Δh - энтальпийный потенциал, кДж/кг; ζ - показатель степени при расходном члене; m, n - параметры распределения; D - коэффициент диффузии, м²/с.

Критерии: Рейнольдса $Re = wd/\nu$; Эйлера $Eu = 2 \cdot \Delta p / \rho_r w_r^2$

Архимеда $Ar_r = \frac{g \cdot d_n^3}{\nu_r^2} \cdot \frac{\rho_n - \rho_r}{\rho_r}$; Нуссельта диффузионный $Nu_0 = \frac{\beta \cdot d}{D_r \cdot \rho_r}$

Подстрочные символы: г - газ; ж - жидкость; к - капля; пл - пленка; н - насадка; с - сухой; м - мокрый; φ - с учетом газосодержания; в - витания; 0 - начальное; д - динамический; I - противоток; 2 - прямоток; f - трения; d - формы.

В. Кафф.

