

Автореферат
Г 77

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

ГРАНДОВ Александр Александрович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ
С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Специальность 05.04.03 – Машины и аппараты холодиль-
ной 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

XV 973

Институт холода
ОНАХТ
Бібліотека

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
Смирнов Г.Ф.,
– кандидат технических наук, доцент
Михайленко Г.Г.

Ведущая организация – ВНИЦ Биотехника

Защита состоится 24 июня 1991 г. в 11 час.
на заседании специализированного совета К.068.01 при Одесском
институте низкотемпературной техники и энергетики по адресу:
270057, г.Одесса-57, ул. Петра Великого, 1/3, ОИНТЭ

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
Одесского института низкотемпературной техники и энергетики.

Автореферат разослан 24 мая 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Р.И.Никульшина

– 3 –

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы стала очевидной необходимость повышения эффективности и надежности работы производств химических технологий. Особое внимание уделяется защите окружающей среды, экономии водных ресурсов. Для решения этих проблем необходимо совершенствовать теплообменную аппаратуру, системы обратного водоохлаждения. Для последних большое значение имеет снижение капитальных и эксплуатационных затрат. Один из путей – децентрализация оборотных систем с применением малогабаритных градилен полной заводской готовности. Для усовершенствования градилен с подвижной насадкой необходимо решить задачи интенсификации теплообмена, улучшения сепарации капельной влаги, уменьшения масштабного эффекта при создании аппаратов значительной единичной мощности. Кроме того, в инженерной практике отсутствует метод комплексного расчета аппаратов, учитывающий взаимосвязь энергетических, гидравлических и теплообменных характеристик, влияние масштабного перехода, и позволяющий прогнозировать рабочие характеристики в различных условиях эксплуатации.

Работа выполнялась в ПНИЛ по холодильной технике ОИНТЭ и ее результаты использованы в госбюджетной НИР 245.13.6.80, хозяйственных НИР 3044, 87041, 89049, 890410.

Цель исследований. Интенсификация теплообмена в аппаратах с подвижной насадкой, получение расчетных характеристик орошаемых подвижных слоев сферической насадки в широком диапазоне скоростей газа и жидкости; уменьшение влияния масштабного перехода на производительность ПН; совершенствование узла сепарации капель в ПН; уточнение расчета и прогнозирование рабочих характеристик аппаратов в различных условиях эксплуатации; реализация полученных результатов в промышленности.

Научные результаты. Исследованы основные гидродинамические и теплообменные характеристики подвижных слоев сферической насадки плотностью 100-1000 кг/м³, в диапазоне скоростей газа 0-8 м/с, плотностей орошения 0-40 м³/м²ч получены соответствующие корреляционные зависимости. Установлена определяющая роль удерживающей способности ПН на интенсивность теплообмена. Уточнены параметры режимов псевдооживления, изучена специфика захлебывания подвижных насадок. Разработана упрощенная модель псевдооживления, позволяющая рассчитать динамическую высоту слоя и

скорость начала псевдооживления. Разработан новый метод анализа масштабного эффекта в градириях и установлено, что основной вклад в снижение эффективности работы ПН вносит неравномерность плотности орошения. Исследовано взаимодействие газа и жидкости в канале жалюзийного сепаратора, выявлен механизм образования вторичного уноса. Разработана модель, позволяющая рассчитать скорость газа, при которой начинается вторичный унос.

Научные положения, защищаемые автором.

1. Интенсивность тепломассообмена между газом и жидкостью в слое подвижной сферической насадки определяется, преимущественно, его удерживающей способностью: наличие значительного объема жидкости в слое насадок плотностью более 0,2 от плотности жидкости сопровождается частичным захлебыванием и более высокой интенсивностью обмена. Захлебывание насадки характерно тем, что его признаки имеют место уже в начале псевдооживления, постепенно усиливаются по мере возрастания скорости газа, но не переходят в полное захлебывание вплоть до скорости "прилипания" элементов к ограничительной решетке.

2. Основной вклад в снижение эффективности работы при увеличении размеров тепломассообменных аппаратов типа ПН вносит неравномерность потока жидкости, влияние которой тем больше, чем меньше плотность орошения. Масштабный эффект при рабочих плотностях потоков в этих аппаратах незначителен.

Практическая ценность работы. Получены корреляционные зависимости для основных гидродинамических характеристик и коэффициента тепломассопереноса в подвижных слоях сферических насадок плотностью от 100 до 1000 кг/м³, при скоростях газа от 0 до 8 м/с и плотностях орошения от 0 до 40 м³/м²ч. Разработан метод анализа масштабного эффекта в градириях, установлен основной источник масштабного эффекта ПН - неравномерность плотностей орошения, даны рекомендации по его уменьшению. Разработан метод расчета скорости газа, при которой начинается вторичный унос из жалюзийного каплеуловителя; метод сравнительной оценки каплеуловителей; рекомендации по совершенствованию их конструкции. Разработана методика и

алгоритм инженерного расчета ПН, учитывающие масштабный эффект, позволяющие определить параметры конструкции для заданных условий работы и прогнозировать рабочие характеристики для различных условий эксплуатации. Алгоритм реализован в виде ЭВМ-программы. Разработан ряд модификаций ПН. Полученные результаты обеспечивают возможность расчета и проектирования градирен, воздухоохладителей, скрубберов, испарительных конденсаторов и оросительных теплообменников с подвижной насадкой.

Реализация результатов исследований. Проведена модернизация градирен с подвижной насадкой производительностью 50 и 100 м³/ч, серийно выпускаемых Одесским механообрабатывающим заводом. Результаты исследований переданы в рамках НИР. Для предприятий Агропрома СССР разработаны градири ПН-25 и ПН-50, выпуск которых опытными партиями осуществляет Одесское СМНУ "Хладмонтажавтоматика". В рамках НИР переданы на ПО "Укрторгтехника" результаты разработок по малым градирям на 4 и 8 м³/ч воды. Изготовлены опытные образцы, готовится серийное производство. Отдельные аппараты внедрены на ПО "Автосборочный завод", НПО "Кислородмаш", на заводе шампенских вин, Килийском СРЗ и др. Вентиляторная градири, в которой использовались результаты исследований, демонстрировалась на ВДНХ СССР и отмечена бронзовой медалью.

Апробация работы. Результаты работы были доложены на 7-ми Всесоюзных конференциях и семинарах, в том числе дважды (в 1985 и 1990 гг.) на Всесоюзной конференции "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах"; на международной конференции "Приложение на псевдокипящих слоях и флуидизированных системах в хранительно-вкусовой и биотехнологической промышленности", г.Пловдив (НРБ), 2-3 ноября 1989 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованных источников, включающего 149 наименований, и приложений. Основное содержание работы изложено на 167 листах машинописного текста, включает 56 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Экспериментальные исследования проводились на системе вода-воздух на лабораторном стенде и опытных градириях, работающих на промышленных предприятиях. Головная часть стенда имеет круглую

прозрачную колонну диаметром 200 мм, в которой расположены водо-распределитель душевого типа, опорно-распределительная решетка с долей свободного сечения 0,9, слой подвижной насадки (ПН) жалюзийные каплеуловители. Воздух подается снизу со скоростью от 0 до 8 м/с, плотность орошения от 0 до 35 м³/м²ч, элементы ПН - шары диаметром 37 и 40 мм плотностью от 100 до 1000 кг/м³, статическая высота менялась от 0,04 до 0,25 м. Бак с запасом воды имеет узкую горловину для измерения количества удерживаемой жидкости циркуляционным методом. Тепломассообмен изучался при испарительном охлаждении воды, нагреваемой электрогрелками.

В разделе гидродинамики орошаемых ПН изучались потери напора ΔP , каплеунос из слоя $G_{ку}$, динамическая высота H_d , удерживающая способность по воде H_m , режимы работы при повышенных скоростях воздуха и плотностях орошения.

Установлено, что потери напора в момент начала псевдоожижения не зависят от плотности орошения и пропорциональны статической высоте слоя ПН. Зависимость от других параметров имеет вид:

$$\Delta P / H_{ст} = 0,068 \rho_w + 0,27 (W - W'_0)^{1,6} q_m^{0,92}$$

Для подвижных насадок режимы псевдоожижения, в основном, определяются характером задержки жидкости. Перед началом псевдоожижения в слое происходит накопление жидкости с последующим ее сбросом после начала движения элементов. Затем количество жидкости в слое вновь нарастает с ростом скорости газа (рис.1). Для ПН из шаров плотностью, равной 0,2-1,0 от плотности жидкости это явление сопровождается появлением начальной стадии захлебывания слоя. При возрастании скорости газа во всем диапазоне псевдоожижения наблюдаются признаки начальной стадии захлебывания, постепенно усиливающиеся, но не переходящие в полное захлебывание аппарата. Полное захлебывание наступает в результате "прилипания" элементов к каплеуловителю. Для описываемых насадок при скоростях газа выше $W_d = 5,5+6,0$ м/с начинается более резкий рост величин H_m , ΔP , $G_{ку}$ - наступает "захлебывание" подвижной насадки, существующее в широком диапазоне W , а непосредственно перед ним имеется участок постоянной задержки, начинающийся при скорости W_k :

$$\begin{aligned} H_{m1} &= 6,41 \cdot 10^{-3} W^{0,926} q_m^{0,55} H_{ст}^{0,62} & W &= W'_0 + W_k \\ H_{m2} &= H_{m1} (W_k) = const & W &= W_k + W_d \\ t_{m3} &= H_{m2} + 0,53 (W - W_d)^{2,4} q_m^{0,55} H_{ст}^{0,62} & W &= W_d + 0,0 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Наибольшее влияние на каплеунос оказывает скорость газа и высота сепарационной зоны. С ростом плотностей потоков жидкости и газа унос возрастает. Имеются критические значения плотностей, начиная с которых степень влияния меняется: при $W = W_d$ начинается более крутой рост уноса, при $q_m = 20-22$ м³/м²ч - его стабилизация

$$G_{ку}/F_{p3} = A W^6 q_m^{0,577} H_{ст}^{-1,97} \rho_w^{1,07}, \text{ где}$$

$$\begin{aligned} W'_0 &< W < W_d & A &= 1,75 \cdot 10^{-7}, & \epsilon &= 3,58 \\ W_d &< W < 8 \text{ м/с} & A &= 1,07 \cdot 10^{-8}, & \epsilon &= 5,29 \end{aligned}$$

Здесь $H_{ст}$ - расстояние от опорной решетки до каплеуловителя.

Для расчета динамической высоты подвижного слоя разработана упрощенная модель псевдоожижения, основанная на балансе сил, действующих на элемент насадки. Основное допущение в том, что элемент находится в подвешенном равновесном состоянии, и его вес, в основном, компенсируется силой давления воздуха, движущегося со скоростью, определяемой минимальным свободным сечением насадочного слоя.

$$H_d = \frac{H_m + H_{ст} (1 - \epsilon_0)}{0,796 (1 - \psi_n)^{3/2}}, \quad \psi_n = 0,87 W_r \sqrt{\frac{c_{cl} \rho_r}{g d_w \rho_w}}$$

ϵ_0 - порозность статического слоя насадки; c_{cl} - коэффициент сопротивления шара в слое.

Визуальные и фотографические исследования течения газа и жидкости в канале жалюзийного сепаратора показали, что при достижении газом критической скорости начала вторичного уноса $W_{кр}$ срыв капель, улетающих за его пределы, происходит, в основном, на перегибе пластин. Измерения подтвердили, что в канале происходит локальное увеличение скорости газа вблизи перегиба пластин, и при $Re_r \sim 3 \cdot 10^4$ создаются условия для срыва капель. Разработанная модель, позволяющая вычислить $W_{кр}$, основана на гипотезе, что механизм образования вторичного уноса состоит в следующем: взаимодействие с газовым потоком в месте локального повышения его скорости вызывает остановку поверхностного слоя пленки жидкости, что, в свою очередь, приводит к неустойчивому состоянию поверхности раздела фаз. Применяв теорию струйного обтекания плоской решетки идеальной жидкостью к газовому потоку, найдем скорость газа в сечении 2 (рис.2)

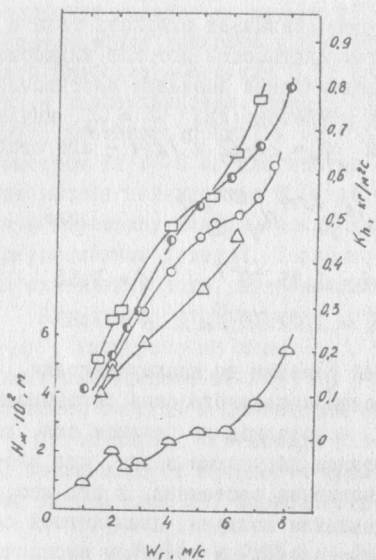


Рис.1. Влияние скорости газа на интенсивность тепло-массопереноса и задержку жидкости в слое ПН:

$H_{cr} = 0,1 \text{ м}$, $q_m = 15 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$,
 Δ — H_m для $\rho_w = 440 \text{ кг/м}^3$;
 коэффициент тепло-массопереноса K_h для ρ_w , кг/м^3 :
 \triangle — 100, \circ — 300, \square — 500,
 \diamond — 800.

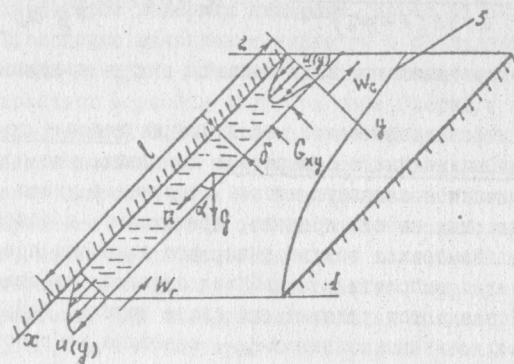


Рис.2. Расчетная модель течения газа и жидкости в канале сепаратора:

1 — нижняя кромка пластины,
 2 — верхняя кромка пластины,
 3 — граница газового потока.

$$W_c = W(1 + \sin \alpha) / \cos \alpha \quad (5)$$

W_c — скорость газовой струи вблизи пластины.

Течение жидкости по пластине сепаратора описано одномерным уравнением движения вязкой жидкости. В уравнении материального баланса, позволяющем определить толщину пленки жидкости, допускается, что пленка формируется равномерным по всем пластинам потоком оседающих капель. В расчетах для аппаратов ПН в качестве гидравлической нагрузки на сепаратор использована величина $G_{кж}$ из уравнения (3). Основным упрощением реальной картины в модели является отсутствие волнообразования пленки и завихрений газового потока. Взаимодействие газа с поверхностью жидкости описано с учетом изменения касательных напряжений τ по ходу газовой струи. Величина τ достигает максимума в сечении 2, что приводит к остановке поверхности пленки ($u = 0$ при $y = \delta$). При этих условиях из совместного решения уравнения движения жидкости и уравнения Бернулли для газа получено выражение для вычисления критической скорости газа

$$\delta(\rho_w g \cos \alpha - \Delta p / l) = 2 \tau_2 \quad (6)$$

$$\tau_2 = (\xi \rho_f / 2) (W_{cr} \frac{1 + \sin \alpha}{\cos \alpha})^2,$$

$$\Delta p = (\rho_f W_{cr}^2 / 2) \left[\left(\frac{1 + \sin \alpha}{\cos \alpha} \right)^2 - 1 \right]$$

Величина W_{cr} используется при разработке аппаратов, как предельная скорость газа.

Разработан метод расчета и сравнения различных сепараторов: расчетные параметры — коэффициент сепарации ρ_{cen} , скорость начала вторичного уноса $W_{кр}$, сопротивление газовому потоку и материалоемкость. Коэффициент сепарации определяется для фиксированных диаметров капель по их траекториям, полученным при решении уравнения движения капли в газовом потоке в канале сепаратора. Получены зависимости коэффициентов фракционной сепарации от угла наклона γ и высоты сепаратора H_{cen} , скорости газа W и диаметра капли d_k для оптически плотных конструкций с максимальной шириной канала. В этом варианте исключен прямой проскок капель при мини-

малом сопротивлении в канале. Наиболее существенно влияние параметров γ , $H_{сеп}$, d_k . Сепарация улучшается с увеличением γ , d_k , W , уменьшением $H_{сеп}$. С увеличением угла наклона увеличивается также критическая скорость вторичного уноса, расширяя границы работы сепаратора.

В экспериментальных исследованиях тепломассопереноса в АПН для анализа использован метод энтальпийных потенциалов, основным уравнением которого является уравнение Меркеля

$$G_r dh = K_h (h'' - h) dF_{кф}$$

h - энтальпия газа в потоке, h'' - энтальпия газа при температуре жидкости, $F_{кф}$ - площадь поверхности контакта фаз. Установлено, что на характере зависимостей характеристик теплообмена от плотностей потоков практически не отражаются переходы к различным режимам псевдооживления, кроме перехода к захлебыванию ПН. В режиме захлебывания ПН наблюдается более резкий рост коэффициентов переноса, числа единиц переноса, степени охлаждения воды. При использовании конструкции аппарата по а.с. СССР № 1437664 интенсификация достигается без увеличения энергозатрат на сепарацию капельной влаги. Причем, целесообразно увеличение скоростей потоков как газа, так и жидкости. При одинаковых условиях работы интенсивность тепломассопереноса для насадок плотностью $200 \pm 1000 \text{ кг/м}^3$ выше, чем для насадок плотностью $100 \pm 200 \text{ кг/м}^3$, что объясняется наличием у первых состояния "захлебывания" при псевдооживлении. В рамках этого диапазона увеличение плотности насадки свыше 500 кг/м^3 приводит к росту сопротивления без существенного увеличения K_h . Результаты экспериментов обобщены корреляцией, которая

$$Nu_b = 0,552 Re_r^{0,92} Re_m^{0,42} Ar_m^{-0,16} (H_{ср}/d_m)^{-0,7} \quad (7)$$

рекомендуется для инженерных расчетов. Для исследований масштабного эффекта в ППН разработан метод, основанный на экспериментальном изучении распределения газового потока и математическом моделировании потока жидкости. Метод состоит в условном разбиении поперечного сечения аппарата на ячейки и вычисления в каждой из них эффекта тепломассопереноса, затем усреднение результата по сечению. Локальные перепады температур жидкости

$$\Delta t(x, y) = c(t_{m1} - t_{m2}) \{1 - \exp[-\ell g_r(x, y)/g_m(x, y)]\} \quad (8)$$

Средняя по сечению температура жидкости

$$t_{m2} = \frac{1}{G_m} \left\{ \iint_{F_{ср}} [t_{m1} - \Delta t(x, y)] g_m(x, y) dx dy \right\}$$

Здесь c - постоянная, определяемая в лабораторной колонне для тех же условий работы; ℓ - постоянная, зависящая от начальных параметров газа и жидкости; t_{m1}, t_{m2} - начальные температуры жидкости и газа по мокрому термометру.

Установлено, что при рабочих плотностях потоков $q_m = 15 \pm 20 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$, $W = 3,0 \pm 3,5 \text{ м/с}$ масштабный эффект ППН не проявляется до производительности аппарата $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ по воде. При дальнейшем росте размеров снижение эффективности наблюдается, в основном, за счет неравномерности орошения насадки потоком жидкости (рис.3).

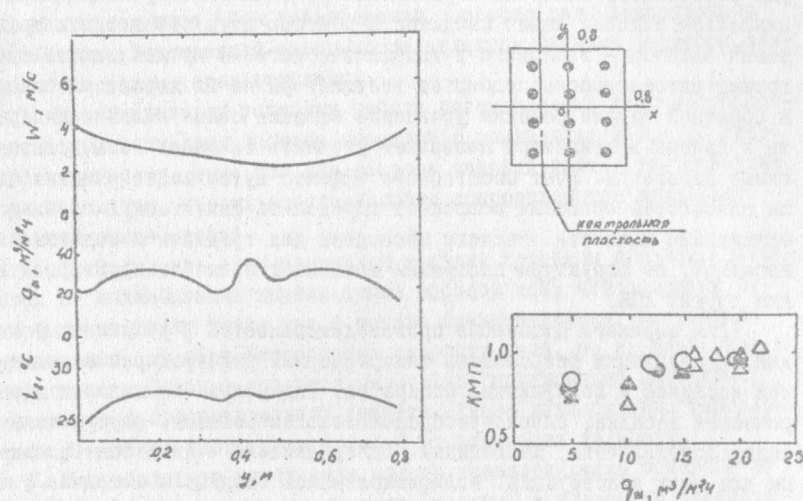


Рис.3. Влияние неравномерности потоков на температуру охлажденной воды в градирне ППН-50 и зависимость коэффициента масштабного перехода от плотности орошения. Профили характеристик даны для контрольной плоскости в поперечном сечении ППН-50.

Экспериментальные данные: Δ - ППН-50, \circ - ТК-4; результаты расчетов: \blacktriangle - ППН-50, \bullet - ТК-4.

Проявляется наиболее сильно при $q_m \leq 10 \pm 15 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$. Главная причина - неудовлетворительная работа форсунок при малых расходах:

уменьшение корневого угла факела, ухудшение дисперсности, появление неорошенных зон. Влияние же газового потока на масштабный эффект практически не проявляется до значений среднеквадратического отклонения локальных скоростей газа $0,4 \pm 0,5$ от средней скорости.

Прикладные результаты работы. Разработаны методики и реализованы на ЭВМ (язык ФОРТРАН) комплексные инженерные расчеты градирен с подвижной насадкой, позволяющие решать две задачи: прямую - определение параметров конструкции для заданных условий работы, и обратную - получение рабочих характеристик спроектированного или уже работающего аппарата в различных условиях эксплуатации. Принципиально решение задач сводится к решению двух независимых уравнений баланса - теплового и гидравлического. В прямой задаче программа автоматически подбирает вентиляторы по их характеристикам. В обратной задаче решение уравнения баланса сопротивления аппарата и напора вентилятора позволяет уточнить скорость газа и зависящие параметры. Учет масштабного эффекта путем моделирования поля плотностей орошения позволяет определить фактическую глубину охлаждения жидкости. Расчеты проведены для градирен с подвижной насадкой, но структура программы позволяет легко ее адаптировать для других АПН.

Для широкого диапазона производительностей и различных условий эксплуатации разработаны типоразмерный ряд градирен с подвижной насадкой и модификации аппаратов. Ряд узлов - подвижная сферическая насадка, опорно-распределительная решетка, форсуночный водораспределитель, жалюзийный каплеуловитель - являются базовыми для всех конструкций. Модифицировались входные и выходные узлы воздушного тракта для возможности установки градирен внутри помещений (ПН-8 и ПН-4), на транспорте (ТК-4), комплектации осевыми вентиляторами (ПН-300, М-500); предложена модификация, в которой реализуются интенсивные режимы работы, защищенная а.с. № 1437664.

Для контактного охлаждения воздуха в системах кондиционирования разработаны воздухоохладители производительностью 10 000 и 30 000 м³/ч, имеющие значительно меньшие габариты и металлоемкость в сравнении с охладителями других типов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Основными направлениями развития систем оборотного водоснабжения являются: децентрализация, уменьшение потерь воды вследствие уноса и утечек, экономия материальных и энергетических за-

трат, создание интенсивных, малогабаритных градирен, секционная компоновка воздухоохладителей большой производительности, создание типоразмерных рядов аппаратов полной заводской готовности, особенно в области большой единичной мощности.

2. Интенсивность тепломассообмена и режимы псевдооживления орошаемой сферической насадки, в основном, определяются удерживающей способностью слоя. Работа насадок, имеющих малую плотность и небольшое количество удерживаемой жидкости, происходит при неравномерном псевдооживлении, поршнеобразовании, с малыми коэффициентами переноса. При наличии значительного объема жидкости в слое насадок плотностью более 0,2 от плотности жидкости имеют место высокая турбулизация потоков с частичной инверсией фаз, высокие коэффициенты переноса. При варьировании скорости газа качественные изменения удерживающей способности являются главным фактором, влияющим на режимы псевдооживления.

3. При одинаковых условиях работы интенсивность тепломассопереноса слоя подвижных насадок плотностью, составляющей 0,2-1,0 плотности жидкости, выше, чем для насадок меньшей плотности. Основная причина в том, что их псевдооживление сопровождается начальной стадией захлебывания.

4. Захлебывание слоя подвижной насадки коренным образом отличается от захлебывания других типов насадок тем, что признаки захлебывания имеют место уже в начале псевдооживления, постепенно усиливаются по мере возрастания скорости газа, но не переходят в полное захлебывание аппарата вплоть до "прилипания" насадочных элементов к ограничительной решетке. Такое захлебывание наблюдается у насадок плотностью 0,2-1,0 от плотности жидкости.

5. Разработанная упрощенная модель псевдооживления основана на учете сил, действующих на элемент насадки, и позволяет рассчитывать динамическую высоту слоя насадки, скорость начала псевдооживления, влияние режимных и конструктивных факторов.

6. Разработанный метод учета масштабного эффекта в градирах, основанный на экспериментальном изучении распределения газового потока и математическом моделировании потока жидкости, обеспечивает возможность расчета реальной холодопроизводительности промышленных аппаратов ПН и анализ влияния на эффективность работы неравномерностей газа и жидкости.

7. Основной вклад в снижение эффективности тепломассообмена при увеличении размеров градирен с подвижной насадкой имеет неравно-

мерность орошения насадки потоком жидкости, которая проявляется тем больше, чем меньше плотность орошения. Главная причина - неудовлетворительная работа форсунок при низких расходах жидкости. Методом уменьшения масштабного эффекта является оптимизация расположения форсунок.

8. Разработанная модель взаимодействия газа и жидкости в канале жалюзийного сепаратора, основанная на применении уравнения движения вязкой жидкости и теории струй идеальной жидкости к жидкой пленке и газовому потоку, соответственно, показывает, что механизм образования вторичного уноса состоит, в основном, в срыве капель на перегибе пластин вследствие локального повышения скорости газа, что вызывает остановку поверхностного слоя пленки, приводящую к неустойчивому состоянию поверхности раздела фаз. Модель позволяет рассчитывать скорость газа, при которой начинается вторичный унос, в зависимости от геометрических параметров сепаратора и наметить путь расширения пределов работы жалюзийного сепаратора по скорости газа.

9. Разработанный метод улучшения улавливающей способности жалюзийного сепаратора, основанный на моделировании движения капель жидкости в его канале и учете скорости вторичного уноса, состоит в увеличении угла наклона пластин и уменьшении высоты ряда при соблюдении оптической плотности сепаратора и максимальной ширине канала.

10. Разработанная методика и алгоритм инженерного расчета градиента с подвижной насадкой, основанный на комплексном экспериментальном исследовании орошаемых подвижных насадок, моделях псевдооживления и движения потоков в сепараторе, учитывающие влияние масштабного эффекта, позволяет определить параметры конструкции аппарата для заданных условий работы, а также спрогнозировать рабочие характеристики спроектированного или работающего аппарата для различных условий эксплуатации. Алгоритм реализован в виде ЭВМ-программы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В РАБОТАХ

1. Анализ процессов тепломассопереноса в колонных аппаратах с подвижной насадкой /Дорошенко А.В., Кологривов М.М., Угольников Н.П., Грандов А.А. //Холодильная техника и технология. - Киев, "Техника", 1983. - Вып.36. - С.46-61.

2. Кологривов М.М., Грандов А.А., Губанов В.А. Гидродинамические особенности и тепломассоперенос при испарительном охлаждении в аппаратах с подвижной насадкой. Тезисы докладов Всесоюзной на-

учно-технической конференции "Современное состояние и перспективы развития кондиционирования воздуха на судах". - Николаев, 1984. - С.87-90.

3. Кологривов М.М., Губанов В.А., Грандов А.А. Структурные характеристики подвижного насадочного слоя в аппарате для обработки воды и воздуха //Тез.докл. Всес.конф. "Пути увеличения выпуска и сохранения качества пищевых продуктов". - М., 1984. - С.48-49.

4. Грандов А.А. Особенности задержки жидкости в тепломассообменном аппарате с подвижной насадкой //Тез.докл. УП Всес.конф. "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах". - Л., 1985. - С.223-225.

5. Грандов А.А., Угольников Н.П. Разработка и исследование градиента с подвижной насадкой для предприятий Минторга СССР //Тез.докл. Всес. науч.-практич.конф. "Интенсификация производства и применения искусственного холода". - Л., 1986. - С.18.

6. Грандов А.А., Дорошенко А.В. Интенсификация тепломассообмена в аппаратах с подвижной насадкой для холодильной техники //Тез.докл. Всес. науч.-практич.конф. "Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса". - М., 1987. - С.63.

7. 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.

8. Дорошенко А.В., Нянкина Е.Е., Грандов А.А. Моделирование на ЭВМ работы форсуночных распределителей жидкости и расчет рабочих характеристик аппаратов с подвижной насадкой //Первая национальн. конф. с международным участием "Приложение на псевдокипящий слой и флундизированные системы в хранительно-вкусовых и биотехнологических промышленности". - НРБ, г.Пловдив, 1989. - С.20-21.

9. Комплексный расчет тепломассообменных аппаратов с оптимизацией распределителя жидкости /Грандов А.А., Дорошенко А.В., Нянкина Е.Е., Яцкарь И.Я. // УП Всес. науч.-технич.конф. "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах". - Л., 1990. - Т.4. - С.42-44.

10. Грандов А.А., Нянкина Е.Е., Дорошенко А.В. Метод расчета жалюзийных сепараторов //Известия высших учебных заведений. Сер.: Энергетика. - 1991. - № 6. - С.97-99.

11. А.с. № 1437664 (СССР). Способ охлаждения воды /Одесск.технолог. ин-т холод. пром-сти; авт. изобрет. Грандов А.А., Дорошенко А.В., Осичко Н.П., Ильин Н.А. (СССР). - № 3996380 / 24 - 06; Заявл. 23.12.85; Оpubл. В Б.И., 1988, № 42.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ПН - подвижная насадка; ГПН - градирия с подвижной насадкой;
 4ρ - сопротивление, потери напора, Па; H - высота, м; ρ - плот-
 ность, кг/м³; W - скорость газа, м/с; W'_0 - скорость начала псев-
 дооживления орошаемой ПН, м/с; q_m - плотность орошения, м³/м²ч;
 G - расход, кг/с; g - ускорение свободного падения, м/с;
 локальный расход, кг/с; α - угол между пластиной каплеуловителя
 и направлением потока газа, входящего в сепаратор, рад.; ν - ки-
 нематическая вязкость, м²/с; F - площадь, м²; δ - толщина плен-
 ки жидкости, мм; K_h - коэффициент тепломассопередачи, кг/см²;
 d - диаметр, м; $Nu_D = \frac{K_h d_{ш}}{\rho_r \varphi_{H_2O}}$ - число Нуссельта диффузное;
 $Re_r = W d_{ш} / \nu_r$ - число Рейнольдса для газа; $Re_m = q_m d_{ш} / 3600 \nu_m$ -
 число Рейнольдса для жидкости; $Az_m = \frac{d_{ш}^3 g}{\nu_m^2} \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_g}\right)$ - число
 Архимеда для жидкости.

Индексы

$ап$ - аппарат; $вент$ - вентилятор; $ш$ - шар; $ж$ - жидкость; $г$ - газ;
 $к$ - критическая, капля; $кр$ - критическая вторичного уноса;
 $з$ - захлебывание; $ст$ - статическая; $д$ - динамическая; $сз$ - сепа-
 рационная зона; $сеп$ - сепаратор; $рз$ - рабочая зона; $кф$ - кон-
 такт фаз; $ку$ - каплеунос; 1 - вход потока; 2 - выход потока.

Лен

xv 973

