

УДК 629.12.03

Долинский А.А., Рыжков С.С.,
Гартвиг А.П.*Институт технической теплофизики НАН Украины*

РАЗРАБОТКА ТЕРМОФОРЕТИЧЕСКОГО КАПЛЕУЛОВИТЕЛЯ ДЛЯ ИСПАРИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено термофоретичний каплевловлювач продуктивністю 700...1500 м³/ч для випарювально-сушильних агрегатів. Застосування конструкції неізо-термічного каплевловлювача дозволяє уловлювати частинки, включаючи частинки конденсаційного походження менш ніж 20 мкм, а також пару речовин.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан термофоретический каплеуловитель производительностью 700...1500 м³/ч для испарительно-сушильных агрегатов. Применение конструкции неизо-термического каплеуловителя позволяет улавливать частицы, включая частицы конденсационного происхождения менее 20 мкм, а также пары веществ.

On the basis of our theoretical and experimental investigations, a thermophoretic scrubber with a productivity of 700...1500 m³/h for evaporating-drying units has been developed. Application of the design of the nonisothermal scrubber enables one to catch particles, including those of condensation origin, less than 20 microns, and also vapors.

Введение

В настоящее время в технологиях распылительной сушки в качестве одного из главных ресурсосберегающих элементов используют каплеулавливающие устройства, которые возвращают уносимый потоком в капельном и парообразном виде рабочий раствор обратно в цикл. В существующих сушильных агрегатах используется система мокрых циклонов, которые обладают недостаточной эффективностью очистки и не улавливают капли менее 20 мкм и пары веществ. Повышение эффективности улавливания капель менее 20 мкм в испарительно-сушильных агрегатах позволит экономить ценные материалы и повысить их экологическую чистоту.

В данной работе приведены результаты разработки высокоэффективного термофоретического каплеуловителя для испарительно-сушильных агрегатов.

Методы исследования

Для отработки термофоретического каплеуловителя создан специальный экспериментальный стенд, который представлял собой аэродинамическую трубу открытого типа, снабженную сред-

ствами измерения, регулировки и контроля (рис. 1). Для исследования осаждения капель в сушильных установках выбиралась модельная дисперсная двухфазная среда, которая соответствовала параметрам и характеристикам (вязкости и плотности) аэрозольных сред в сушильном оборудовании. Модельная среда содержала грубодисперсные капли яблочного сока диаметром 20...200 мкм и капли менее 20 мкм, включая капли конденсационного происхождения и пары. Для этого использовались специальные генераторы как грубодисперсного, так и высокодисперсного аэрозоля, представляющие собой подогреваемые камеры с распылительными форсунками.

Модельная двухфазная среда создавалась следующим образом. Воздух через расходомерный коллектор 5 поступал в нагреватель 6, где его температура повышалась до 100 °С. Затем нагретый воздух направлялся в генератор крупных частиц 2. Здесь воздушный поток разделялся заслонкой на два потока в различных пропорциях. Один из них выходил из трубы 4 и направлялся к выходному патрубку, а второй под перфорированный лист барботажной камеры 3. Камера была заполнена соком и расположена в нижней части гене-

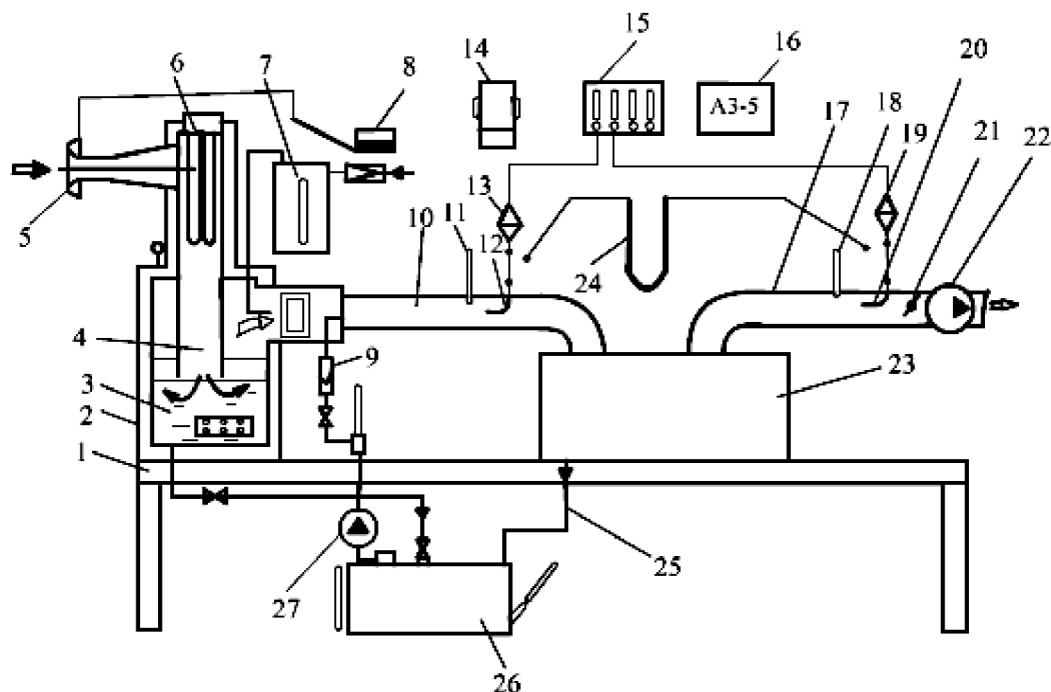


Рис. 1. Схема экспериментального стенда с модельной средой. Обозначения элементов в тексте.

ратора. Внутри камеры были установлены электрические подогреватели. Воздух проходил барботажную камеру, вспенивал нагретый сок и насыщался его парами и каплями и образовывал аэрозольную среду. Концентрация и дисперсность жидкой фазы зависела от расхода и скорости воздуха, проходящего через барботажную камеру. Расход воздуха регулировался заслонкой 21, расположенной перед нагнетателем 22. В выходном участке камеры была расположена форсунка подачи сока насосом 27 из бака 26. При этом расход сока контролировался ротаметром 9. Это позволяло создавать повышенные (до $1,0 \text{ кг/м}^3$) концентрации сока в воздухе. Высокодисперсный аэрозоль конденсационного типа (со средним диаметром капель $0,3...0,35 \text{ мкм}$) подавался в выходной участок из генератора 7. Через выходной участок камеры смесь воздуха и сока поступала в измерительный участок 10. В участке 10 имелись инерционный зонд 11, пробозаборник в виде трубки полного давления 12 и пробоотборник 13. За участком располагался исследуемый каплеуловитель 23, входной патрубком которого соединялся с измерительным участком 10. Выходной патрубком очистителя присоединялся к измерительному участку 17, в котором также имелся инерционный зонд 18 и пробоотборник

20. Перепады давлений на коллекторе 6 и сопротивление каплеуловителя измерялись микроманометрами 8 и 24. Для измерения концентрации сока в воздухе использовался аспиратор 15 с аллонжами 13, 19 и торсионные аналитические весы 14.

Дисперсный состав капель определяли при помощи инерционных зондов 11 и 18, а также счетчика частиц АЗ-5 -16 и фотометра аэрозолей типа ФАН У4.2. Осажденные на зондах частицы изучали при помощи микроскопа с увеличением в 300 раз и фотографированием с последующим анализом результатов с помощью методов математической статистики. Испытуемый каплеуловитель устанавливался на жесткое основание 1, где также закреплялся генератор 2. Уловленный сок сливался в бак 26, имевший мерную линейку. Для определения концентрации частиц использовались аналитические фильтры АФА. Также в процессе испытаний определялось количество уловленного очистителем сока по изменению уровня сока в баке 26, куда оно поступало по трубе 25.

Расход высокодисперсного аэрозоля из генератора 7 регулировался количеством подаваемого в него сжатого воздуха низкого давления. Наличие двух генераторов аэрозоля 2, 7 и

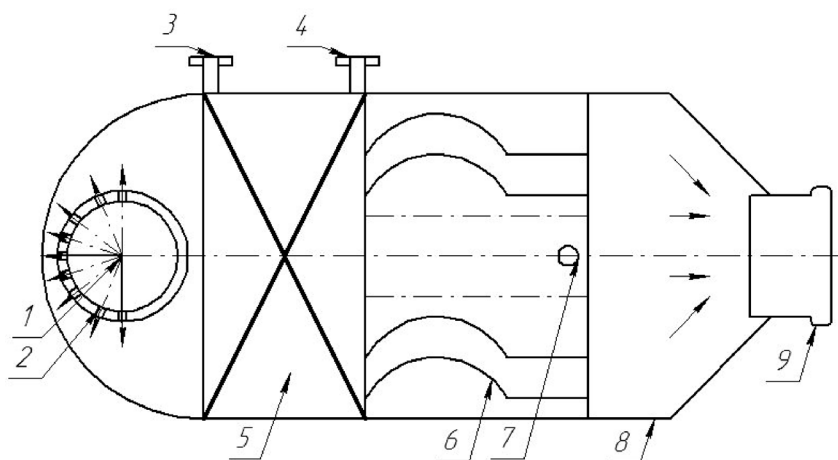


Рис. 2. Схема неизотермического каплеуловителя для испарительно-сушильного агрегата.
 1 – входной патрубок; 2 – система сопел; 3 – патрубок подвода охлаждающей воды; 4 – патрубок отвода воды; 5 – неизотермический коагулятор; 6 – пакет профилей; 7 – патрубок слива; 8 – корпус; 9 – выходной патрубок.

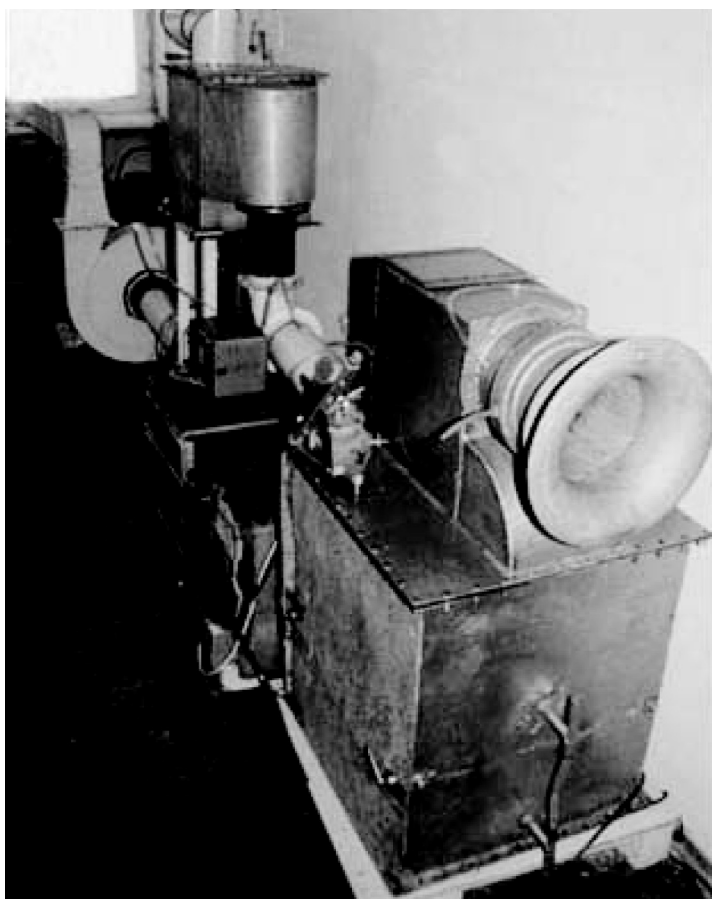


Рис. 3. Экспериментальный стенд каплеуловителя для сушильно-испарительных установок с неизотермическим сеточным плоским коагулятором.

форсунки распыла 9 позволяло образовывать при перемешивании с горячим воздухом двухфазную среду с параметрами, соответствующими параметрам испарительно-сушильных агрегатов.

Целью стендовых испытаний являлось определение зависимости коэффициентов очистки (суммарного и фракционного) от аэродинамического сопротивления очистителя, расхода среды и ее температуры.

Результаты исследований

На основе ранее проведенных исследований и расчетов [1–4] была разработана комплексная схема интенсификации термофоретического переноса частиц в системе очистки, на основе которой создана конструкция неизотермического каплеуловителя для модернизации испарительно-сушильных аппаратов (см. рис. 2).

Неизотермический каплеуловитель работает следующим образом. Очищаемая среда через входной патрубок поступает в раздатчик газа, откуда после разгона в системе сопел 2 в виде струй направляется на пластину U – образной формы, где происходит инерционное осаждение капель на внутренней поверхности корпуса, их слияние с образованием пленки. Пленка под воздействием силы тяжести и потока транспортируется вниз к пат-

рубку слива 7. Из нижней части выходной камеры жидкость удаляется через патрубок слива 6. Низкоинерционные частицы поступают в неизотермический сеточный коагулятор 5, где осаждаются за счет градиента температур, пульсаций скорости и инерции с коагуляцией осажденных частиц за счет капиллярных сил [5]. Выносимые потоком укрупненные капли попадают в пакет волнообразных профилей, где происходит инерционное осаждение. Выходные пластины профилей содержат вертикальные отводящие канавки, через которые отводится жидкость, уловленная на волнообразной части профилей. Использование пакета профилей существенно снижает габариты каплеуловителя и расширяет возможный интервал расходов газа. Уловленная жидкость стекает в поддон газоочистителя и удаляется из его корпуса через отводной патрубок. Очищенный воздух направляется в выходную камеру, а из нее в отводящий патрубок 9.

Для подтверждения эффективности работы каплеуловителя был изготовлен опытный образец, рассчитанный на расход воздуха 1000...1500 м³/ч. Его фотография на стенде дана на рис. 3. Результаты стендовых испытаний каплеуловителя представлены в таблице. Установлено, что коэффициент суммарной эффективности превысил 99,7% при входных концентрациях от 0,1 до 1 кг/м³. Потери из-за уноса микрокапель на расчетном

режиме 1500 м³/ч составили не более 60 г/ч при охлаждении коагулятора вместо 115 г/ч для случая без охлаждения. Аэродинамическое сопротивление составило 1,8...3,0 кПа в интервале расходов от 900 до 1500 м³/ч.

Перспективы использования неизотермического каплеуловителя испарительно-сушильных агрегатов

В настоящее время одними из наиболее эффективных сушильных установок являются [6–8]:

- ◆ испарительно-сушильные агрегаты (АИС);
- ◆ распылительно-сушильные агрегаты (АРСЧ -200);
- ◆ испарительно-сушильные агрегаты с рециркуляцией (ИСАР -700);
- ◆ распылительные сушильные установки для трудносохнущих материалов (с низкой температурой размягчения).

Замена блока мокрых циклонов из 6 штук на разработанный неизотермический каплеуловитель позволит улавливать до 99,7 % частиц в потоке (в том числе капли менее 3 мкм), снизить энергозатраты, тем самым повысить экологические и ресурсосберегающие показатели.

Таблица. Результаты стендовых испытаний неизотермического каплеуловителя для сушильных установок без охлаждения сеточного коагулятора из 50 рядов сетки, диаметр проволоки 0,1 мм

Расход воздуха, м ³ /ч	Наличие охлаждения коагулятора	Концентрация сока на входе, кг/м ³	Коэффициент суммарной эффективности, %	Аэродинамическое сопротивление, кПа	Температура смеси, °С	Концентрация на выходе, кг/м ³
1200	без	0,2...1,0	97,3	1,8	90	115·10 ⁻⁶
1400	без	0,2...1,0	97,3	2,4	90	116·10 ⁻⁶
1500	без	0,2...1,0	97,4	2,9	90	115·10 ⁻⁶
1200	20 °С	0,2...1,0	99,6	1,8	90	80·10 ⁻⁶
1400	20 °С	0,2...1,0	99,7	2,4	90	75·10 ⁻⁶
1500	20 °С	0,2...1,0	99,7	2,9	90	60·10 ⁻⁶

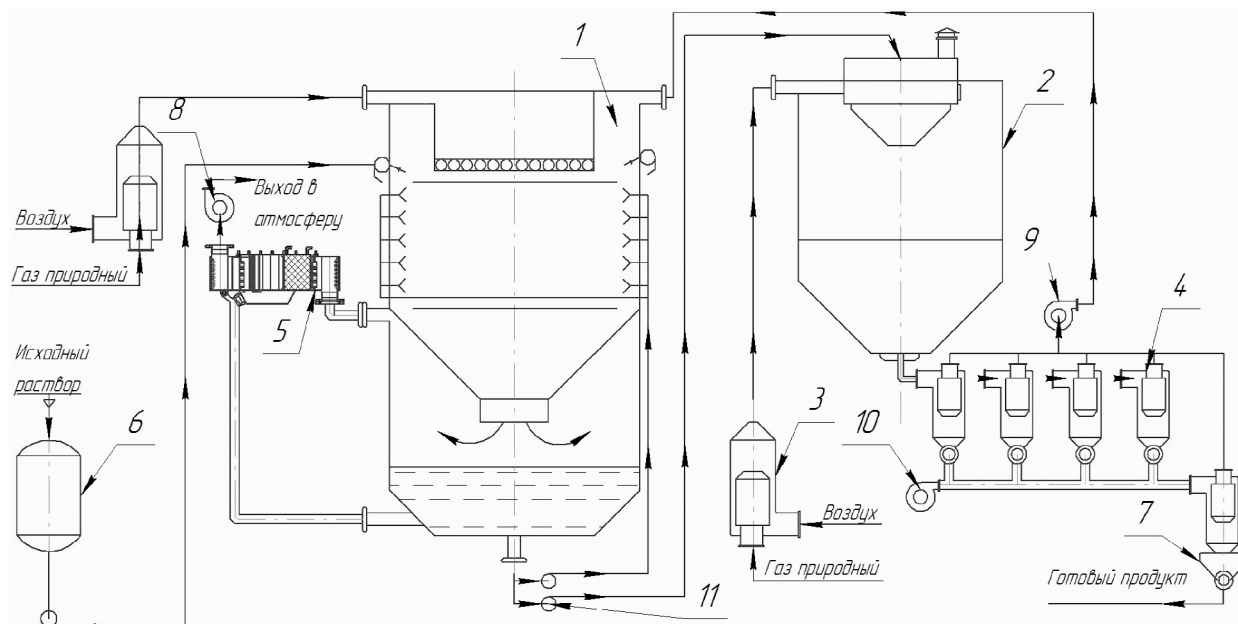


Рис. 4. Схема испарительно-сушильного агрегата с рециркуляцией с каплеуловителем с плоским гофрированным изотермическим коагулятором. 1 – испарительная камера; 2 – сушильная камера; 3 – теплогенератор; 4 – система сухих циклонов; 5 – модернизированный каплеуловитель; 6 – расходная емкость; 7 – разделительный циклон; 8, 9, 10 – вентилятор; 11 – насос.

Применение агрегата каплеуловителя с изотермическим коагулятором позволит перевести на безотходную технологию производство некоторых продуктов микробиологического синтеза.

Также перспективно внедрение созданного каплеуловителя в распылительно-сушильных агрегатах (рис.4), предназначенных для производства сухого концентрата чая, а также для концентрирования и сушки других высоковлажных термочувствительных растворов. Схема установки может быть дополнена барьером стерильности (испарительно-сушильные агрегаты), что позволит обезвоживать в стерильных условиях высоковлажные термочувствительные растворы медицинских препаратов.

Выводы

Разработана и испытана конструкция изотермического каплеуловителя для испарительно-сушильных агрегатов, которая позволяет улавливать частицы менее 20 мкм, включая частицы конденсационного происхождения и пары ве-

ществ. Ее применение повысит эффективность выделения продукта до 5...7 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басок Б.И., Рыжков С.С. Исследование влияния температуры на процесс улавливания высокодисперсных частиц аэрозоля в гладком канале // Промышленная теплотехника. – 2006. – №3. – С. 141–145.
2. Басок Б.И., Рыжков С.С. Экологические ресурсосберегающие технологии для промышленной теплотехники на основе дисперсных двухфазных сред // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, №4. – С. 141–145.
3. Басок Б.И., Рыжков С.С. Термофоретическая очистка воздуха в энергетическом оборудовании. // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, №5. – С. 45–50.
4. Басок Б.И., Рыжков С.С. Экспериментальная установка для исследования процессов утилизации дисперсных частиц в двухфазном потоке // Промышленная теплотехника. – 2006. №4. – С. 141–145.

5. Басок Б.И., Рыжков С.С. Исследование характеристик дисперсного двухфазного потока в неизотермическом плоском сеточном коагуляторе // Экотехнологии и энергосбережение Международный научно – прикладной журнал. – 2006. – № 3. – С.47–49.

6. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Внутренние процессы переноса и их влияние на оптимизацию распылительной сушки // Промышленная теплотехника. – 1979. – №1. – С. 57–65.

7. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Оптимизация процессов распылительной сушки. – К.: Наук. думка, 1984. – 240 с.

8. Снежкин Ю. Ф., Боряк Л. А., Хавин А.А. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов. – К.: Наук. думка, 2004. – 29 с.

Получено 07.09.2006 г.