

УДК 532.529:533.6

И. И. Петухов канд. техн. наук.,  
 В. Г. Селиванов канд. техн. наук.,  
 А. Ф. Минеев,  
 Ю. В. Шахов,  
 В. Ш. Эрсмамбетов канд. техн. наук.

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМ И РАЗНОФАЗНЫХ СТРУИНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

В технологии утилизации отходов и вторичных ресурсов, при переработке сельскохозяйственной продукции процессы энергообмена зачастую реализуют либо при низких скоростях контактирующих потоков либо в сложных машинных агрегатах, например турбодетандерах. Это увеличивает габариты и стоимость установок. Кроме того далеко не всегда используется располагаемая работа потока. Эти недостатки в значительной мере устраняются в струйных аппаратах /1,2/ и волновых обменниках давления /3/. Их более широкое использование возможно на основе детального анализа существующих методов переработки при условии достаточно точного описания рабочего процесса указанных устройств.

В технологии переработки молока и других жидких смесей широко распространены процессы нагрева и охлаждения, которые чаще всего реализуются в рекуперативных теплообменниках /4,5/. В них не предъявляются высокие требования к чистоте греющего пара, сравнительно просто реализуется регенерация теплоты между потоками сырого и термообработанного продукта, разделенными твердой поверхностью. Однако габариты и масса конструкции весьма велики, вследствие малой скорости движения и повышенной температуры греющей поверхности возможно отложение на стенках осадка, образование пригара. Вследствие большой массы велики энергозатраты на разогрев конструкции.

Пароконтактные нагреватели лишены указанных недостатков. Малая их масса (в 30...100 раз меньше по сравнению с рекуператорами) позволяет монтировать их в разьеме трубопровода. В них нет обслуживаемых мест уплотнения, исключается трубопровод для отвода конденсата, обеспечивается интенсивное перемешивание с частичной гомогенизацией продукта. За счет высокой скорости нагрева, составляющей более 800 К/с, в пароконтактных подогревателях можно обеспечить режим ультравысокотемпературной термообработки, наиболее выгодный с точки зрения сохранения исходных потребительских

свойств молока /4,5/. При надлежащем профилировании проточной части пароконтактные подогреватели могут работать при абсолютном давлении пара ниже 0,13 МПа, а при давлении пара выше 0,2 МПа обеспечивают приращение полного давления подогреваемой жидкости.

Недостаток пароконтактных нагревателей, связанный с разжижением молока, проявляется только при значительном его нагреве. В случае повышения температуры молока на 20 К расход пара составляет около 3% расхода молока. Доля сухого молочного остатка после нагрева уменьшается на 0,3%, что значительно ниже ее сезонных и других естественных колебаний.

Более сложным препятствием на пути использования пароконтактного нагрева для питьевого молока является чистота инжектируемого пара. В качестве основных загрязнителей пара называют пары масел и соли, содержащиеся в котловой воде /6/. Однако первый из факторов может сказываться только при высоких (более 1 МПа) давлениях пара, когда заметным становится парциальное давление масла. Соли попадают в пар с уносимой из котла влагой. Уменьшение ее содержания за счет дополнительной очистки пара в циклонах перед его инъекцией в молоко широко используется в установках с пароконтактным нагревом /5/. Для очистки от механических примесей наряду с циклонами используются и пористые фильтры. Учитывая, что доля инжектируемого пара составляет 2...4 % от расхода молока, можно рассчитывать в перспективе на положительное решение вопроса о разрешении пароконтактного способа нагрева не только для обратного, но и для питьевого молока.

Выполненные исследования подтвердили изложенные преимущества струйных подогревателей жидкости (СПЖ). При этом разработанные модели расчета достаточно точно описывают характеристики СПЖ (рис. 1). Его работоспособность подтверждена при испытаниях на Харьковском ГМЗ N1 в составе пастеризационно-охладительной установки ОП2-У15 при пастеризации обратного. Указанный СПЖ массой около 6 кг без каких-либо изменений в системе автоматического регулирования режима пастеризации заменял трубчатый пастеризатор ПТУ-10 массой более 500 кг. Нагрев молока составлял 10...25 К.

Низкие давления пара на входе данного СПЖ (см. рис. 1) объясняются тем, что он спроектирован для работы в составе предложенного авторами и находящегося на стадии отработки блока струйных аппаратов. Наряду с нагревом здесь реализуется также быстрое охлаждение молока за счет частичного его испарения. Это позволяет обеспечить регенерацию теплоты и снизить расходы греющего пара и ледяной воды в существующих пастеризационных установках на 10...30%

( в зависимости от температуры пастеризации ).

Для работы только в качестве пастеризатора применительно к установке типа ОП2-У15 спроектирован другой СПЖ, работающий при более высоком давлении пара на входе, но при значительно меньшем давлении молока (рис. 2). Его габариты 320x80x120 мм, масса 3,6 кг.

Струйные аппараты с газожидкостными рабочими телами обеспечивают эффективное смешение газа и жидкости с развитой поверхностью их контакта, что позволяет интенсифицировать процессы флотации загрязненных вод, экстракцию вредных веществ растворенными в воде газами, пылеподавление в технологических процессах горнорудной промышленности.

В результате выполненных в ХАИ исследований разработаны методики расчета достижимых параметров и профилирования проточной части струйных аппаратов для указанных технологических процессов. Методика расчета жидкостно-газового струйного компрессора (ЖГСК) основана на использовании модели прямого скачка уплотнения в двухфазном потоке и не содержит, в отличие от известных методик расчета таких аппаратов /7,8/ чисто эмпирических зависимостей. В обычно встречающемся диапазоне режимных параметров она согласуется с результатами расчета /7,8/ (рис. 3) и может быть распространена на режимы, с низкими значениями потребных коэффициентов инжекции  $u = \text{mg/ml}$ , (  $\text{mg}$  - расход газа,  $\text{ml}$  - расход жидкости ). Последние характерны для работы ЖГСК в системе очистки сточных вод, одна из схем которых разработана авторами /9/.

Созданный на кафедре теплфизических основ двигателестроения ХАИ водо-воздушный стенд позволяет исследовать и отрабатывать ЖГСК и вакуумные жидкостно-газовые эжекторы при расходе воды до 10 кг/с и ее давлении до 1.5 МПа. Массовый расход воздуха до 0.4 кг/с при давлении до 0.6 МПа. Для детального исследования спроектирована и изготовлена экспериментальная модель ЖГСК с прозрачной проточной частью с целью апробации методов проектировочного расчета аппарата и расчета его характеристик.

Проведение взрывных работ на местности, в частности при разработке месторождений открытым способом, сопровождается значительными пылевыми выбросами, негативно влияющими на экологическую обстановку. Совместно с НИИ Курской магнитной аномалии для пылеподавления в зонах взрывов предложено использовать высокоскоростные мелкодисперсные потоки, генерируемые выхлопным трактом ВРД /10/. Вода вводится перед реактивным соплом, образуется газожидкостная смесь, при истечении которой из сопла происходит интенсивное дробление ее на капли газовым потоком. При этом существенно

возрастает импульс истекающего потока, что способствует возрастанию его дальности. Путем соответствующей ориентации ВРД над зоной взрыва создается облако мелкодисперсной влаги, поглощающее пыль.

Проанализированы существующие и предложены новые /10/ схемы систем пылеподавления с указанным принципом действия. Выполнено профилирование проточной части выхлопного тракта турбореактивного двигателя РД-3М-500, предварительные испытания которого осуществлены на Михайловском горно-обогатительном комбинате. Предложенный метод расчета и профилирования тракта ВРД позволяет существенно улучшить характеристики систем пылеподавления. В частности, расход орошающей воды можно сократить на порядок, увеличив одновременно дальность струи в 1,2 раза ( по отношению к аналогичным характеристикам существующих установок того же назначения ). Для реализации рассмотренного метода пылеподавления может использоваться отработавший летный ресурс ВРД.

Особенностью создаваемых в ХАИ пневмотранспортных систем (ПТС) является ориентация на эжекторные установки, пневмотранспорт материалов в которых осуществляется за счет энергии сжатого воздуха с давлением 0,4-0,7 МПа. Трубопроводный пневмотранспорт сегодня один из наиболее дешевых способов выполнения погрузочно-разгрузочных работ и перемещения сыпучих материалов на расстояния порядка нескольких десятков метров. Преимущества ПТС перед механическими транспортными системами (ленточными конвейерами, транспортерами и т.п.) очевидны - это отсутствие потерь материала при транспортировке, простота монтажа и эксплуатационного обслуживания, снижение финансовых затрат. Положительные черты эжекторных ПТС - отсутствие контакта перемещаемых материалов со сжатым воздухом и отсутствие пылевых выбросов в окружающую среду позволяют использовать эжекторные ПТС при повышенных требованиях к чистоте и влажности транспортируемых материалов (например, зерна и зернопродуктов, полимерного сырья), а также в экологически чистых производствах.

На основе разработанных в ХАИ расчетных моделей определены потери давления в трубопроводах ПТС при транспортировании зерна, зернопродуктов и полимерных материалов, область рабочих режимов и параметры эжекторной ПТС повышенной производительности и дальности, найдены эффективные конструкторские решения ее элементов и узлов. Технические данные созданной эжекторной пневмотранспортной установки. принцип работы - вакуумно-эжекторный, установка работает от сжатого воздуха с давлением 0,4-0,7 МПа; транспорти-

руемые материалы - зерно и зернопродукты, гранулированные и дробленые полимеры (полистирол, полиэтилен) с размерами частиц 1-10 мм, дальность подачи - 70 метров, производительность подачи - не менее 10 кг матер/нм<sup>3</sup>.

Повышение объема газодобычи может быть осуществлено путем утилизации газа низконапорных скважин. Применение в этих условиях обычных установок низкотемпературной сепарации, основанных на эффекте дросселирования, не позволяет осуществить переработку газа без предварительного сжатия ввиду низкого давления в скважине. Применение турбокомпрессоров имеющих высокую (около 100000 об/мин) частоту вращения ротора, резко снижается надежность и увеличивает эксплуатационные расходы, делая эксплуатацию низконапорных скважин нерентабельной.

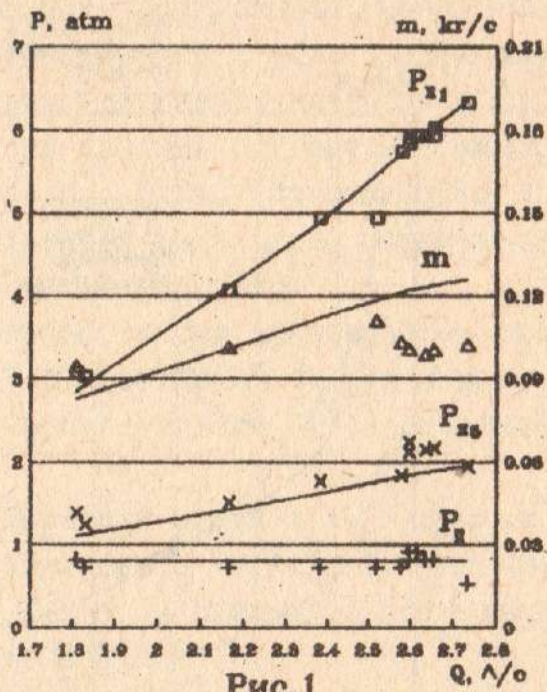
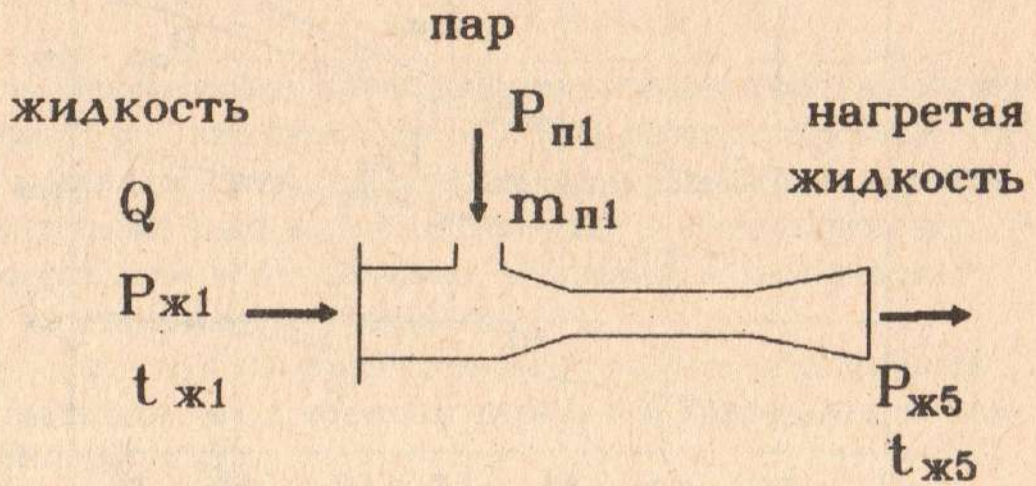
Для утилизации газа низконапорных скважин или факельного, а также в установках переработки и подготовки газа к транспорту возможно использование волнового обменника давления (ВОД), выполняющего функцию турбокомпрессора. Принцип действия ВОД также основан на непосредственной передаче энергии от одного потока газа к другому, но с помощью волн сжатия и разрежения. Он позволяет осуществить эффективное расширение газа, выделение конденсата, а затем сжатия части газа до первоначального давления или всего потока газа до меньшей величины.

При этом он имеет частоту вращения на порядок меньшую, чем турбокомпрессор той же производительности, а его КПД при начальном давлении 5 МПа и расширении до 1,6 МПа составляет 0,73 по сравнению с 0,77 для турбокомпрессора. Поскольку ресурс подшипников обратно пропорционален частоте вращения, то надежность волнового обменника давления выше, а эксплуатационные расходы ниже. Это делает целесообразным использование волнового обменника давления в установках переработки газа из маломощных скважин, которых много на Украине, для газификации сельских местностей.

В ХАИ накоплен большой опыт в создании волновых обменников давления, разработана математическая модель, проведены стендовые испытания. Расчетным путем определены рациональные режимы работы ВОД в установках низкотемпературной сепарации газа. В настоящее время проводятся опытные промышленные испытания и внедрение установки с ВОД, созданной на основе совместных разработок ХАИ и ВНИИГАЗа, для переработки природного газа на Сосногорском газоперерабатывающем заводе. Разрабатывается проект установки добычи природного газа.

## Литература

1. Матвеевко П. С., Стабников В. Н. Струйные аппараты в пищевой промышленности. - М.: Пищевая промышленность, 1980. - 224 с.
2. Дыменко С. К., Петухов И. И. и др. О применении струйного парожидкостного сепарационного насоса для осуществления рециркуляции криогенных жидкостей - в кн.: Газотермодинамика многофазных потоков в энергоустановках. Харьков, 1979, вып. 2, с. 31...35.
3. Бобров Д. М., Лаухин Ю. А., Эрсмамбетов В. Ш. Генераторы холода на базе волновых обменников давления. Газовая промышленность, 1993, №1, с. 30-31.
4. Технология молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб; Э. К. Диланян и др. - М.: Агропромиздат, 1991. - 463 с.
5. Золотин Ю. П. Стерилизованное молоко. - М.: Пищевая промышленность, 1979. - 158 с.
6. Колосков С. П., Комаров А. Ф. Подготовка воды в пищевой промышленности. - М.: Пищепромиздат, 1959.
7. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 382 с.
8. Ефимочкин Г. И., Коренков Б. Е. Методика расчета водовоздушного эжектора с удлиненной цилиндрической камерой смешения // Теплоэнергетика, 1976, № 1, с. 84...86.
9. Соплежков К. И., Дябло В. В., Селиванов В. Г. и др. Устройство для очистки сточных вод. Положительное решение ВНИИГПЭ о выдаче патента по заявке N 4848156/26/075359 от 28.05.1991 г., 3 с.
10. Кобрин В. И., Романенко В. В., Селиванов В. Г. Устройство для газопылеподавления в карьерах. Положительное решение ВНИИГПЭ о выдаче патента по заявке N 4918031/10/ от 22.11.1991 г., 3 с.



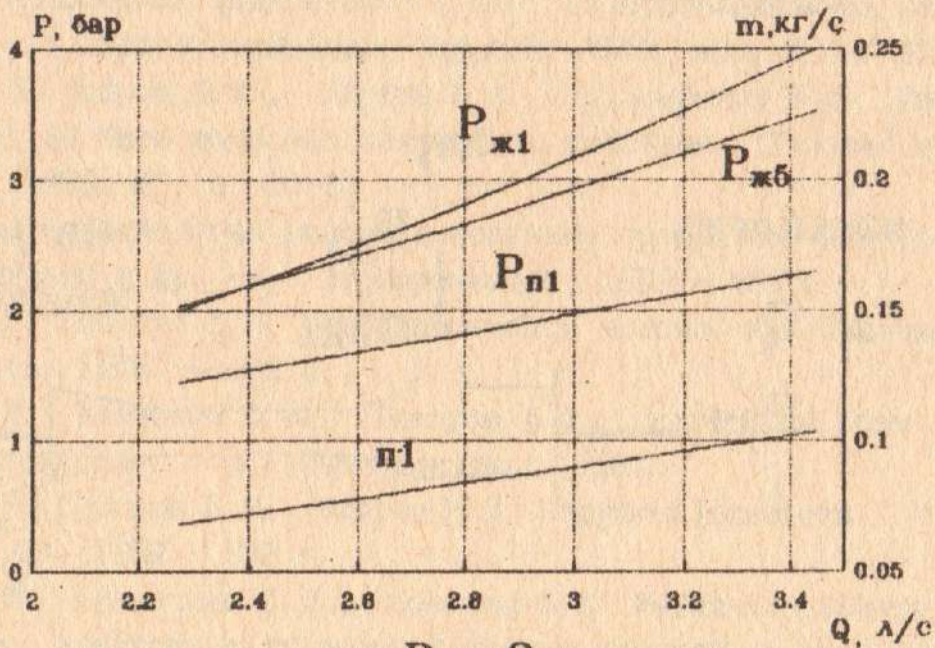


Рис.2

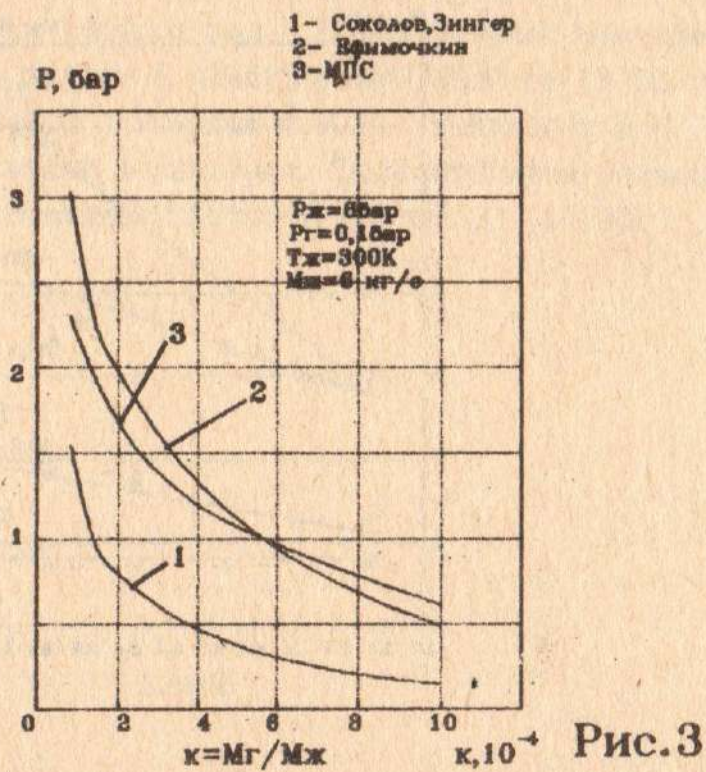


Рис.3