

Агаев Кирилл Эдуардович, аспирант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств факультета техники пищевых производств Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, e-mail: kirillmedvedev87@mail.ru;

Новосёлов Александр Геннадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов пищевых производств факультета техники пищевых производств Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, e-mail: dekrosh@mail.ru;

Десяткин Юрий Владимирович, магистр кафедры процессов и аппаратов пищевых производств факультета техники пищевых производств Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, e-mail: 100.roubley@mail.ru;

Дугнист Анна Владимировна, аспирант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств факультета техники пищевых производств Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, e-mail: anna-dugnist@yandex.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ УНОСА ГАЗА ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ В ТРУБЫ КОЖУХОТРУБНОГО СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННОГО АППАРАТА (КСИА) (рецензирована)

Исследован унос газа воднозерновой суспензией в трубы КСИА. Приведена графическая зависимость расхода газа от расхода смеси. Получено эмпирическое выражение для определения уносимого газа двухфазной средой.

Ключевые слова: кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат (КСИА), унос газа, двухфазный поток, воднозерновая суспензия, жидкость-твёрдые частицы.

Agayev Kyrill Eduardovich, post graduate student of the Department of The Processes and Machines of Food Production of the Faculty of Food Production Technology, St. Petersburg State University of Low-temperature and Food Technologies, e-mail: kirillmedvedev87@mail.ru;

Novoselov Alexander Gennadievich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of The Processes and Machines of Food Production of the Faculty of Food Production Technology, St. Petersburg State University of Low-temperature and Food Technologies, e-mail: dekrosh@mail.ru;

Devyatkin Yuri Vladimirovich, Master of the Department of The Processes and Machines of Food Production of the Faculty of Food Production Technology, St. Petersburg State University of Low-temperature and Food Technologies, e-mail: 100.roubley@mail.ru;

Dugnist Anna Vladimirovna, post graduate student of the Department of The Processes and Machines of Food Production of the Faculty of Food Production Technology, St. Petersburg State University of Low-temperature and Food Technologies, e-mail: anna-dugnist@yandex.ru.

INVESTIGATION OF GAS TAKING -AWAY BY TWO-PHASE GAS FLOW INTO THE PIPES OF JACKET-TUBULAR JET INJECTION APPARATUS (JJIA) (reviewed)

Entrainment of gas water-wheat suspension gas into the pipes of JJIA has been studied. Graphic shows the dependence of the gas flow rate of the mixture. The empirical expression for the determining the entrained gas by two-phase medium has been obtained.

Keywords: shell-jet-injection device, gas entrainment, two-phase flow, water and wheat suspension, liquid, solid particles.

Разработка высокоинтенсивных тепло-массообменных аппаратов для пищевой, химической и микробиологической отраслей промышленности представляет одну из главных задач в деле повышения рентабельности этих производственных предприятий и снижения себестоимости выпускаемой ими продукции.

Известно, что в вышеупомянутых отраслях промышленности, особенно в микробиологической отрасли (дрожжевые, спиртовые и пивные заводы) процессы аэробного и анаэробного культивирования микроорганизмов и их аппаратурное оформление во многом определяют суточную производительность технологических линий производства и энергопотребление.

В настоящее время ведутся научные исследования по последовательному проведению трёх стадий технологического процесса производства этилового спирта в кожухотрубном струйно-инжекционном аппарате (КСИА) [1]. В данном случае в КСИА предполагается проведение механико-ферментативной обработки водно-зерновой суспензии, осахаривания и сбраживания суслу микроорганизмами. Несмотря на принципиальное различие этих трёх стадий с точки зрения технологических целей можно констатировать и их принципиальное сходство с

точки зрения проводимых процессов, а именно, процессов тепло- и массообмена в трёхфазной среде (газ–жидкость–твёрдая фаза).

Предварительные исследования дали положительные результаты по использованию этой конструкции как для проведения процессов теплообмена (механико-ферментационная обработка водно-зерновой суспензии) в условиях биохимической конверсии углеводов зерна в сбраживаемые сахара, так и для проведения процесса сбраживания осаживаемых углеводов и получения этилового спирта [2].

При этом, если, при механико-ферментативной обработке водно-зернового сырья требуются высокие скорости теплопереноса при его нагревании и охлаждении, что достигается большими расходами суспензии через аппарат, то при брожении требуются наоборот, малые расходы, позволяющие проводить лишь незначительное перемешивание высококонцентрированной питательной среды. Ранее [3], были выполнены комплексные исследования по уносу газа и гидродинамике движения двухфазных (система воздух-вода) потоков в вертикальных трубах КСИА.

Подавляющее большинство экспериментов выполнено на системе воздух-вода, и в связи с этим какие-либо теоретические данные о уносе газа двухфазными средами (жидкость – твёрдая фаза) в трубы КСИА отсутствуют. Необходимость таких исследований возникает ввиду проблемы определения объёмного и расходного газосодержания в трубах КСИА, без которых оценить гидравлические сопротивления циркуляционного контура становится невозможно. Поэтому изучение уноса газа многофазным потоком в новых конструкциях тепло-массообменных аппаратов и, в частности, в кожухотрубном струйно-инжекционном аппарате (КСИА), актуально как с точки зрения перспективы научных исследований, так и в практическом аспекте для создания инженерной методики расчета новых аппаратов.

В качестве исходной суспензии для проведения опытов была выбрана смесь воды с предварительно размолотым зерном ячменя. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.

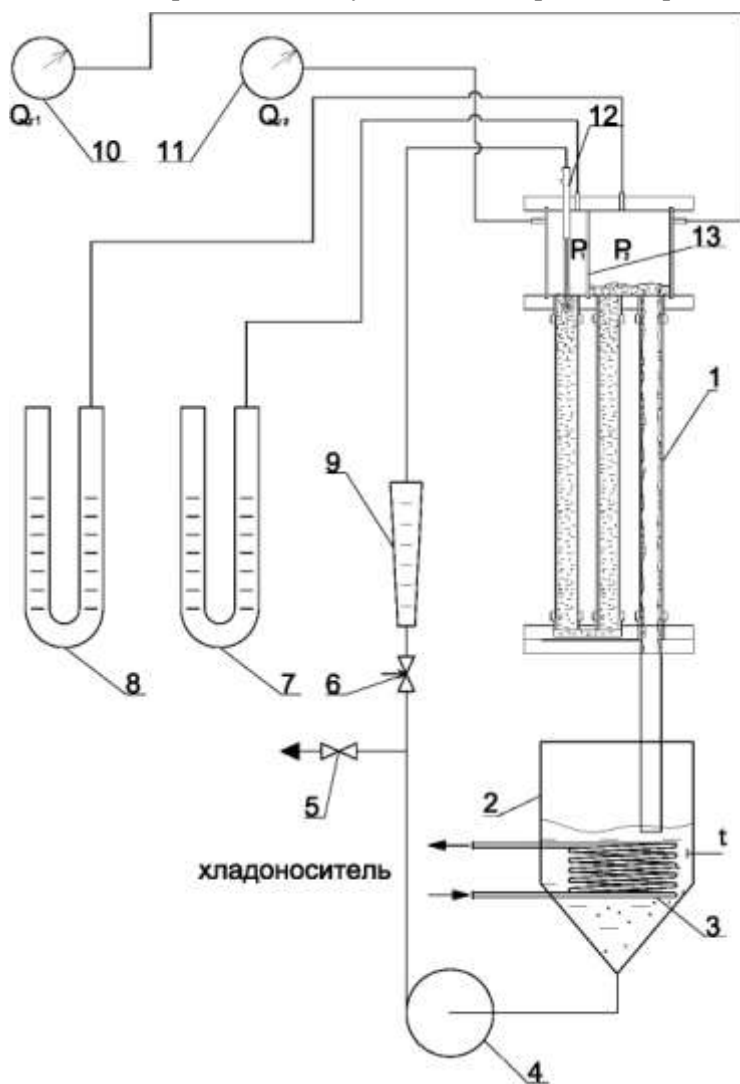


Рис. 1. Схема экспериментальной установки исследования уноса газа двухфазным потоком.

1-трёхтрубная модель КСИА, 2-цилиндрико-коническая ёмкость, 3-теплообменник, 4-центробежный насос, 5-сливной кран, 6-регулирующий вентиль, 7,8-жидкостной дифференциальный манометр, 9-жидкостной ротаметр, 10,11-газовый счётчик, 12-сопло, 13-перегородка.

Сопло 12 могло перемещаться относительно своей оси и легко заменяться с целью варьирования диаметра проходного сечения. Ёмкость 2 имела цилиндрическую форму с коническим основанием, что позволяло исключить выпадение твёрдой фазы в осадок, создавая тем самым однородную структуру. Для

регулирования расхода трёхфазной жидкостной смеси через сопло использовался регулирующий вентиль 6, а для замены рабочей среды кран 5. Температура трёхфазной смеси в процессе эксперимента контролировалась термометром. Расход инжектируемого струей газа измерялся, счетчиком 11, унос газа трёхфазным потоком в сливной трубе фиксировался счётчиком 10. Давление в камерах верхней газовой ёмкости измерялось с помощью жидкостных дифференциальных манометров 7 и 8. цилиндрической ёмкости 2 имела змеевик для охлаждения циркулирующей трёхфазной смеси 3.

Уровень газожидкостной смеси в трубах и верхней газовой ёмкости измерялся миллиметровой линейкой от поверхности фланцев трубной решетки. Перегородка 10 разделяла верхнюю газовую ёмкость на 2 камеры, таким образом, исследования проводились без рециркуляции фаз. Высота установки среза сопла до верхней трубной решётки было постоянным и равнялось 100 мм.

Исследования проводились для трёх гидромодулей 1:4; 1:3,5; 1:3. В ходе исследований каждого гидромодуля изменялись диаметры d_0 сопел в пределах от 5 до 10 мм. В процессе эксперимента изменялся расход жидкости через сопло. Диаметр опускной и подъёмной трубы был одинаковым во всех опытах $d_{тр} = 36$ мм.

В результате, проведённых серий экспериментов, были получены зависимости расхода газа Q_r от расхода воднозерновой суспензии $Q_{ж}$ рис. 2.

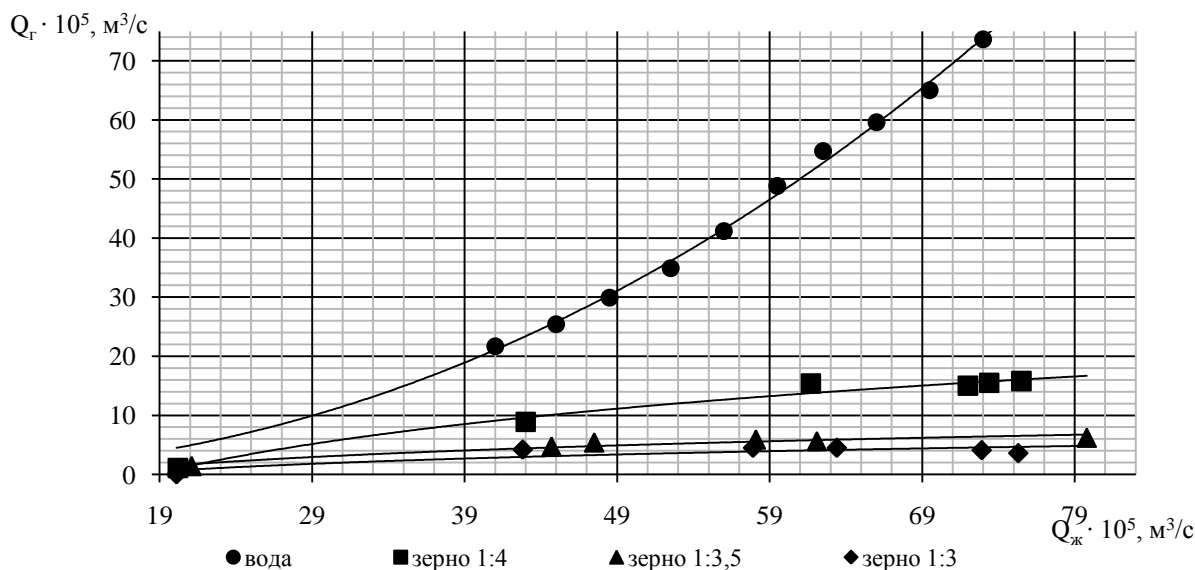


Рис. 2. Зависимость расхода газа Q_r от расхода жидкости $Q_{ж}$ для среды воздух-вода и воднозерновая суспензия при $d_0 = 8$ мм.

Из графиков можно увидеть, что с увеличением гидромодуля унос газа уменьшается. Кроме того при одном и том же значении расхода жидкости расход газовой фазы для воды в значительной степени больше расхода газа при течении двухфазной среды. Это можно объяснить тем, что при течении воднозерновой суспензии по трубам КСИА возникает большое сопротивление. В результате происходит частичное заполнение верхней газовой камеры, и как следствие уменьшение длины свободной струи.

После проведения обработки, экспериментальных данных, нами была получена эмпирическая зависимость для расчёта уноса газа свободной двухфазной средой (жидкость - твёрдая фаза)

$$\begin{aligned}
 Q_r = & 16,33 \cdot 10^{-5} + 7,925 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Q_{ж} - 32,5 \cdot 10^{-5}}{7,5 \cdot 10^{-5}} \right) - 14,7 \cdot 10^{-5} \left(\frac{C - 0,1665}{0,1665} \right) - \\
 & - 11,28 \cdot 10^{-5} \left(\frac{d_0 - 7,5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} \right) - 7,4 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{Q_{ж} - 32,5 \cdot 10^{-5}}{7,5 \cdot 10^{-5}} \right) \left(\frac{C - 0,1665}{0,1665} \right) - \\
 & - 5,48 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Q_{ж} - 32,5 \cdot 10^{-5}}{7,5 \cdot 10^{-5}} \right) \left(\frac{d_0 - 7,5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} \right) + 9,9 \cdot 10^{-5} \left(\frac{C - 0,1665}{0,1665} \right) \times \\
 & \times \left(\frac{d_0 - 7,5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} \right) + 5 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Q_{ж} - 32,5 \cdot 10^{-5}}{7,5 \cdot 10^{-5}} \right) \left(\frac{C - 0,1665}{0,1665} \right) \left(\frac{d_0 - 7,5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

где Q_r – расход газа, уносимого струей воднозерновой суспензии, m^3/c ; d_0 – диаметр сопла, м; C – концентрация воднозерновой суспензии, кг/кг;

Эмпирическая зависимость (1) применима в диапазоне изменения диаметров сопел $d_0 = (5 \div 10) \cdot 10^{-3}$ м, и концентраций воднозерновой суспензии $C = 0 - 0,333$. Максимальное отклонение расчетных и

экспериментальных значений Q_r не превышает $\pm 10,7\%$, что можно считать вполне удовлетворительным результатом.

Таким образом, впервые был исследован унос газа двухфазной средой (жидкость - твёрдая фаза). Получены графические зависимости расхода газа от расхода воднозерновой суспензией. Установлены значения уноса газа двухфазным потоком в трубы аппарата. Выполнено сравнение расходных характеристик среды вода и среды воднозерновая суспензия.

В результате проведённых исследований было получено регрессионное уравнение для расчёта уноса газа.

Для определения других гидродинамических параметров требуется дальнейшее изучение течения двухфазных сред в трубчатых элементах кожухотрубного струйно-инжекционного аппарата.

Литература:

1. Повышение эффективности производства спирта за счёт проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате / Баракова Н.В. [и др.] // Процессы и аппараты пищевых производств: электрон. науч. журн. 2010. №2 (сентябрь). С. 1-7. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>

2. Повышение эффективности производства спирта за счёт проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате. 2. Проведение механико-ферментативной обработки зернового сырья в КСИБА / Т.С. Ибрагимов [и др.] // Процессы и аппараты пищевых производств: электрон. науч. журн. 2011. №1 (март). С. 1-7. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>

3. Дугнист А.В., Сивенков А.В., Новосёлов А.Г. К вопросу расчёта гидравлических сопротивлений при движении газожидкостных потоков в вертикальных трубах при струйном диспергировании газовой фазы // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 3-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных с междунар. участием (28 – 30 апреля 2010 г. Бийск). Бийск, 2010. С. 359-362.

References:

1. *Improving the efficiency of spirit production by carrying out several process steps in one machine. 1. Shell and tube bolus-injection fermenter / Barakova N.V. [and others] // Processes and equipment for food industrie: lectronic scientific journal. 2010. № 2. P. 1-7. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>*

2. *Improving the efficiency of spirit production by carrying out several process steps in one machine. 2. Conducting mechanic and enzymatic processing of raw grain in JJIA / T.S. Ibragimov [and oth.] // Processes and equipment for food industrie: lectronic scientific journal. 2011. № 1. P. 1-7. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>*

3. *Dugnist A.V., Sivenkov A.V., Novoselov A.G. On the calculation of hydraulic resistance when moving of gas-liquid flows in vertical pipes with jet dispersion of the gas phase // Technology and equipment of chemical, biotechnology and food industries: proceedings of the 3rd All-Russian scientific-practical conference of students and young scientists with international participation (28 - 30 April 2010, Biysk). Biysk. 2010. P. 359 - 362.*