

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОТОЧНО-СТРУЙНОГО СМЕСИТЕЛЯ ЖИДКОСТЕЙ

Самойчук Кирилл Олегович

канд. т. наук, доцент Таврического государственного агротехнологического университета, Украина, г. Мелитополь

Полудненко Ольга Владимировна

аспірант Таврического государственного агротехнологического университета, Украина, г. Мелитополь

Бездитный Андрей Александрович

канд. т. наук, доцент Мелитопольского Государственного Педагогического Университета им. Б. Хмельницкого. Украина, г. Мелитополь

ANALYTICAL RESEARCHES OF OPPOSITE-STREAM MIXER OF LIQUIDS

Samojchuk Kirill, Candidate of Science, associate professor of the Tavria state agrotechnological university, Ukraine, Melitopol
Poludnenko Olga, graduate student of the of Tavria state agrotechnological university, Ukraine, Melitopol

Bezditniy Andrey, Candidate of Science, associate professor of the Melitopol State Pedagogical University the name of Bohdan Khmelnytsky. Ukraine, Melitopol

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена повышению эффективности процесса смешивания безалкогольных напитков с использованием противоточно-струйного смесителя. Моделированием процесса смешивания в программном комплексе ANSYS исследовано влияние диаметра сопла и расстояния между форсунками на распределение скорости потоков жидкости в зоне их столкновения, изменение давления, распределение кинетической энергии турбулентности и её диссипации. Определена зависимость между диаметром сопла форсунки и расстоянием между форсунками для получения наивысшей степени смешивания и максимальной производительности смесителя.

ABSTRACT

The work is aimed to increase the efficiency of process of mixing nonalcoholic beverages with the use of opposite-stream mixer. The influence of diameter of nozzle and distance between sprayers on distribution of speed of liquid streams in the area of their collision, change of pressure, distribution of kinetic energy of turbulence and its dissipation is investigated in a programmatic complex ANSYS with process modeling of mixing. Dependence between the diameter of nozzle of sprayer and distance between sprayers is determined to receive the greatest degree of mixing and maximum performance of the mixer.

Ключевые слова: смешивание жидкостей, противоточно-струйный смеситель, моделирование, расстояние между форсунками.

Keywords: mixing of liquids, opposite-stream mixer, modeling, distance between sprayers.

Процесс перемешивания жидких компонентов – широко распространённый технологический процесс в различных отраслях производства и переработки продукции агропромышленного комплекса (приготовление маточных растворов, используемых в растениеводстве и животноводстве, производство напитков на основе натуральных соков и т.д.) [3, с. 226–233]. В частности, при изготовлении безалкогольных напитков одним из основных процессов является перемешивание жидких компонентов. Учитывая возрастающие объёмы производства безалкогольных напитков актуальными являются разработка и внедрение в производство смешивающих аппаратов, которые обеспечат качественное перемешивание жидких компонентов при минимальных затратах энергии и времени.

В зависимости от метода подвода энергии в перемешиваемые среды перемешивание может быть пневматическим, инерционным в потоке жидкости, циркуляционным, механическим или струйным. Проанализировав различные способы перемешивания жидких компонентов, струйное смешивание было выделено как наиболее перспективное, так как позволяет равномерно распределять энергию в зоне непосредственного контакта жидкостей, позволяет подводить энергию к небольшому объёму среды, что приводит к снижению энергозатрат и повышению качества смешивания. В струйных аппаратах нет подвижных механизмов, что говорит об их надёжности. Лёгкость включения таких аппаратов в различные технологические схемы, непрерывный принцип их работы наряду с простотой их конструкции обеспечили широкую область использования струйных смесителей [4, с. 205–211].

Не смотря на очевидные преимущества струйных смесителей, на сегодняшний день они являются практически неисследованными. Основной целью исследования таких аппаратов является определение их конструктивных, технологических, энергетических и качественных показате-

телей работы. При определении конструктивных параметров противоточно-струйного смесителя одной из основных задач является определение оптимального расстояния между форсунками.

В результате проведённого анализа существующих струйных смесителей, разработана конструкция, схема которой представлена на рис. 1 [2]. Он состоит из двух идентичных форсунок 5, установленных соосно, патрубков подвода подмешиваемой жидкости 1 патрубков подачи основной жидкости 2 и эжекторов 3. Смешивание происходит в центральной части камеры смешивания 4. В результате проникновения частиц одной струи во встречную достигается высокая равномерность распределения компонентов [5, с. 86–92].

Процесс перемешивания подготовленной воды с купажным сиропом при противоточно-струйном смешивании происходит в два этапа. На первом из них перемешивание воды с сиропом происходит в смешивающем канале (сопле) форсунки. Фактически, процесс перемешивания воды с сиропом на этом этапе можно представить как отдельный случай перемешивания в струйном аппарате но основной процесс смешивания будет происходить при столкновении струй.

Жидкость при выходе из сопла форсунки движется со скоростью v_1 (рис. 2). После столкновения поток жидкости изменяет направление движения на 90° и движется со скоростью v_2 , которая уменьшается при увеличении расстояния от оси форсунок. С увеличением скорости струи растёт число Рейнольдса, а значит, растёт турбулентность потока. Таким образом, для увеличения степени перемешивания купажного сиропа с подготовленной водой необходимо увеличивать скорость струй жидкости в момент столкновения v_1 . Понятно, что при увеличении расстояния между соплом и линией раздела струй скорость потока уменьшается, из-за чего будет уменьшаться и степень перемешивания.

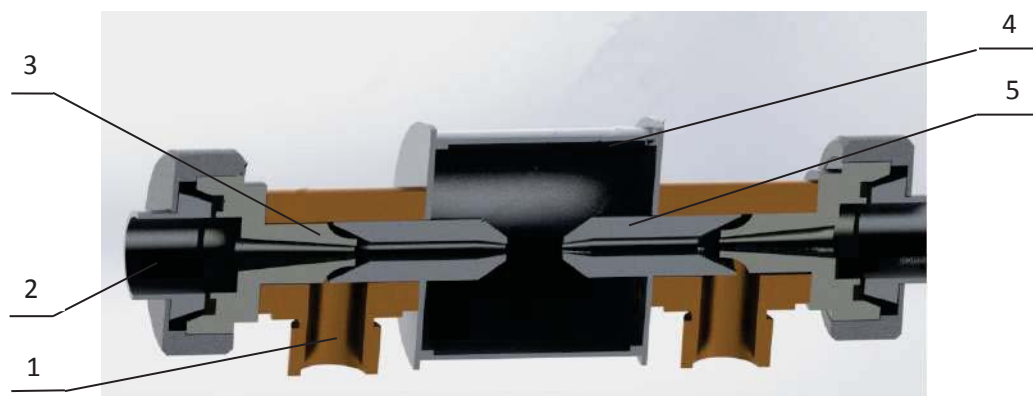


Рисунок 1. Противоточно-струйный смеситель. 1 – патрубки подвода подмешиваемой жидкости; 2 – патрубки подачи основной жидкости; 3 – сопло эжектора; 4 – камера смешивания; 5 – форсунка.

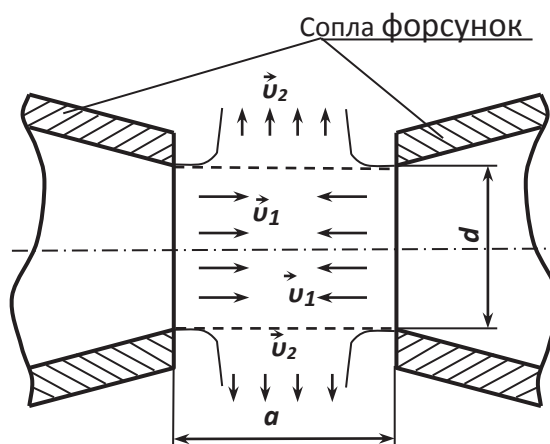


Рисунок 2. Схема определения расстояния между соплами форсунок противоточно-струйного смесителя.

В работе [6] получены зависимости для определения производительности противоточно-струйного аппарата Q в зависимости от расстояния между форсунками:

$$\text{При } a \geq d_c / 2, Q = \mu \frac{\pi d_c^2}{2} \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}. \quad (1)$$

$$\text{а при } a > d_c / 2 Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}, \quad (2)$$

где a – расстояние между соплами форсунок, м;
 μ – коэффициент расхода (зависит от конструкции форсунки);

d_c – диаметр сопел форсунок, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

Δp – перепад давления внутри и снаружи форсунки, Па.

Таким образом, расстояние между соплами форсунок a противоточно-струйного смесителя из условия получения максимальной производительности должно быть больше половины диаметра сопла форсунки, т.е. d $a > d / 2$. В то же время, для получения высокой степени перемешивания жидкостей скорость в момент столкновения должна быть максимальной, что выполняется при $a = d_c$.

Основными критериями, определяющими гидродинамику встречных струй применительно к процессу перемешивания, являются число Рейнольдса, турбулентность,

кинетическая энергия турбулентности и величина её диссипации по площади взаимодействия потоков.[1, с. 69–109]. Для определения данных характеристик решено применить моделирование с помощью современных вычислительных комплексов. Наиболее распространённым из них является ANSYS Workbench. По заданным параметрам были построены 3D-модели в компьютерной программе SolidWorks с дальнейшей симуляцией процесса смешивания в программном комплексе ANSYS.

Выбор исходных данных процесса (температура, плотность жидкостей, пропорции смешивания, давление на входе в аппарат) обусловлен технологическими инструкциями производства безалкогольных напитков.

В результате моделирования процесса смешивания в программном комплексе ANSYS были созданы поля кинетической энергии турбулентности, её диссипации, скоростей и давления, в камере смешивания.

При увеличении расстояния между форсунками зона максимальных значений кинетической энергии турбулентности (рис. 3) смещается от торцов форсунок (при $a = 0,5d_c$) к центру между форсунками (при $a = 2d_c$), что согласуется с полученными зависимостями (1, 2). Максимальная кинетическая энергия турбулентности и по величине и по площади охвата достигается при $a = 2d_c$.

Для получения высокого качества смешивания необходимо добиться высокой равномерности распределения энергии по площади встречи струй. Такую характеристику можно получить, рассматривая диссипацию кинетической энергии турбулентности (рис. 4).

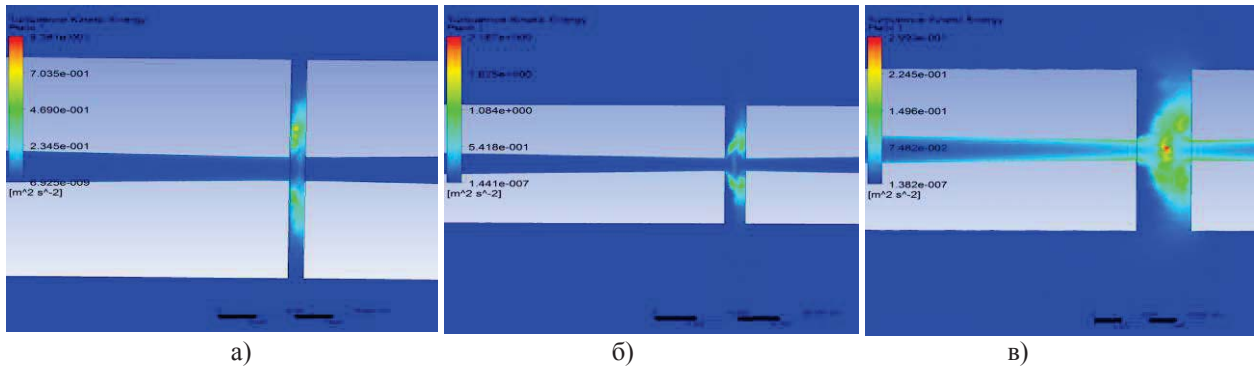


Рисунок 3. Поле кинетической энергии турбулентности. а) при расстоянии между форсунками $a=0,5d_c$; б) при расстоянии между форсунками $a=d_c$; в) при расстоянии между форсунками $a=2d_c$.

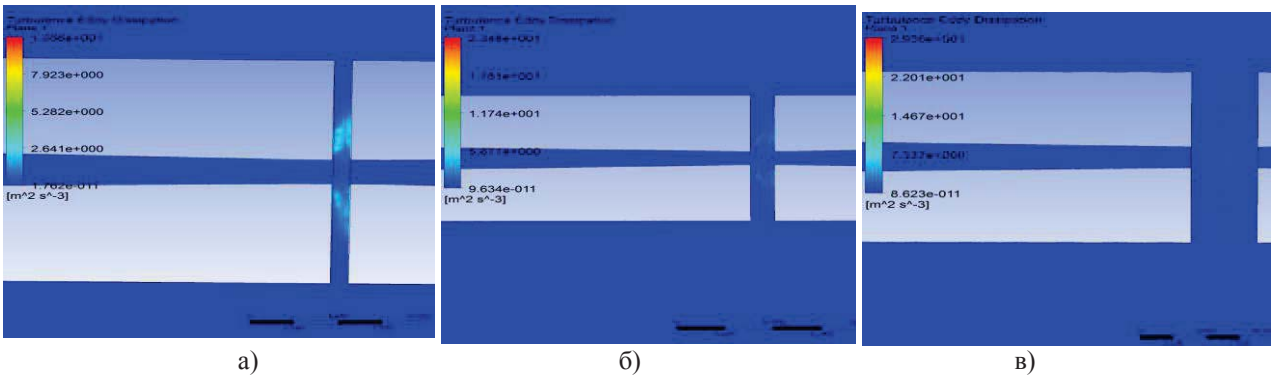


Рисунок 4. Поле диссипации кинетической энергии турбулентности. а) при расстоянии между форсунками $a=0,5d_c$; б) при расстоянии между форсунками $a=d_c$; в) при расстоянии между форсунками $a=2d_c$.

Максимальная площадь зон высокой диссипации кинетической энергии турбулентности наблюдается при $a=0,5d_c$ и при увеличении расстояния эта зона смещается в центр между форсунками. Увеличение значения диссипации кинетической энергии турбулентности происходит при увеличении a , но размеры этих зон становятся микроскопическими и не охватывают всю площадь смешиваемых жидкостей.

С увеличением расстояния появляется и увеличивается торообразный участок с низким давлением (рис.5), величина которого снижается. В этом участке могло бы осуществляться довольно эффективное смешивание, однако зона расположена не симметрично, и лишь часть жидкости проходит через эту зону, поэтому её влиянием на процесс смешивания можно пренебречь.

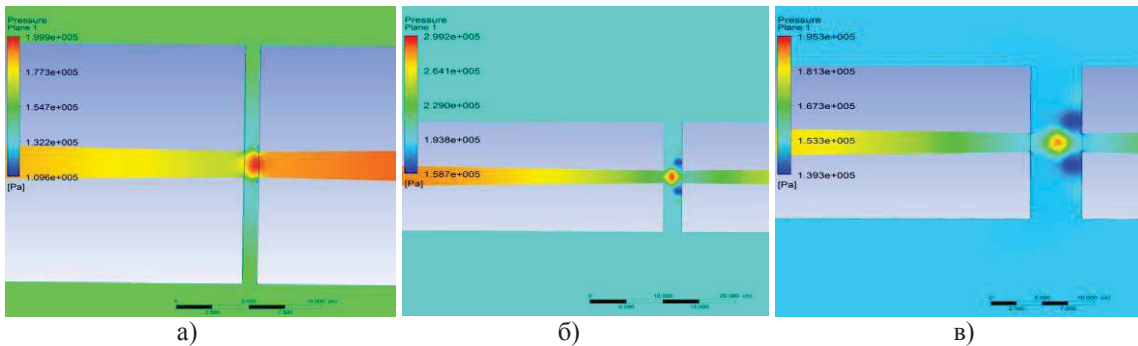


Рисунок 5. Поле давлений а) при расстоянии между форсунками $a=0,5d_c$; б) при расстоянии между форсунками $a=d_c$; в) при расстоянии между форсунками $a=2d_c$.

Зона максимального давления ожидаемо находится в центре между форсунками, причём максимальное значение $3 \cdot 10^5$ Па достигается при $a=d_c$. Эта величина в 1,5 раза превосходит давление на входе в форсунки. При увеличении расстояния a более чем диаметр сопла происходит уменьшение размера зоны высокого давления между форсунками, что свидетельствует об уменьшении турбулентности потока в зоне встречи струй.

При расстоянии между форсунками $a=0,5d_c$ наибольшую скорость поток жидкости имеет после столкновения струй (рис.6), которая в 1,3...1,5 раза больше скорости при выходе жидкости из форсунки. Максимальная

скорость в данном случае достигает значения 10 м/с. При расстоянии между форсунками $a=d_c$ максимальная скорость одинакова в зоне выхода жидкости из форсунки и в зоне между торцевыми поверхностями форсунок и достигает значения 14 м/с.

При расстоянии между форсунками $a=2d_c$ максимальную скорость поток жидкости имеет в зоне выхода из форсунки. Скорость потока в зоне между торцевыми поверхностями форсунок а 1,7...1,9 раза меньше скорости при выходе жидкости из форсунки и достигает значения 9,5 м/с.

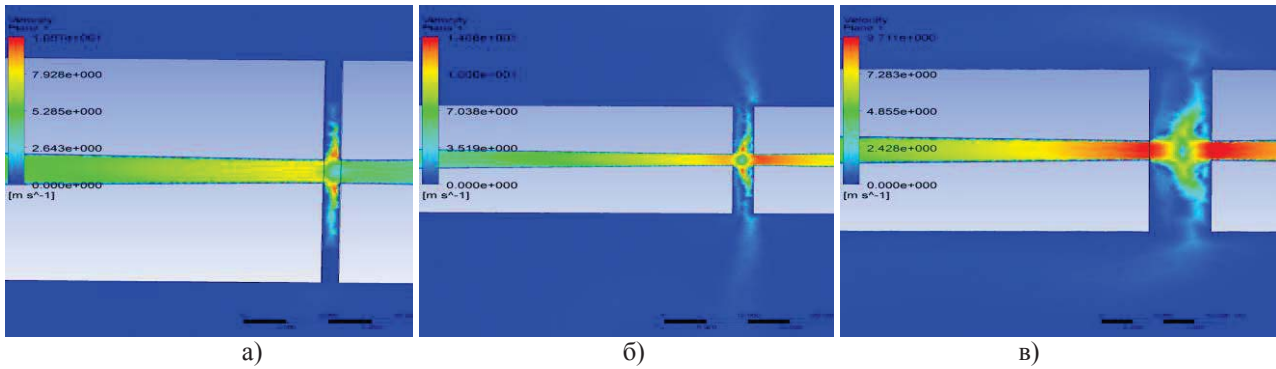


Рисунок 6. Поле скоростей: а) при расстоянии между форсунками $a=0,5d_c$; б) при расстоянии между форсунками $a=d_c$; в) при расстоянии между форсунками $a=2d_c$.

Таким образом, с увеличением расстояния между форсунками, вследствие возрастания скорости струй в момент столкновения, возрастает кинетическая энергия турбулентности, но её диссипация достигает максимального значения при расстоянии между форсунками $a=d_c$. Диссипация мощности применительно к струйному смешиванию характеризует интенсивность взаимодействия потоков жидкости, приводящего к распространению молекул одного вещества между молекулами другого. Из условия получения высокой степени смешивания жидких компонентов, кроме высокой турбулентности потоков, необходима равномерность распределения кинетической энергии, полный охват смешиваемого потока жидкости встречным потоком, исключение вторичных завихрений, лишь частично охватывающих поток. Исходя из этих условий максимальное качество смешивания достигается при $a=d_c$, что подтверждает предположение, выдвинутое на основании анализа математических зависимостей, о том, что исходя из условий получения наивысшей степени смешивания и максимальной производительности оптимальное расстояние между соплами форсунок должно быть равно диаметру сопла форсунки.

В дальнейшем планируется проверить результаты теоретических исследований экспериментальными исследованиями.

Список литературы:

1. Мелешко В.В. Смешивание вязких жидкостей/ В.В.Мелешко, Т.С. Краснополяская// Нелинейная динамика. – 2005. – Т.1.
2. Пат. 91740, Украина, МКИ⁵ А01J 11/00. Пристрій

для струминного змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201402154; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.

3. *Самойчук К.О., Полудненко О.В.* «Короткий аналіз обладнання для перемішування рідких компонентів»// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2011 – Вип.11 т.6
4. *Самойчук К.О., Полудненко О.В.* «Результати аналізу конструкцій струминних змішувачів рідких компонентів»// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2013 – Вип.13 т.1
5. *Самойчук К.О., Полудненко О.В.* «Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования»// Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного у-та, 2013 – 140с.
6. *Самойчук К.О.* Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого гомогенізатора молока [Текст]: автореферат канд. техн. наук, спец.: 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв/К.О.Самойчук.–Донецьк: МОН Укр. Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, 2008. — 20 с.

СЕТЕВЫЕ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Преображенский Николай Борисович

Кандидат технических наук, Институт точной механики и вычислительной техники имени С.А. Лебедева Российской академии наук, Москва

Чан Ван Хань

Аспирант, Московский физико-технический институт (Государственный университет), Москва

Ле Ба Чунг, Дам Чонг Нам

Студенты, Московский физико-технический институт (Государственный университет), Москва

NETWORK DECISIONS IN CONTROL SYSTEMS

Preobrazhenskiy Nikolay, Candidate of Science, Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow

Tran van Khanh, Postgraduate student, Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Le Ba Chung, Dam Trong Nam, Students, Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются возможности аппаратной поддержки сетевых решений удобных для цифровых систем управления. Отмечены проблемы и особенности использования сетевой среды для данного круга задач. Показаны преимущества предлагаемых приемов модернизации сетей.