

УДК 004.65

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАВИТАЦИОННОГО ЭФФЕКТА ПРИ СМЕШИВАНИИ СОЖ

П. П. ЧЕРНИКОВ¹, Д. И. САХИПГАРАЕВ², Л. Р. КИЛЬМЕТОВА³, С. Х. ХАДИУЛЛИН⁴

¹chernikov.pp@ugatu.su, ²sahipgaraev.di@ugatu.su ³kilmetova.lr@ugatu.su, ⁴khadiullin.sh@ugatu.su

^{1,3,4}ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

²АО «Уфимское приборостроительное производственное объединение»

Поступила в редакцию 17.03.2023

Аннотация. В статье приведена разработка автоматизированной установки смешивания и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) к металлорежущему оборудованию на основе комплекса кавитационно-вакуумного смешивания жидкостей с целью повышения производительности труда и исключения человеческого фактора. Выполнен расчет параметров процесса смешивания компонентов СОЖ в разрабатываемой системе, а также определена величина потерь напора в трубопроводе. Расчеты показали, что происходит закономерное снижение средней плотности воды в процессе образования эффекта кавитации и последующее ее выравнивание на выходе за счет объединения с концентратом.

Ключевые слова: СОЖ, установка, смешивание жидкости, эмульсия, обработка, система, моделирование, оборудование.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее доступных и экономически выгодных путей технического прогресса в машиностроении является широкое применение эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Опыт передовых машиностроительных предприятий показывает, что рациональное применение СОЖ позволяет в 1,2–4 раза повысить стойкость инструмента, на 20–60% форсировать режимы резания, на 10–50% повысить производительность труда, снизить энергозатраты при механообработке [1].

СОЖ подразделяются на следующие классы: масляные, водосмешиваемые (водные), распыляемые и другие.

СОЖ представляют собой специализированные гомогенные или гетерогенные многокомпонентные технологические среды. Они обладают комплексом свойств – смазывающим, охлаждающим, моющим, и обеспечивают оптимальные условия процесса резания металлов на металлорежущем оборудовании, которое занимает большую часть на машиностроительных предприятиях [2].

Получение качественных СОЖ с высокой стабильностью свойств и проявлением их максимальной эффективности – не простая задача, поэтому разработка оборудования и технологии для приготовления смазывающе-охлаждающей жидкости является актуальной областью деятельности.

На современных машиностроительных предприятиях СОЖ такого типа готовят самостоятельно путём смешивания её составных продуктов с базовым растворителем. Приготовление СОЖ – сложный и ответственный процесс, определяющий долговечность и технологическую эффективность жидкостей в процессе эксплуатации [3].

В результате анализа технологий приготовления СОЖ выявлено, что перемешивание компонентов СОЖ с наименьшими усилиями и затратами энергии возможно лишь с применением кавитационного эффекта [4].

Поэтому для повышения производительности труда, исключения человеческого фактора и автоматизации приготовления различных СОЖ актуальна разработка автоматизированной системы её смешивания и подачи к оборудованию на основе комплекса кавитационно-вакуумного смешивания жидкостей.

РАСЧЕТ ГОДОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ СОЖ

На практике общую годовую потребность в СОЖ для периодической замены жидкости в системе определяют по зависимости

$$Q = \sum_{1}^{n} Q_1 + Q_2 \dots + Q_n$$

где Q – годовая потребность в СОЖ для одного станка, л.

Определим годовую потребность для двух станков (*Smart 42T8*)

$$Q_1 = \frac{n_3 * \rho_{ж} * V}{1000}$$

где n_3 – число замен СОЖ в системе её применения за год; $n_3=12/T_{ж}$, $T_{ж}$ – срок службы СОЖ [5]; V – объём СОЖ, заливаемой в ёмкость одного станка, см³.

К примеру, для образования 6% раствора необходимо бл. концентрата на 94л. воды, получим 100л раствора с 6% содержанием концентрата. Тогда для образования, например 230л раствора, равного объёму одного из станков с ЧПУ, необходимо $6*230/100=13,8$ л концентрата.

При значительных объёмах производства целесообразно предпринимать действия, направленные на снижение потребления водосмешиваемых концентратов смазочно-охлаждающих жидкостей. Необходима система с высокой степенью производительности приготовления СОЖ и подтверждается целесообразность минимизировать расход концентрата и соответственно промывочной жидкости.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ СМЕШИВАНИЯ

В целях наглядного представления о последовательности технологического процесса автоматического функционирования данного технологического оборудования выполним графическое построение схемы [6]. Технологическую схему построим с упрощённым изображением оборудования, масштаб при этом не соблюдается. Оборудование и коммуникации изобразим тонкими линиями, технологические потоки выделим более жирными линиями. Изобразим основные элементы объекта в виде прямоугольников и снабдим их соответствующими наименованиями [7].

Принцип работы установки смешивания СОЖ заключается в следующем: открытие клапана 1 запускает процесс заполнения дистиллятора 2, который, в процессе своей работы, заполняет ёмкость с дистиллированной водой 3. На стенке этой ёмкости установлены 3 датчика уровня 11, показывающие уровень жидкости. Запрос на требуемое количество СОЖ регистрируется с помощью блока управления установкой 10 и, после открытия клапана 4, запускается насос 5, нагнетающий давление в смеситель 6, в котором установленное электромагнитное реле подаёт сигнал о наличии необходимого давления воды в блок управления. При достижении требуемого давления открывается задвижка, пропускающая воду через смеситель, при этом включается насос 8, ускоряющий поступление СОЖ по трубопроводам и создающий область пониженного давления, одновременно с этим открывается клапан 9 для выдачи готовой СОЖ на участок [8].

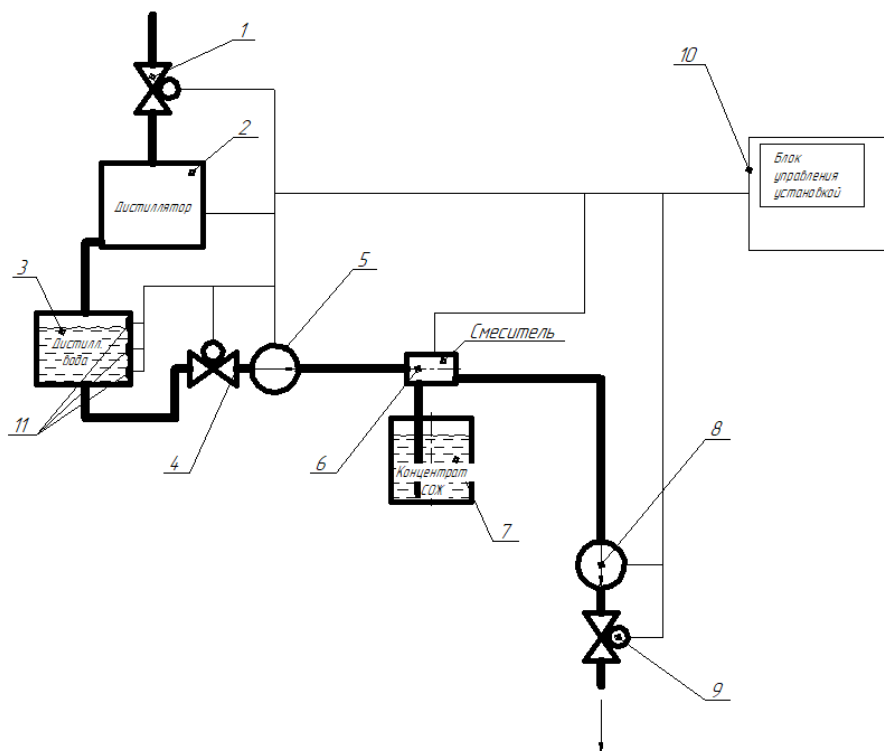


Рис. 1. Технологическая схема установки смешивания и подачи СОЖ

Принцип работы смесителя состоит в том, что сначала через него протекает незначительное количество воды, но вскоре в её поток входит концентрат, смешиваясь с которым образуется готовая к работе СОЖ с размером частиц эмульгирующей фазы приблизительно 1 мкм.

Согласно данной схеме, установка позволяет в полной мере обеспечивать следующие требования к процессу:

1. Отсутствие ёмкости временного хранения СОЖ в целях исключения образования в ней осадков и застойных зон. Образование этих явлений требует применение дополнительного перемешивания СОЖ и введения в её состав определённых регенерирующих добавок, что увеличивает затраты на электроэнергию и ресурсы.

2. Прямоточность (без повторяющихся операций и многоступенчатой обработки) процесса перемешивания и диспергирования СОЖ.

3. Комплексное воздействие на дисперсную фазу и дисперсионную среду.

4. Автоматизация процесса, защита технологического процесса приготовления от неквалифицированного вмешательства.

5. Отсутствие непосредственного контакта работника с ингредиентами СОЖ - санитарно-гигиеническое требование.

6. Возможность концентрации технологических операций и переходов приготовления и подачи СОЖ в единице оборудования.

7. Высокая степень гибкости оборудования - минимальное время переналадки оборудования при изменении требований к составу и характеристикам используемой СОЖ [5].

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ

Для определения эффективности предлагаемой конструкции смесителя в комплексе кавитационно-вакуумного смешения жидкостей и расчёта самого процесса смешения компонентов СОЖ в разрабатываемой системе выполним расчёт процесса.

Основным показателем интенсивности перемешивания жидкости является число Рейнольдса (Re).

$$Re = \frac{vd}{\vartheta}$$

где v - характерная скорость, м/с; ϑ - кинематическая вязкость среды, м²/с

Для расчёта числа Рейнольдса в комплексе примем, что в смесительной камере течёт одна жидкость, чтобы определить скорость потока на выходе из сопла воспользуемся формулой для нахождения скорости потока из уравнения Бернулли.

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} = \frac{4 * 0,000556 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{3,14 * 0,004^2} = 44,232 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

где Q – объёмный расход, d – наименьший диаметр.

Проведём расчёт числа Рейнольдса для разрабатываемой конструкции смесителя, определив сначала скорость потока на выходе из сопла.

$$Re = \frac{44,232 \frac{\text{м}}{\text{с}} * 0,004\text{м}}{1,006 * 10^{-6} \text{м}^2/\text{с}} = 176223$$

Данное значение критерия Рейнольдса показывает, что течение происходит с высокой степенью устойчивости турбулентности ($Re > 10000$) и значительно превосходит этот показатель у смесителя в комплексе кавитационно-вакуумного смешения жидкостей ($176223 \gg 35244$).

Далее определим коэффициент сопротивления конфузора [9]

$$\xi = (-0,0125n^8 + 0,0224n^6 - 0,00723n^4 + 0,00444n^2 - 0,00745) * (\alpha^3 - 2\pi\alpha^2 - 10\alpha) + \frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} * (1 - n^4)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения, зависит от значения числа Рейнольдса Re ; размерность α - радианы; размерность α при расчете $\sin(\alpha/2)$ - градусы;

$$\xi = (-0.0125 * 0.03^8 + 0.0224 * 0.036 - 0.00723 * 0.03^4 + 0.00444 * 0.03^2 - 0.00745) * (1.5705^3 - 2 * 3.14 * 1.5705^2 - 10 * 1.5705) + \left(\frac{0.065406}{8 \sin\left(\frac{90}{2}\right)} \right) * (1 - 0.03^4) = 0.21499$$

Более высокое значение этого коэффициента обусловлено более высоким числом Рейнольдса в данной конструкции.

В дополнение к уже рассчитанным гидравлическим значениям критериев и коэффициентов, характеризующих полноту процесса смешения, выполним расчёт потерь напора в прямых трубопроводах в целях определения запаса мощности насоса [10].

Расчет потерь напора в прямом трубопроводе определяем по формуле Дарси — Вейсбаха:

$$H = \frac{\lambda * l * v}{2 * d * g}$$

где H - потери напора по длине трубопровода, λ - коэффициент гидравлического трения, l - длина трубопровода, м, v - скорость потока воды, м/с, d - внутренний диаметр трубопровода, м, g - ускорение свободного падения = 9.8 м/с².

$$H = \frac{0,024657 * 27,01\text{м} * 1,047 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 * 0,026\text{м} * 9,8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}} = 1,433 \text{ м. в. ст.} = 0,14 \text{ бар}$$

Полученное значение свидетельствует о невысоких потерях напора, выбранное оборудование подходит для обеспечения требуемого давления до максимального значения в 6 бар [11].

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СМЕСИТЕЛЯ

Моделирование процесса перемешивания компонентов СОЖ осуществлялось в системе автоматизированного проектирования *SolidWorks*. Ниже представлена трехмерная модель конструкции смесителя с заданием ему граничных условий (рис.2).

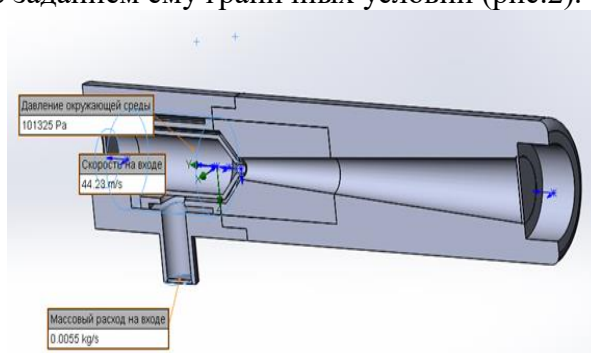


Рис. 2. Создание граничных условий модели

Основные материалы конструкции: для сопла и втулки, которая окружает сопло подберём сплав на основе меди – латунь (*Brass*) применяющаяся в условиях постоянного контакта с жидкостью, обладающая высокими антифрикционными, антикоррозийными свойствами, а для остальных частей смесителя выберем алюминиевый сплав (*Aluminum 6061*). Скорость потока воды на входе 44,23 м/с, массовый расход концентрата на входе 0,0055 кг/с.

Для моделирования процесса необходимо задать цели расчёта построения графика в будущем – среднюю плотность получаемой текучей среды, средний масштаб турбулентности и среднюю интенсивность турбулентности.

Параметры глобальной сетки представлены ниже (рис.3, рис.4):

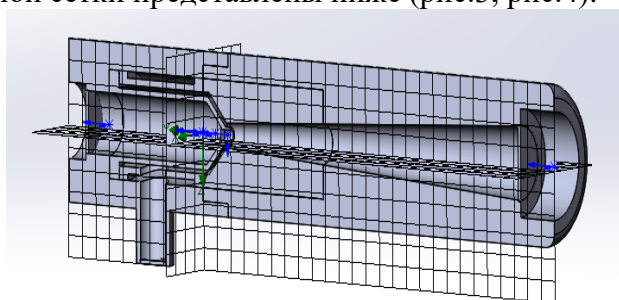


Рис. 3. Настройка глобальной сетки

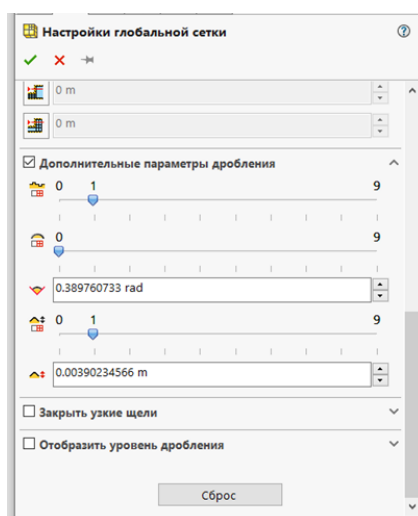


Рис. 4. Ввод дополнительных параметров дробления сетки и шага расчёта

По окончании расчета, возможно, задать настройки визуализации траектории (рис.5), завихрённость, скорости, уровень дробления потоков и т. д [9].

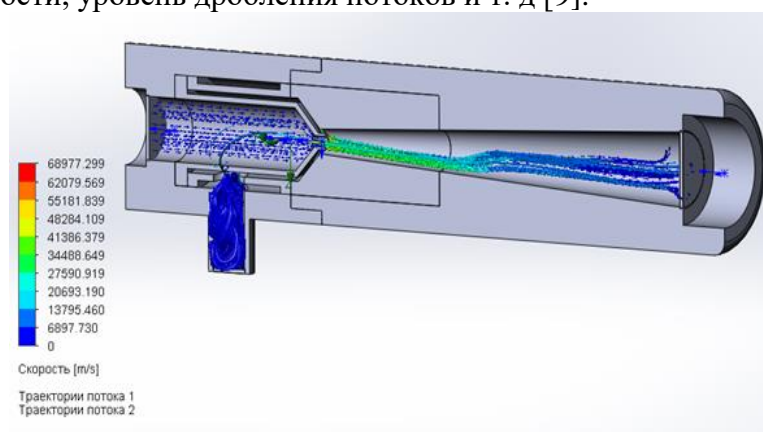


Рис. 5. Показатели скорости потоков в процессе их смешения

По результатам моделирования получена картина процесса (рис.6).

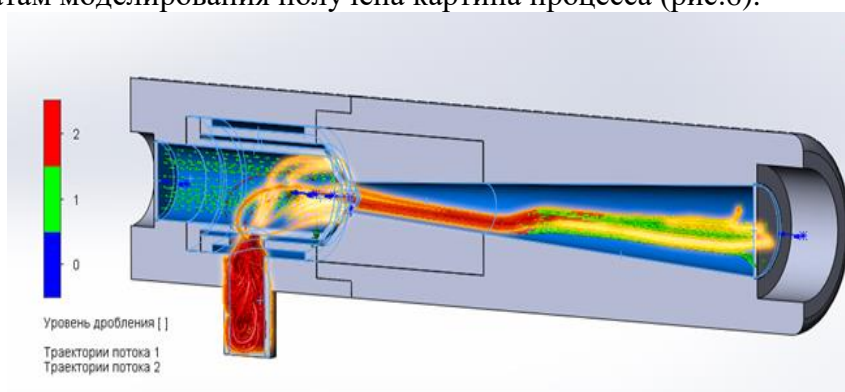


Рис. 6. Визуализация уровня дробления двух компонентов

На выходе из сопла смесителя скорость потоков достигает практически максимальных расчётных значений, что способствует высокой интенсивности процесса смешивания компонентов. Эти результаты (рис.7) демонстрируют, что скорость подачи воды создает область пониженного давления, увлекает за собой концентрат находящийся снизу и активно перемешивается с ним при выходе из сопла [12].



Рис. 7. Изображение графика плотности текущей среды

Результаты компьютерного моделирования, приведенные на рисунках 5-7 показали, что использование данного смесителя позволяет одновременно реализовать комплекс физических эффектов за счет применения смесителя проточно-кавитационного типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты разработки автоматизированной установки смешивания и подачи СОЖ к оборудованию на основе комплекса кавитационно-вакуумного смешения жидкостей.

Результаты расчётов параметров процесса смешивания компонентов СОЖ показали, что такой проект имеет практическую значимость, упрощая работу операторов станков, минимизируя человеческий фактор в процессе приготовления водосмешиваемых СОЖ, что приводит к повышению срока службы режущих инструментов и ускорению процессов обработки деталей.

Моделирование позволило определить, что происходит снижение средней плотности воды в процессе образования эффекта кавитации и последующее ее выравнивание на выходе за счет объединения с концентратом.

Разработанная установка смешивания и подачи СОЖ к оборудованию позволяет интенсифицировать технологический процесс приготовления СОЖ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Энтелис С. Г., Берлинер Э. М.** Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. М.: Машиностроение, 1986. 352 с. [Entelis S. G., Berliner E. M. Lubrication-cooling technological means for processing metals by cutting, (in Russian). M.: Mashinostroenie 1986. 352 p.]
2. **Латышев В. Н.** Повышение эффективности СОТС. М: Машиностроение, 1975. 89 с. [Latyshev V. N. Increasing the efficiency of SOTS. M: Mashinostroenie, 1975. 89 p.]
3. **Бердичевский Е. Г.** Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов. М.: Машиностроение, 1984. 224 с. [Berdichevsky E. G. Lubricant-cooling technological means for processing materials, (in Russian). M.: Mechanical engineering. 1984. 224 p.]
4. **Тарнопольский А. В.** Эффективный способ приготовления СОТС для обработки материалов резанием. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2006. с.216 [Tarnopolsky A. V. Efficient method of preparation of COTS for the processing of materials by cutting. // Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality". 2006. p.216]
5. **Худобин Л. В., Бабичев А. П., Булыжев Е. М.** Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник. М.: Машиностроение, 2006. 544 с. [L. V. Khudobin, A. P. Babichev, E. M. Bulyzhev. Lubricating-cooling technological means and their application in cutting: a Handbook. Moscow: mechanical engineering, (in Russian). 2006. 544 p.]
6. **Шалобанов С. В.** Моделирование систем управления: Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности 210100 «Управление и информатика в технических системах». Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2003. 49 с. [Shalobanov S. V. Modeling of control systems: Guidelines for the implementation of course work for students of the specialty 210100 «Control and informatics in technical systems» Khabarovsk: Khabar Publishing House. state tech. un-ta, 2003. - 49 p.]
7. **Клушин М. И., Тихонов В. М., Симкин Д. И.** и др. Смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием: Рекомендации по применению. 1979, 96 с. [Klushin M. I., Tikhonov V. M., Simkin D. I. et al. Cooling lubricants for metal cutting: Recommendations for use, (in Russian). NIIMASH, 1979, 96 p.]
8. **Руппель А.А., Сагандыков А.А., Коротов М.С.** Моделирование гидравлических систем в matlab: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2009. 172с. [Ruppel A.A., Sagandykov A.A., Korytov M.S. Modeling hydraulic systems in matlab: a tutorial, (in Russian). Omsk: SibADI, 2009. - 172 p.]
9. **Козлов А. А.** Проектирование механических цехов: электронное учеб.-метод. Пособие. Изд-во ТГУ, 2015. 47 с. [Kozlov A. A. Design of mechanical shops: electronic textbook.-method allowance , (in Russian). Publishing House of TSU, 2015 - 47 p.]
10. **Тудакова Н. М., Схиртладзе А. Г., Пахомов Д. С., Устинов Б. В.** Проектирование участков и цехов обрабатывающего производства: учебник. 2016. 226 с. [Tudakova N. M., Skhirtladze A. G., Pakhomov D. S., Ustinov B. V. Design of areas and workshops of manufacturing: a textbook, (in Russian). 2016. 226 p.]
11. **Серебряков Н. П.** Проектирование автоматизированных систем: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию/ СПбГТУРП., 2011. 42 с. [Serebryakov N. P. Design of automated systems: teaching aid for course design, (in Russian). SPbGTURP. 2011. 42 p.]
12. **Курбангалеев А. А.** Работа с сеточной областью в 3D – моделировании процесса турбулентного смешения жидкостей в трубчатом канале / А.А. Курбангалеев, А.Ф. Тазюкова // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Нижнекамского химико-технологического института «Проблемы и перспективы развития химии, нефтехимии и нефтепереработки». 2014. №1. С. 45-48. [Kurbangaleev A. A. Work with a grid area in 3D modeling of the process of turbulent mixing of liquids in a tubular channel / A.A. Kurbangaleev, A.F. Tazyukova // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology "Problems and prospects for the development of chemistry, petrochemistry and oil refining". 2014. No. 1. P.45-48.]

ОБ АВТОРАХ

ЧЕРНИКОВ Петр Петрович, доц. каф. АТП. Дипл. инженера (УАИ, 1980). Иссл. в обл. использования металлических присадок в СОТС.

САХИПГАРАЕВ Дамир Ильдарович, Дипл.магистранта (УГАТУ 2022) инженер УППО. Иссл. В обл. проектирования конструкций установок смешивания и подачи СОТС к оборудованию.

КИЛЬМЕТОВА Лилия Римовна, преп. каф. АТП. Дипл. инженер (УГАТУ, 2013). Готовит дис. о способах контролируемого наведения остаточных напряжений.

ХАДИУЛЛИН Салават Хакимович, доц. каф. АТП. Дипл. инженер (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. термодинамических процессов, синергетики, компьютерного моделирования процессов резания, мехатроника.

METADATA

Title: Development of automated installation and simulation of the process of cavitation effect when mixing lubricant-cooling technological means

Authors: P.P. Chernikov¹, D. I. Sahipgaraev², L.R. Kilmetova³, S.Kh. Khadiullin⁴

Affiliation:

^{1,3,4} Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

² Ufa Instrument-Making Production Association (UIMPA), Russia.

Email: ¹ chernikov.pp@ugatu.su, ² sahipgaraev.di@ugatu.su ³ kilmetova.lr@ugatu.su, ⁴ khadiullin.sh@ugatu.su

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 2 (100), pp. 60-67, 2023. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The article presents the development of an automated installation for mixing and supplying coolant to equipment based on a complex of cavitation-vacuum mixing of liquids in order to increase labor productivity and eliminate the human factor. The calculation of the parameters of the process of mixing the components of the LC system in the developed system was performed, and the magnitude of the pressure loss in the pipeline was also determined. The calculations showed that there is a regular decrease in the average density of water in the process of the formation of the cavitation effect and its subsequent leveling at the outlet due to the combination with a concentrator of lower density under the action of gravity.

Key words: lubricating and cooling technological means, installation, fluid mixing, emulsion, processing, system, simulation, equipment.

About authors:

CHERNIKOV, Petr Petrovich, PhD, Dept. of Automated Systems. Master of Technics & Technology (UAI, 1980).

Sahipgaraev, Damir Ildarovich, engineer of UIMPA. Master of Technics & Technology (UGATU, 2022).

KILMETOVA, Liliia Rimovna, Postgrad. Student, Dept. of Automated Systems. Master of Technics & Technology (UGATU, 2013).

KHADIULLIN, Salavat Khakimovich, PhD, Dept. of Automated Systems. Master of Technics & Technology (UGATU, 2011).