

Р.А. Манданов, Н.Г. Филиппенко, Д.Д. Быстров, А.Р. Ибрагимов, С.А. Колосов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ

Аннотация. На основе представленного в статье обзора технологии ультразвуковой очистки, рассмотрены существующие способы дегазации моющих растворов. Был произведен обзор недостатков технологического процесса ультразвуковой очистки, определена степень автоматизации существующего оборудования и была найдена возможность внесения изменений в существующие электронно-электрические и механические схемы оборудования.

Анализ системы управления ультразвуковой установки типа УЗУ 0.25 позволил определить актуальность и недостатки, связанные с отсутствием контроля уровня заполнения очищающей рабочей жидкостью. Также в работе были показаны некоторые аспекты технологических операций, связанных с подготовкой и дегазацией рабочих жидкостей. Определены проблемы, позволившие поставить цель дальнейших исследований, которая заключается в необходимости разработки автоматизированной системы, осуществляющей контроль уровня моющего раствора в ультразвуковой ванне для защиты от включения в случае недостаточного уровня или отсутствия жидкости. А так же доказана необходимость в разработке способа дегазации жидкости. Для решения этой цели в работе авторами поставлены задачи, которые заключаются в обзоре ультразвуковой установки и способах дегазации моющих растворов, разработке и проведении экспериментов с новой технологией дегазации, определена необходимость в проведении сравнительного анализа качества очистки, за счет совершенствования системы управления и технологии дегазации жидкости, используемой в ультразвуковой установке.

Ключевые слова: дегазация, ультразвуковая очистка, кавитация, моющие растворы, диссипация

R.A. Mandanov, N.G. Filippenko, D.D. Bystrov, A.R. Ibragimov, S.A. Kolosov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

STATEMENT OF OBJECTIVES FOR IMPROVEMENT AND AUTOMATION OF THE ULTRASONIC CLEANING PROCESS

Abstract. The article presents an overview of ultrasonic cleaning technology. Existing methods of degassing of washing solutions are considered. A review of the shortcomings of the technological process of ultrasonic cleaning was made in order to determine the degree of automation and the possibility of making changes to the existing electronic-electrical and mechanical circuits of the equipment.

An analysis of the control system of an ultrasonic unit of the UZU 0.25 type made it possible to determine the relevance and disadvantages associated with the lack of control over the filling level of the cleaning working fluid. The paper also shows some aspects of technological operations related to the preparation and degassing of working fluids. The problems were identified that made it possible to set the goal of further research, which is the need to develop an automated system that controls the level of the cleaning solution in the ultrasonic bath to protect against inclusion in the event of an insufficient level or lack of liquid. And also proved the need to develop a method for degassing the liquid. To solve this goal, the authors set tasks in the work, which consist in reviewing the ultrasonic installation and methods for degassing cleaning solutions, developing and conducting experiments with a new degassing technology, determined the need for a comparative analysis of the quality of cleaning, by improving the control system and degassing technology liquid used in ultrasonic installation.

Keywords: degassing, ultrasonic cleaning, cavitation, cleaning solutions, dissipation

Введение

Ультразвуковая очистка – это современная технология, которая широко используется в различных областях, начиная от медицины и заканчивая промышленностью. В основе этой технологии лежит использование ультразвуковых волн, которые создаются специальными устройствами. Ультразвуковая очистка (УЗ) позволяет получать высокую эффективность очистки различных поверхностей и деталей и устройств, что делает ее неотъемлемой частью

многих производственно-бытовых процессов [1]. Проведенный анализ существующих технологий и оборудования, используемого на предприятиях машино- и приборостроения на примере релейного завода и завода тяжелого машиностроения показал, что автоматизация процесса практически отсутствует. Технология очистки также зачастую не использует подготовку жидкой смеси, что снижает производительность и повышает энергопотребление.

В связи с этим целью данной работы был анализ существующего оборудования и технологий УЗ-очистки, с целью разработки предложений по модернизации систем автоматизированного управления и совершенствованию технологии ультразвуковой очистки, что является актуальной задачей современности.

Обзор технологии ультразвуковой очистки

Процесс ультразвуковой очистки основан на использовании нелинейных эффектов, возникающих в жидкостях под действием ультразвука (УЗ). Среди этих эффектов, таких как акустическое течение, звуковое давление, звукокапиллярный эффект, главное значение имеет кавитация [2].

Кавитация сопровождается возникновением очень высоких мгновенных гидростатических давлений, которые отрывают прилипшие к очищаемой поверхности частицы загрязнений (рис. 1). При достаточно высокой амплитуде УЗ колебаний и переходе из зоны положительного в зону отрицательного давления происходит захлопывание вакуумных кавитационных пузырьков микронного размера в большом количестве, вызывающее ударную волну [3].

Эффективность УЗ очистки зависит от выбора многих параметров, в том числе и физико-химических свойств моющей жидкости. Для правильного выбора растворов необходимо учитывать характер загрязнений: степень их адгезии к очищаемой поверхности, химическое взаимодействие с моющим раствором, способность противостоять микроударным нагрузкам (кавитационную стойкость) [4].



Рис. 1 Схема ультразвуковой очистки

Введение ультразвуковых колебаний в моющие растворы позволяет ускорить процесс очистки и получить более высокую степень чистоты поверхности. При этом в большинстве случаев удается исключить пожароопасные и токсичные органические растворители и использовать исключительно водные растворы технических моющих средств [5].

Анализ показал, что к достоинствам ультразвуковой очистки можно отнести:

- высокую эффективность;
- безопасность;
- высокую скорость обработки;
- универсальность.

Анализ литературных источников и консультации со специалистами промышленных предприятий также показал и ряд недостатков ультразвуковой очистки деталей, а именно:

- высокая стоимость оборудования;

- неконтролируемый процесс обработки, риск повреждения очищаемых изделий;
- загрязнение дополнительными частицами, продукта очистки.
- необходимость в разработке технологических процессов и подборе режимов работы оборудования под каждое изделие индивидуально.

Также в ходе исследований было обнаружено, что важную роль в ультразвуковой очистке играет наличие газов в моющем растворе, поэтому перед очисткой необходимо производить дегазацию. Исследования показали, что процесс удаления газов из раствора на промышленных предприятиях осуществляется по необоснованной методике или не осуществляется вовсе. Физика процесса влияния растворенных газов состоит в том, что в процессе очистки газ взаимодействует со звуковой волной, что приводит к диссипации энергии. При этом надо отметить, что при этом практически вся энергия превращается в тепло, что снижает эффективность ТВЧ- процесса. Диссипация может происходить как в механических, так и в электрических системах, а также и в других процессах, в которых есть движение или изменение состояния материала. В результате технологическая система накапливает тепловую энергию, что может привести к ее перегреву и нарушению работы. Кроме того, диссипация также может приводить к износу и повреждению материалов, из которых состоят системы и устройства. Поэтому диссипация энергии на контуре подвода УЗ-энергии и разрушение в месте контактного соединения. Поэтому процесс дегазации с обязательным включение его в технологический процесс УЗ-обработки необходимо учитывать при разработке и эксплуатации различных систем и устройств. [6].

В различных отраслях промышленности используемые способы дегазации раствора включают:

- длительная нормальная дегазация;
- вакуумная дегазация;
- использование инертных газов;
- перегонка.

Уровень дегазации моющих растворов используемых для ультразвуковой очистки зависит от типа и характеристик самого моющего раствора, а также от мощности и частоты ультразвуковых колебаний, но в основном полагаются на опыт операторов. Чаще всего оптимальный уровень дегазации моющих растворов определяют экспериментально [7].

При этом основное внимание, в ходе исследования было обращено на тот факт, что одним из наиболее используемых способов контроля уровня дегазации моющих растворов является визуальный контроль. Его методика состоит в том, что оператор наблюдает за поверхностью моющего раствора и контролирует количество и размер пузырьков газа на его поверхности. Это можно делать как на самой поверхности, так и с помощью металлических лент, которые погружают в моющий раствор [8].

Хотелось бы в качестве примера привести вывод, полученные в начале процесса данного исследования. Промышленное оборудование, используемое в настоящей работе, изначально находилось в нерабочем состоянии. Его восстановление и консультация со специалистами Иркутского релейного завода позволило определить причину выхода, которой была диссипация энергии настоящему исследованию после непродолжительной работы было выведено из строя по причине механического разрушения мест крепления.

В связи с этим в ходе работы авторами была выдвинута гипотеза о возможности модернизации системы автоматизированного управления процессом УЗ-очистки.

Модернизация и автоматизация конструкции ультразвуковой установки

Анализ существующего УЗ-оборудования как объекта управления показал, что оно может быть модернизировано с интеграцией в него автоматизированной системы управления (АСУ) без внесения изменений в существующие электромеханические схемы установки. Усовершенствование конструкции заключается в внедрению автоматизированной системы защиты от включения ультразвуковой ванны без жидкости. Включение ультразвуковой ванны без жидкости может привести к серьезным повреждениям прибора. Ультразвуковой про-

цесс основан на создании колебаний в жидкости, которые, в свою очередь, приводят к образованию мельчайших пузырьков воздуха. Если в ванне нет жидкости, тогда ультразвуковые волны не могут быть поглощены, и они будут отражаться обратно в ультразвуковую ванну. Это приведет к тому, что энергия ультразвуковых волн будет рассеиваться в воздухе и не будет использоваться для обработки жидкости, кроме того, включение ультразвуковой ванны без жидкости может привести к перегреву прибора, т.к. вода играет роль "охлаждающей жидкости". Это может повредить высокочувствительные элементы системы, входящие в конструкцию установки, а также работа ультразвуковой ванны без жидкости может быть опасно для здоровья человека, т.к. высокочастотные волны оказывают негативное воздействие на организм [9 - 10].

Принцип построения систем управления был основан на разработках школы электротермии созданной на базе Иркутского государственного университета путей сообщения [10-13]. В качестве совершенствования автоматизированной системы управления предлагается использовать процесс контроля уровня жидкости в ультразвуковой ванне. В качестве аппаратного решения блока контроля и управления предлагается использование датчика уровня жидкости подключенного к программируемому микроконтроллеру. В качестве объекта управления была выбрана наиболее распространенная модель ультразвуковой установки УЗУ 0.25, изображенная на рис. 2.

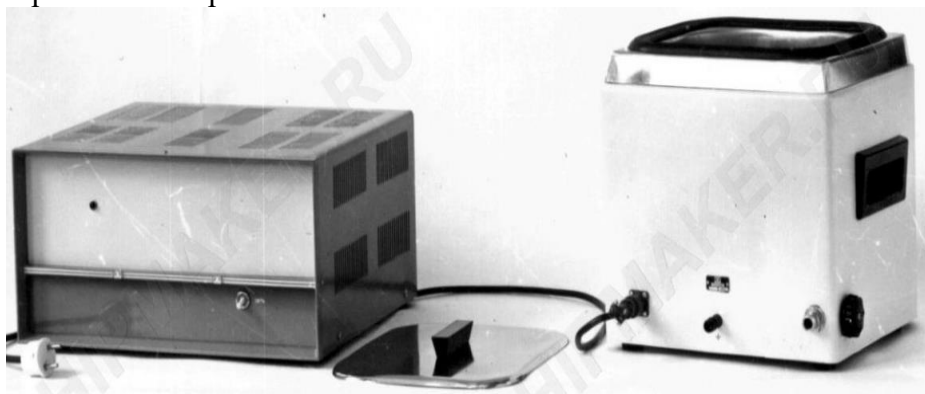


Рис. 2 Ультразвуковая установка модели УЗУ 0.25, выбранная в качестве экспериментальной для проведения работ по усовершенствованию системы управления

Необходимо заметить, что работам по автоматизации предшествовали мероприятия по изучению конструкции, схем и принципа работы данной установки. Описание принципа работы и схем в статье не приводится. Изучение этих подзадач позволило восстановить работоспособность УЗ-ванны и провести ревизию генератора.

Анализ конструкции установки УЗУ, как объекта управления (рис. 3), подтвердил нашу гипотезу возможности автоматизации процесса.

На представленной блок-схеме управления существующего оборудования модели УЗУ 0.25 имеется система задания исходных данных, а именно максимального тока I_{max} и времени работы установки τ . При этом, необходимо отметить, что ток I_{max} ограничивается штатно-установленным реле (электронного или электромеханического типа) настроенным на максимальный ток безаварийной работы установки. Время работы оборудования τ выставляется (реле) посредством задания, заранее определенного его значения, полученного экспериментально. Принцип управления оборудования сводится к выполнению следующих условий:

$$I_{тек} \leq I_{max} \text{ и } \tau_{тек} \leq \tau,$$

т.е. невыполнение данных условий приведет к автоматическому отключению оборудования.

Несложный анализ позволяет видеть, что в данном виде система управления не имеет обратной связи с рабочим органом (УЗ-ванной) и не защищает его от диссипации.

Выбрав целью настоящей работы, совершенствование автоматизированной системы управления на основе проанализированных выше имеющихся недостатков, была разработана схема автоматизации процесса управления существующего оборудования, показанная на рис. 4.

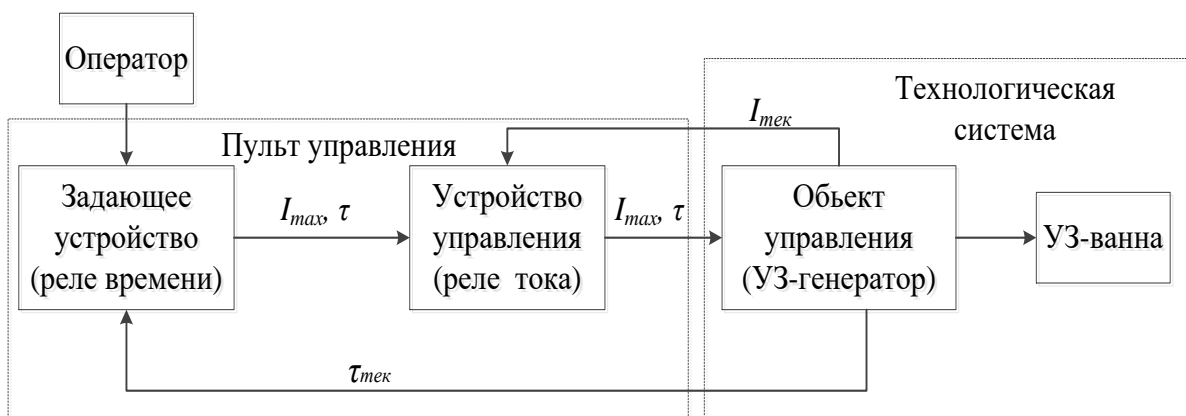


Рис. 3 Блок схема системы управления существующей установки УЗУ 0.25

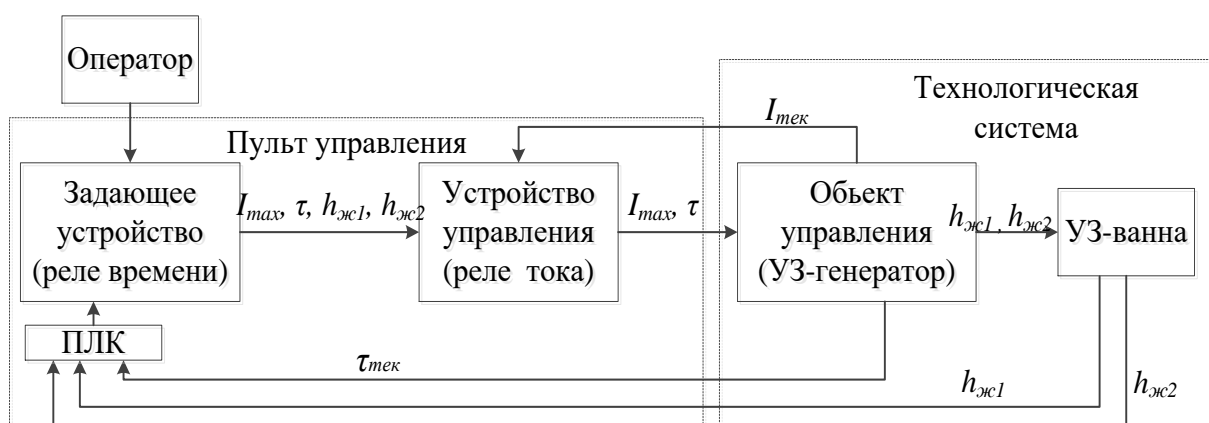


Рис. 4 Блок схема системы управления модернизированной установки УЗУ 0.25

Принцип работы усовершенствованной системы управления установки УЗУ-0,25 заключается в том, что добавление в технологическую систему блока контроля уровня жидкости позволит выполнить две основополагающих функций, недостающих системе. Контроль уровня жидкости $h_{ж1}$, введенный задающим устройством через пульт управления позволит контролировать наличие мощного раствора в рабочей камере через программирующий контроллер (ПЛК). Отсутствие жидкости или его недостаточный уровень выдаст сообщение о невозможности работы и отключит оборудование. Контроль уровня жидкости $h_{ж1}$ (близкая к нулевой динамика изменения $h_{жи} - h_{жи+1} \approx 0$) позволит идентифицировать процесс окончания дегазации непосредственно после включения УЗ-установки, что даст сигнал на увеличение мощности работы установки, без угрозы воздействия на нее диссипационных явлений.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного обзора литературы и анализа систем управления ультразвуковой установки было определено, что существующие ультразвуковые установки не имеют достаточного уровня автоматизации в результате чего происходит снижение качества, увеличиваются энергозатраты и отказы оборудования, за счет диссипации энергии.

Усовершенствование конструкции системы управления ультразвуковой установки модели УЗУ 0.25 позволило организовать процесс контроля уровня жидкости в рабочей камере (ванне) и степень ее дегазации.

Разработка конструкции блока управления и проведение натурных испытаний устройства системы автоматизированного управления установки ультразвуковой очистки изделий является темой дальнейших исследований, результаты которых будут представлены после окончания работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ультразвуковые технологии : учеб.-метод. пособие. / А. П. Быков ; М.: Издательство Лань, 2013. – 156 с.
2. Физические основы ультразвуковой технологии: учеб.-метод. пособие. / Л. Д. Розенберг М.: Изд-во Наука, 1970 – 256 с.
3. Leighton T.G. Acoustic Bubble. London.: Academic press, №3 (127) 1995. С. 46-51.
4. Жарова Валерия Денисовна Применение ультразвуковых технологий при очистке изделий // Science Time. 2019. №12 (72).
5. А.С. Дорофеев, А.В. Николаев, И.В. Шестакова и др. «Химическая технология. Часть 1. Технологические процессы», Москва, «Высшая школа», 2015 – 316 с.
6. Ультразвуковая очистка: учеб.-метод. пособие. / О. К. Келлер, Г. С. Кратыш, Г. Д. Лубяницкий. Л.: Машиностроение, 1977– 211 с.
7. A. D. de Castro, E. L. Foletto, and R. S. P. de Farias, “Degassing of Water and Aqueous Solutions: A Review,” Chem. Eng. Process., vol. 44, no. 10, , 2005pp. 1081–1090.
8. Надежина Т. С., Егорова С. В., Кравцова Е. В. Исследование влияния частоты ультразвука на процесс дегазации // Вестник Белорусского государственного технологического университета. 2015. № 3(51). С. 24-28.
9. Ультразвуковая технология: учеб.-метод. пособие. / Под ред. Б.А.Аграната. М.: Металлургия, 1984. – 306 с.
10. Ультразвуковая обработка: учеб.-метод. пособие. / Под ред. В.А. Волосатов. Л.: Лениздат, 1973. – 121 с.
11. Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В., Лившиц А.В., Попов М.С., Гозбенко В.Е. Автоматизация измерения температуры полимерного материала при высокочастотном электротермическом нагреве / Н.Г.Филиппенко, Д.В. Буторин, А.В.Лившиц, М.С. Попов, В.Е. Гозбенко Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 1 (53). С. 96-103.
12. Лившиц А.В., Машович А.Я., Филиппенко Н.Г. Аспекты электротермической обработки материалов электромагнитным полем высокой частоты / А.В. Лившиц, А.Я. Машович, Н.Г. Филиппенко Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 2 (30). С. 135-140.
13. Лившиц А.В., Ларченко А.Г., Филатова С.Н. Высокочастотная электротермическая обработка неметаллического вторичного сырья / А.В. Лившиц, А.Г. Ларченко, С.Н. Филатова Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 6. С. 55-65.

REFERENCES

1. Ultrasound Ul'trazvukovyye tekhnologii [Technology: textbook.-method. allowance.] / A. P. Bykov; M.: Lan Publishing House, 2013. - 156 p.
2. Fizicheskiye osnovy ul'trazvukovoy tekhnologii [Physical foundations of ultrasonic technology]: textbook.-method. allowance. / L. D. Rozenberg / M.: Nauka Publishing House, 1970 - 256 p.
3. Leighton T.G. Acoustic Bubble. London.: Academic press, no. 3 (127) 1995. pp. 46-51.
4. Zharova V. D. Primeneniye ul'trazvukovykh tekhnologiy pri ochistke izdeliy [The use of ultrasonic technologies in cleaning products] // Science Time. 2019. No. 12 (72).
5. A.S. Dorofeev, A.V. Nikolaev, I.V. Shestakova and others. Khimicheskaya tekhnologiya. Chast' 1. Tekhnologicheskiye protsessy [Chemical technology. Part 1. Technological processes], Moscow, Higher School, 2015 - 316 p.
6. Ul'trazvukovaya ochistka [Ultrasonic cleaning: study method. allowance] / O. K. Keller, G. S. Kratysh, G. D. Lubyantskiy. L.: Mashinostroenie, 1977–211 p.
7. A. D. de Castro, E. L. Foletto, and R. S. P. de Farias, “Degassing of Water and Aqueous Solutions: A Review,” Chem. Eng. Process., vol. 44, no. 10, 2005pp. 1081–1090.
8. Nadezhina T. S., Egorova S. V., Kravtsova E. V. Issledovaniye vliyaniya chastoty ul'trazvuka na protsess degazatsii [Study of the effect of ultrasound frequency on the degassing process] // Bulletin of the Belarusian State Technological University. 2015. No. 3(51). pp. 24-28.

9. Ul'trazvukovaya tekhnologiya [Ultrasonic technology: textbook].-method. allowance. / Ed. B.A. Agranat. M.: Metallurgy, 1984. - 306 p.

10. Ul'trazvukovaya obrabotka [Ultrasonic processing: textbook] method. allowance. / Ed. V.A. Volosatov. L.: Lenizdat, 1973. - 121 p.

11. Filippenko N.G., Butorin D.V., Livshits A.V., Popov M.S., Gozbenko V.E. Avtomatizatsiya izmereniya temperatury polimernogo materiala pri vysokochastotnom elektrotermicheskom nagreve [Automation of measuring the temperature of polymeric material during high-frequency electrothermal heating] / N.G. Filippenko, D.V. Butorin, A.V. Livshits, M.S.

12. Livshits A.V., Mashovich A.Ya., Filippenko N.G. Aspekty elektrotermicheskoy obrabotki materialov elektromagnitnym polem vysokoy chastoty [Aspects of electrothermal treatment of materials by high frequency electromagnetic field] / A.V. Livshits, A.Ya. Mashovich, N.G. Filippenko Modern technologies. System analysis. Modeling. 2011. No. 2 (30). pp. 135-140.

13. Livshits A.V., Larchenko A.G., Filatova S.N. Vysokochastotnaya elektrotermicheskaya obrabotka nemetallichesкого вторичного syr'ya [High-frequency electrothermal treatment of non-metallic secondary raw materials] / A.V. Livshits, A.G. Larchenko, S.N. Filatova Science and education: scientific edition of the Moscow State Technical University. N.E. Bauman. 2014. No. 6. pp. 55-65.

Информация об авторах

Манданов Родион Александрович – студент, кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, e-mail: rodionmandanov086@gmail.com

Филиппенко Николай Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, e-mail: ifpi@mail.ru

Быстров Даниил Дмитриевич студент, кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, e-mail: mrbystrov8989@gmail.com

Ибрагимов Александр Рамильевич студент, кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, e-mail: 201986181@irgups.ru

Колосов Семён Алексеевич студент, кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, e-mail: semion.kolosoff@yandex.

Information about the authors

Mandanov Rodion Aleksandrovich – student, department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email: rodionmandanov086@gmail.com

Filippenko Nikolay Grigorievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email: ifpi@mail.ru

Bystrov Daniil Dmitrievich Student, Department of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email: mrbystrov8989@gmail.com

Ibragimov Alexander Ramilievich Student, Department of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email: 201986181@irgups.ru

Kolosov Semyon Alekseevich student, Department of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email: semion.kolosoff@yandex.