

А.Р. Бирман, С.А. Угрюмов, Б.М. Локштанов, В.В. Орлов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

Введение. Отходы переработки древесины являются сырьем для производства широкого ассортимента древесных товаров народного потребления или служат сырьевыми добавками при производстве недревесных материалов.

Основными и наиболее объемными отходами переработки древесины являются «сыпучие» отходы: кора, древесные стружки и опилки. При этом указанные отходы, в зависимости от способов их дальнейшего использования, в большинстве случаев подвергают механическому измельчению. Использование дополнительно не измельченных отходов в настоящее время возможно в основном при их сжигании в промышленных котельных и производстве плитных строительных материалов, хотя и в этих случаях подготовка к использованию (например, коры) включает измельчение рубкой, дроблением или истиранием.

Объемы корьевых отходов лесоперерабатывающих предприятий достигают величины 12–13 млн плотных м³ в год. Из них пятая часть не находит промышленного применения, что объясняется высокими затратами на осуществление технологического процесса подготовки коры к дальнейшему использованию [Житков, 1985; Бирман, Свойкин, Угрюмов, Свойкин, 2020; Копытков, Охлопова, Кондратенко, Потапенко, Наварич, 2017; Fuentealba, Salazar Montory, Vega, Norambuena-Contreras, 2016]. Указанные затраты складываются за счет необходимости сушки коры перед измельчением и высокой энергоемкости процесса измельчения на существующем оборудовании. При этом различные типы отечественных корорубок и молотковых мельниц не обладают достаточной надежностью, а размер измельченных частиц коры, обработанной на указанном серийном оборудовании, составляет пять и более сантиметров, что не удовлетворяет требованиям такой, например, обширной области применения, как сельское хозяйство [Гомонай, 2006]. При изготовлении корьевых компостов, кормовых добавок к кормам животных и птиц, которые, как установлено, дают существенный прирост сельскохозяйственной продукции, необходимо минимизировать

размеры частиц коры. На практике это достигается применением обычно двух ступенчатых (первая ступень – получение фракций от 10 до 30 мм, вторая ступень – от 1 мм и менее) специальных измельчителей, общим недостатком которых является необходимость предварительной сушки коры [Веретенник, 1976; Ефимова, Бирман, Швецова, 2012].

Мелкие частицы коры способны фильтровать и сорбировать почвенные элементы нежелательные для сельскохозяйственных культур, а также способствуют жизнедеятельности полезных почвенных бактерий. Применение корьевых компостов увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур на 100 и более процентов. Увеличение массы кормового ресурса способствует сохранению животноводства в областях с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями [Эрнст, Науменко, Ладинская, 1982].

В деревообрабатывающей промышленности при производстве пиломатериалов отходы в виде стружки и опилок составляют до 40% объемов пиловочника. Такие отходы без дополнительного измельчения используют при изготовлении плитных строительных материалов и топливных брикетов [Мохирев, Безруких, Медведев, 2015]. Однако есть области использования сыпучих древесных отходов, где такие отходы должны быть измельчены до мукообразного состояния.

Древесная мука (древесные частицы, 95% которых проходит через сито $1,25 \times 1,25 \text{ мм}^2$, и более мелкие частицы) используется [Нигматуллина, 2023; Дымченко, Петрушева, Ильязова, Липилин, 2021]:

- в абсорбентах и чистящих средствах, поглощая удаляемые вещества в количестве в три раза больше своего веса;
- в качестве наполнителя алкидных линолеумов и клеев, улучшая адгезию последних, внешний вид или текстуру клеевого шва;
- в производстве пеллет (на тонну пеллет требуется $7,5 \text{ м}^3$ опилок);
- в производстве промышленных взрывчатых веществ;
- в процессах фильтрации жидкостей, удаляя механические включения, тяжелые металлы и масла;
- в качестве наполнителей пластмасс, получаемых путем экструзии или литья под давлением;
- в резиновых смесях для регулировки вязкости резины, при изготовлении уплотнителей и гасителей шума;
- в пищевой промышленности в качестве загустителя, эмульгатора и стабилизатора в различных мясных, рыбных и хлебобулочных продуктах;
- в производстве косметических и парфюмерных средств (мыло, шампуни, дезодоранты, туалетная вода и т. д.).

Оценивая вышеизложенное, можно утверждать, что создание нового оборудования для измельчения и глубокого измельчения (до древесной муки) древесных отходов является актуальной задачей. При этом измельчение, по мнению авторов настоящей статьи, должно осуществляться не ударом (молотковые мельницы), не истиранием (дизинтеграторы), а резанием, как наименее энергоемким и наиболее производительным способом.

Целью работы является разработка технологии и оборудования для производства древесной муки из отходов предприятий лесопромышленного комплекса.

Методика исследования построена на анализе процессов измельчения древесины и разработки аппаратного оформления процессов измельчения древесных отходов.

Разработка установки для измельчения коры. Сушку и измельчение отходов окорки предлагается осуществлять на установке, схема которой представлена на рис. 1 [Бирман, Тамби, Орлов, Локштанов, 2022].

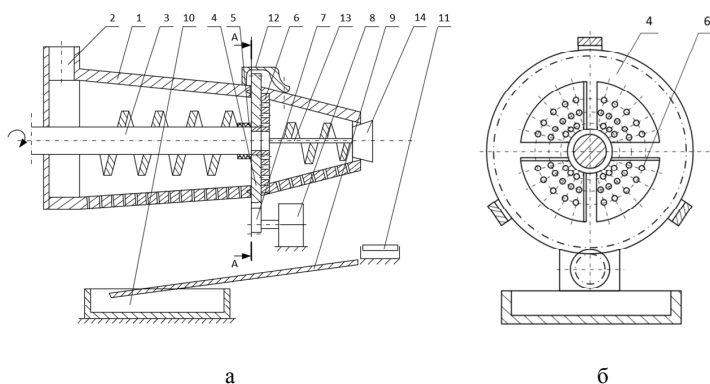


Рис. 1. Измельчитель коры: а – схема измельчителя;
б – разрез А-А с видом на механизм резания

Fig. 1. Bark shredder: а – diagram of the shredder;
б – section A-A with a view of the cutting mechanism

Достоинством установки является подача в загрузочную воронку 2 коры естественной влажности, то есть без предварительной сушки. Шнеком 3 кору продвигают к ножам кольцевой обоймы 4. На этапе продвижения коры шнеком происходит первый этап ее обезвоживания отжимом до влажности 55–60%.

Отжатая кора поступает на измельчение ножами кольцевой обоймы 4, по внешнему контуру которой выполнен зубчатый венец, входящий в зацепление с ведущей шестерней 7 с приводом 8, обеспечивающим бесступенчатое регулирование числа ее оборотов. За счет усилия пружины 5 ножи кольцевой обоймы находятся в плотном контакте с плоскостью стационарного контрножа 6, выполненного в виде перфорированной пластины. Размеры частиц измельченной коры не превышают 3 мм.

Второй этап обезвоживания уже измельченной коры происходит в результате ее уплотнения и отжима при продвижении за счет усилий шнека 13 в коническом перфорированном корпусе 1, выходное отверстие которого снабжено подвижной конической заглушкой 14.

Таким образом, обезвоживание коры отжимом производят в два этапа – до и после измельчения. При втором отжиме обрабатывается не крупнокусковая фракция коры, а ее измельченная масса, что априори приводит к интенсификации истечения влаги при отжиме. Влажность готового продукта может быть регулируемой за счет осевого перемещения заглушки 14.

Готовая продукция поступает на транспортер 11, а отжатая влага – в емкость 10.

Соединительные элементы 12 позволяют осуществлять разъем и сборку устройства, что необходимо для извлечения и заточки деталей режущего механизма (кольцевой обоймы 4 и стационарного контрножа 6).

Принципиально новым в рассмотренной установке является наличие отдельных приводов для подачи и резания обрабатываемого материала, что позволяет обеспечить превышение числа оборотов ножей по отношению к числу оборотов шнека.

Результаты экспериментальных исследований. В результате проведения экспериментов на установке (рис.1) получен продукт в виде сыпучей массы частиц коры размером не более 3 мм и влажностью 25-30%.

С целью осуществления более глубокого измельчения сыпучих отходов в виде древесных стружки и опилок предлагается к рассмотрению экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 2 [Бирман, Тамби, Локштанов, 2023].

В лаборатории кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского лесотехнического университета им. С.М. Кирова проведены эксперименты на опытной установке для глубокого измельчения сыпучих отходов деревообработки с целью получения конечного продукта в виде древесной муки. Схема установки приведена на рис. 2.

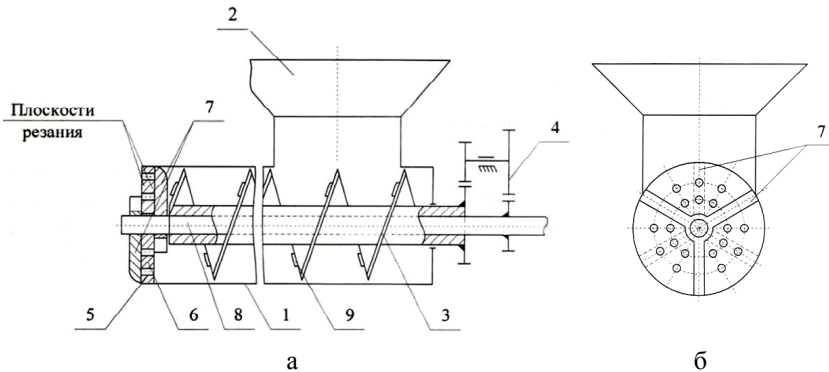


Рис. 2. Схема измельчителя коры: а – вид спереди; б – вид слева

Fig. 2. Diagram of the bark shredder: а – front view; б – left view

Рабочим материалом являлись воздушносухие опилки, полученные в результате пиления древесины цепной пилой. Размеры исходных частиц опилок составляли: длина 20...30, ширина 1,0...1,5 и толщина до 0,5 мм.

Экспериментальный измельчитель (рис.2) содержит полый корпус 1 с загрузочной воронкой 2, подающий шнек 3, установленный в полости корпуса 1, выгрузное окно 5, перекрываемое неподвижной относительно корпуса 1 сепарирующей пластиной 6. Сменный ножевой измельчающий орган выполнен в виде пары трехлопастных металлических пластин 7, в центре которых имеется сквозное отверстие. Пластины 7 закреплены на хвостовике вала 8, установленного соосно внутри подающего шнека 3, с возможностью совместного, за счет двухступенчатого вертикального редуктора 4, или независимого вращения относительно подающего шнека 3. На передней части геликоида подающего шнека 3 установлены в шахматном порядке ножи 9.

Экспериментальный измельчитель работает следующим образом. На вал 8 устанавливается сменный ножевой измельчающий орган, выполненный в виде пары трехлопастных (возможно двух или четырехлопастных, в зависимости от требуемой степени помола) ножевых металлических пластин 7 и контрножевой пластины 6 со сквозными отверстиями. Пластины 6 устанавливают неподвижно относительно корпуса 1. Ножевой измельчающий орган собирают таким образом, чтобы в режущем механизме были образованы две плоскости резания. Лопастей противоположных ножевых пластин устанавливают повернутыми относительно друг друга на половину угла раствора лопастей.

Загружаемый в воронку 2 сырьевой продукт подается шнеком 3 в направлении выгрузного окна 5. Под действием ножей 9 происходит грубое разрушение стружек, а затем, в первой плоскости резания, за счет вращающихся лопастных металлических пластин 7 происходит первичный помол материала, дальнейший проход его через сквозные отверстия контрожевой пластины 6 и дополнительный помол во второй плоскости резания с последующим выходом готовой продукции из измельчителя.

Зубчатая пара 4, входной вал которой вращается электродвигателем (на рис. 2 условно не показан), обеспечивает совместное или независимое вращение вала 8 относительно шнека 3.

Поясняя проведение операции измельчения, следует отметить, что, используя дополнительный привод для вращения зубчатой передачи 4 ножевого вала 8 и обеспечив независимое вращение ножей 7, можно вращать их с частотой равной или большей, чем частота вращения шнека 3. Увеличивая число оборотов ножей, а значит и скорость резания, можно уменьшить подачу на нож, что, как следствие, пропорционально уменьшит и величину частиц древесины, вырабатываемых механизмом резания.

Так как скорость резания пропорционально увеличивается с увеличением угловой скорости вращения вала 8, возможно регулировать размер частиц коры, меняя угловую скорость вала 8 [Технология..., 2008].

Следует отметить, что вследствие сложности изготовления установки (рис. 2) в лабораторных условиях, эксперименты проводились при равном числе оборотов (60 об./мин) шнека и пары трехлопастных ножей. Однако и при таких условиях в результате двукратного пропуска массы опилок через установку удалось получить частицы, размеры которых соответствовали размерам, предъявляемым ГОСТом к размерам частиц древесной муки.

Выводы. При увеличении скорости резания, а также при уменьшении шага ножей, снижается величина подачи на нож, а значит и уменьшается величина измельченных частиц. Конечным продуктом работы устройства является древесная мука, то есть, древесные частицы, 95% которых проходит через сито $1,25 \times 1,25 \text{ мм}^2$, и более мелкие частицы.

Результатом исследования процесса измельчения на рассмотренных экспериментальных установках является вывод, что измельчение сыпучих древесных отходов рационально осуществлять не ударом, не истиранием, а резанием, как наиболее эффективным способом.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Fuentealba C., Salazar Montory J., Vega J., Norambuena-Contreras J. New Biobased composite material using bark fibres *Eucalyptus* // 13-th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium, 2016. P. 46–50.

Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Угрюмов С.А., Свойкин В.Ф. Техника и технология утилизации короотвалов лесопромышленных предприятий // Ремонт, восстановление, модернизация, 2020. № 6. С. 10–15.

Бирман А.Р., Тамби А.А., Локистанов Б.М. Патент № 220311 Универсальный шнеково-ножевой измельчитель / заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова; заявл. 21.04.2023; опубл. 06.09.2023. Бюл. № 25. 6 с.

Бирман А.Р., Тамби А.А., Орлов В.В., Локистанов Б.М. Универсальный измельчитель древесной коры // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 8. С. 34–39.

Веретенник Д.Е. Использование древесной коры в народном хозяйстве. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 120 с.

Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы. М.: МГУЛ, 2006. 68 с.

Дымченко В.Э., Петрушева Н.А., Ильязова Э.А., Липилин М.М. Методика рационального использования древесной муки в бытовом производстве // Гуманитарные. естественно-научные и технические аспекты современности: матер. XXXIII Всерос. науч.-практич. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во ВВМ, 2021. Ч. 1. С. 304–305.

Ефимова Е.В., Бирман А.Р., Швецова В.В. Некоторые аспекты энергоемкости процесса переработки древесной коры // Системы. Методы. Технологии. 2012. Вып. 4 (16). С. 153–156.

Житков А.В. Утилизация древесной коры. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 136 с.

Копытков В.В., Охлопкова Н.П., Кондратенко О.В., Потапенко М.В., Наварич Е. Получение компостов с использованием отходов производств и их применение // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. V Междунар. науч. экологической конференции. Краснодар: КГАУ, 2017. С. 177–179.

Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал, 2015. № 2-2 (36). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011> (дата обращения: 24.12.2023).

Нигматуллина А.И. Древесная мука – перспективный наполнитель полимерных композиционных материалов // Химические проблемы современности: сб. матер. VII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Донецк: ДНУ, 2023. С. 344–346.

Технология и оборудование лесных складов и лесобрабатывающих цехов / под. ред. В.И. Пятакина. М.: МГУЛ, 2008. 384 с.

Эрнст Л.К., Науменко З.М., Ладинская С.И. Кормовые продукты из отходов леса. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 168 с.

References

Birman A.R., Svoikin F.V., Ugryumov S.A., Svoikin V.F. Technique and technology of utilization of bark dumps of timber enterprises. *Repair, restoration, modernization*, 2020, no. 6, pp. 10–15. (In Russ.)

Birman A.R., Tambi A.A., Orlov V.V., Lokshtanov B.M. Universal wood bark shredder. *Repair. Recovery. Modernization*, 2022, no. 8, pp. 34–39. (In Russ.)

Dymchenko V.E., Petrusheva N.A., Ilyazova E.A., Lipilin M.M. Methods of rational use of wood flour in household production. *Humanities. natural science and technical aspects of modernity: materials of the XXXIII All-Russian Scientific and Practical Conference*. Rostov-on-Don: VVM Publishing House, 2021. Part 1. pp. 304–305. (In Russ.)

Eftimova E.V., Birman A.R., Shvetsova V.V. Some aspects of the energy intensity of the wood bark processing process. *Systems. Methods. Technologies*, 2012, iss. 4 (16), pp. 153–156. (In Russ.)

Ernst L.K., Naumenko Z.M., Ladinskaya S.I. Fodder products from forest waste. M.: Forest Industry, 1982. 168 p. (In Russ.)

Fuentealba C., Salazar Montory J., Vega J., Norambuena-Contreras J. New Biobased composite material using bark fibres *Eucalyptus*. *13-th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium*, 2016, pp. 46–50.

Gomonai M.V. Production of fuel briquettes. Wood raw materials, equipment, technologies, operating modes. M.: MSUF, 2006. 68 p. (In Russ.)

Kopytkov V.V., Okhlopko N.P., Kondratenko O.V., Potapenko M.V., Navarich E. Obtaining compost using industrial waste and their application. *Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production: collection of scientific papers of the V International Scientific Environmental Conference*. Krasnodar: KSAU, 2017, pp. 177–179. (In Russ.)

Mohirev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. Processing of wood waste from enterprises of the timber industry as a factor of sustainable environmental management. *Engineering Bulletin of the Don electronic scientific journal*, 2015, no. 2-2 (36). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011> (accessed December 24, 2023). (In Russ.)

Nigmatullina A.I. Wood flour is a promising filler of polymer composite materials. Chemical problems of modernity: collection of materials of the VII International Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists. Donetsk: DNU, 2023, pp. 344–346. (In Russ.)

Patent No. 220311 Universal screw-knife shredder / Birman A.R., Tambi A.A., Lokshtanov B.M.; applicant and patent holder St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov; application. 04/21/2023; publ. 09/06/2023. Bul. No. 25. 6 p. (In Russ.)

Technology and equipment of forest warehouses and timber processing workshops / ed. by V.I. Patyakin. M.: MGUL, 2008. 384 p. (In Russ.)

Veretenik D.E. The use of tree bark in the national economy. M.: Forest Industry, 1976. 120 p. (In Russ.)

Zhitkov A.V. Utilization of tree bark. M.: Forest Industry, 1985. 136 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 26.10.2023

Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Локштанов Б.М., Орлов В.В. Экспериментальная технология и оборудование для производства древесной муки Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 291–301. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.291-301

В настоящее время актуальным является вопрос повышения эффективности переработки древесных отходов. Отходы переработки древесины являются сырьем для производства широкого ассортимента древесных товаров народного потребления или служат сырьевыми добавками при производстве недревесных материалов. Известны различные направления переработки древесных отходов с получением различных материалов, в том числе имеются направления использования сыпучих древесных отходов, где они должны быть измельчены до древесной муки. С технологической и энергетической точек зрения измельчение древесных отходов должно осуществляться методом резания. В статье предложена технология и оборудование для глубокого измельчения сыпучих отходов деревообработки с целью получения конечного продукта в виде древесной муки. В измельчителе под действием ножей происходит грубое разрушение стружек. Затем в первой плоскости резания за счет вращающихся лопастных металлических пластин происходит первичный помол материала, дальнейший проход его через сквозные отверстия контрножевой пластины и дополнительный помол во второй плоскости резания с последующим выходом готовой продукции из измельчителя. Эксперименты показали, что при увеличении скорости резания, а также при уменьшении шага ножей снижается величина подачи на нож, а значит и уменьшается величина измельченных частиц. Конечным продуктом работы устройства является древесная мука в виде древесных частиц, 95% которых проходит через сито $1,25 \times 1,25 \text{ мм}^2$. Установлено, что измельчение сыпучих древесных отходов рационально осуществлять не ударом, не истиранием, а резанием, как наиболее эффективным способом.

Ключевые слова: древесные отходы, древесная мука, сушка, измельчение, резание.

Birman A.R., Ugryumov S.A., Lokshtanov B.M., Orlov V.V. Experimental technology and equipment for the production of wood flour. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 291–301 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.291-301

Currently, the issue of increasing the efficiency of wood waste processing is relevant. Wood processing waste is a raw material for the production of a wide range of wood consumer goods or serves as raw materials in the production of non-wood materials. There are various directions for processing wood waste to produce various materials, including the use of bulk wood waste, where they must be crushed to wood flour. From a technological and energy point of view, the shredding of wood waste should be carried out by cutting. The article proposes a technology and equipment for deep crushing of bulk woodworking waste in order to obtain the final product in the form of wood flour. In the shredder, rough destruction of chips occurs under the action of knives. Then, in the first cutting plane, due to rotating blade metal plates, the primary grinding of the material takes place, its further passage through the through holes of the counter knife plate and additional grinding in the second cutting plane, followed by the exit of the finished product from the shredder. Experiments have shown that with an increase in the cutting speed, as well as with a decrease in the pitch of the knives, the amount of feed to the knife decreases, and therefore the size of the crushed particles decreases. The final product of the device is wood flour in the form of wood particles, 95% of which passes through a 1,25×1,25 mm sieve. It has been established that the crushing of bulk wood waste is rationally carried out not by impact, not by abrasion, but by cutting, as the most effective method.

Key words: wood waste, wood flour, drying, grinding, cutting.

БИРМАН Алексей Романович – профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. ResearcherID: X-3713-2019. ORCID: 0000-0002-1693-0515.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: birman1947@mail.ru

BIRMAN Alexey R. – DSc (Technical), Professor of the Department of Technologies of Logging Production, St.Petersburg State Forest Technical University. ResearcherID: X-3713-2019. ORCID: 0000-0002-1693-0515.

194021. Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg, Russia. E-mail: birman1947@mail.ru

УГРЮМОВ Сергей Алексеевич – профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. Researcher ID: F-6510-2016. ORCID: 0000-0002-8077-3542.

194021, Институтский пер. д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ugr-s@yandex.ru

UGRYUMOV Sergei A. – DSc (Technical), Professor of the Department of Technologies of Logging Production, St.Petersburg State Forest Technical University. Researcher ID: F-6510-2016. ORCID: 0000-0002-8077-3542.

194021. Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: ugr-s@yandex.ru

ЛОКШТАНОВ Борис Моисеевич – преподаватель кафедры № 3 Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, кандидат технических наук. Researcher ID: HTT-4599-2023, ORCID: 0000-0002-5390-1457.

194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: blokshtanov@mail.ru

LOKSHTANOV Boris M. – PhD (Technical), teacher of the department no. 3 Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny. Researcher ID: HTT-4599-2023, ORCID: 0000-0002-5390-1457.

194064. Tikhoretsky av. 3. St. Petersburg. Russia. E-mail: blokshtanov@mail.ru

ОРЛОВ Виталий Владимирович – преподаватель кафедры № 3 Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, кандидат технических наук. ResearcherID: HTT-4468-2023, ORCID: 0000-0002-1693-0515.

194064, Тихорецкий проспект, д.3, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: artictvetal1987@gmail.com

ORLOV Vitaly V. – PhD (Technical), teacher of the department no. 3 Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny. ResearcherID: HTT-4468-2023, ORCID: 0000-0002-1693-0515.

194064. Tikhoretsky av. 3. St. Petersburg. Russia. E-mail: artictvetal1987@gmail.com