

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.817-41

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-125-132

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ХВОИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ

М.А. Зырянов, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [N-6950-2016](https://orcid.org/0000-0003-4525-2124),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2124>

С.О. Медведев, канд. экон. наук; ResearcherID: [N-8240-2016](https://orcid.org/0000-0001-7459-3150),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7459-3150>

А.П. Мохирев, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [N-9961-2019](https://orcid.org/0000-0002-1692-3323),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1692-3323>

Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, ул. Победы, д. 29, г. Лесосибирск, Красноярский край, Россия, 662543; e-mail: zuryanov13@mail.ru, medvedev_serega@mail.ru, ale-mokhirev@yandex.ru

Аннотация. До недавнего времени в лесной промышленности признавался ценным только ствол дерева, а все остальное, в том числе крона, считалось отходами. Отходы лесозаготовок загромождали лесосеки и создавали благоприятную среду для размножения вредителей, а также способствовали возникновению пожаров. Сейчас в лесозаготовительной отрасли древесная зелень выступает сырьем для производства гранулированного топлива; в лесохимическом комплексе – для изготовления хлорофиллокаротиновых паст, хлорофиллина натрия, хвойного лечебного экстракта; в агропромышленном производстве – для получения хвойно-витаминной муки. Древесноволокнистые плиты широко применяются в домостроении в качестве конструкционных, отделочных и изоляционных материалов. Достоинством этих плит является возможность придания им специальных свойств: огнестойкости, водостойкости, биостойкости, звукоизоляционной и теплоизоляционной способностей – за счет добавления в композицию на стадии изготовления различных компонентов. С целью расширения сырьевой базы для производства древесноволокнистых плит выполнены исследования влияния добавки хвойной муки на качественные показатели и физико-механические характеристики готового изделия. Обоснована возможность применения данного сырья в виде хвойной муки при производстве древесноволокнистых плит. Показано влияние процентного содержания муки из хвои в общем объеме древесноволокнистой массы и размеров частиц на качественные показатели материала. Получены статистическо-математические уравнения и графические зависимости, позволяющие прогнозировать характеристики древесноволокнистых плит при заданном содержании и размерах частиц муки из древесной зелени хвойных пород. Определены оптимальные размеры данных показателей, при которых физико-механические свойства готовой продукции соответствуют требованиям ГОСТа.
Для цитирования: Зырянов М.А., Медведев С.О., Мохирев А.П. Влияние добавки измельченной хвои на качественные показатели древесноволокнистой плиты // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 125–132. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-125-132

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-1902.2019.6. Проект «Разработка и внедрение эффективной технологии комплексной переработки лесосечных отходов» подготовлен при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Ключевые слова: древесноволокнистая плита, прочность при статическом изгибе, плотность древесноволокнистой плиты, древесная зелень, хвоя, отходы, волокно, порубочные остатки.

Введение

Потребность в древесном сырье непрерывно возрастает, поэтому актуальным становится вопрос об использовании в качестве сырья не только стволовой части дерева, ветвей и сучьев, но и хвои. Как показал анализ литературных источников [1, 7–9], зелень хвойных пород, обладая богатым запасом биологически активных веществ (эфирные масла, витамины, каротин, углеводы, микроэлементы и протеины), является ценным сырьем для лесохимического производства. Технология изготовления любого вида продукции из нее включает такие операции, как сбор древесной зелени, отделение хвои от веток с последующим измельчением [10–15, 17–20]. В настоящее время используется только около 3–4 % потенциальных ресурсов хвои, что связано с отсутствием технологий ее переработки в условиях лесосеки. С целью увеличения объемов внедрения хвои в процесс производства в филиале СибГУ в г. Лесосибирске такая технология была разработана, она предполагала применение инновационной мобильной установки (патент на изобретение № 2698059 от 21.08.2019). Конструкция предлагаемого механизма, способного перемещаться по территории лесосеки, позволяет осуществлять операции по отделению и измельчению древесной зелени хвойных пород и последующей упаковке полученного продукта. Это делает возможным получение хвойного полуфабриката требуемого фракционного состава с сохранением всех полезных веществ.

Как показал анализ работ ряда авторов [2–6, 16], одним из недостаточно изученных направлений использования полуфабриката из хвои, является его добавление в древесноволокнистую плиту (ДВП). Кортаев Э.И. и Симонов В.И. [6] отмечают, что данное сырье в составе ДВП повлияет на внешний вид конечного продукта. Зырянов М.А. и др. [3–5], напротив, говорят об отсутствии изменения качественных показателей древесноволокнистых плит в случае применения при их производстве древесной зелени хвойных пород.

Целью работы является выявление закономерностей влияния добавки муки из отходов древесной зелени хвойных пород на качественные показатели ДВП.

Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования были проведены на территории лесосек Ангаро-Енисейского района. Отбор образцов осуществлялся с нормально развитых особей по 2 веточки с нижней, средней и верхней частями кроны мо-

лодых, спелых и перестойных деревьев по 20 хвоинок с 4 равноудаленных частей лапки. Всего в каждом эксперименте участвовало 720 хвоинок (по 20 хвоинок с 3 возрастов, 3 частей кроны, 4 равноудаленных частей). Отобранный материал герметично упаковывался с целью сохранения влажности и транспортировался в лабораторию для исследований.

Предварительно, в ходе серии поисковых экспериментов было установлено, что при добавлении в ДВП частиц хвой размерами менее 0,2 мм и более 0,8 мм в процентном содержании свыше 16 % значительно ухудшаются качественные показатели ДВП. Измельченную до заданных размеров древесную зелень сосны смешивали с древесноволокнистой массой, произведенной на заводе ДВП АО «Лесосибирский ЛДК № 1», формировали древесноволокнистый ковер и прессовали по 5 плиток на каждый опыт в лабораторном прессе по стандартной циклограмме. Качество конечного продукта оценивали по значениям его физико-механических показателей, определяемых стандартными методами, приведенными в ГОСТ 4598–86, в лабораторных и производственных условиях.

Исследование выполнено с использованием системного и комплексного подходов; числового моделирования, математического планирования и статистического анализа – применительно к научной проблематике. Активный эксперимент стал основным методом получения статистически-математического описания исследуемого процесса [11].

В качестве входных факторов были выбраны процентное содержание измельченной хвой в общей массе (q), размер частиц хвой (f); выходных параметров – плотность (P), предел прочности при статическом изгибе (Pr), водопоглощение (N), набухание (R) ДВП.

Основные характеристики моделей представлены в виде функциональной зависимости

$$Pr, P, N, R = f(q, f). \quad (1)$$

Интервалы варьирования входных параметров исследуемого процесса следующие: $(0,2 \pm 0,01) \text{ мм} \leq f \leq (0,8 \pm 0,03) \text{ мм}$, $(4 \pm 0,1) \text{ мм} \leq q \leq (16 \pm 0,3) \text{ мм}$.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе обработки экспериментальных данных получены уравнения, описывающие зависимости физико-механических показателей ДВП от размера частиц измельченной хвой и ее процентного содержания в общей массе изделия:

$$Pr = 1580,13 - 16,85q + 50,07f + 0,08qf - 0,03q^2 + 0,34f^2; \quad (2)$$

$$P = 23\,742,05 - 186,87q - 642,22f + 1,71qf + 1,05q^2 + 3,22f^2; \quad (3)$$

$$N = -35\,749,2 + 127,01q + 965,86f - 1,24qf + 0,08q^2 - 4,66f^2; \quad (4)$$

$$R = -16\,327,4 + 10,12q + 453,49f - 0,18qf + 0,56q^2 - 2,22f^2. \quad (5)$$

Расчеты подтвердили, что все коэффициенты регрессионных уравнений значимы.

Для наглядности и более полной оценки влияния исследуемых факторов на физико-механические показатели ДВП по уравнениям (2)–(5) построены поверхности отклика. Они дают развернутое представление о зависимости названных показателей от процентного содержания хвой и размеров ее частиц.

Как видно из представленной на рис. 1 графической зависимости и из уравнения (2), предел прочности получаемых плит возрастает при увеличении содержания древесной зелени от 2 до 10 % и снижается при увеличении более 12 %. Данный показатель также уменьшается с ростом размера добавляемых в общую массу частиц хвои; при увеличении от 0,2 до 0,8 мм – незначительно уменьшается и достигает 33–34 МПа.

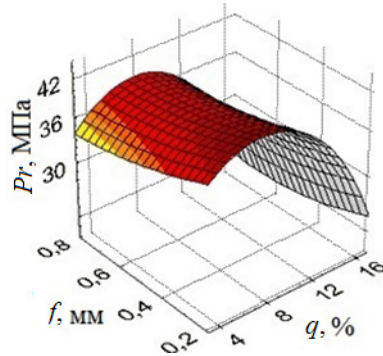


Рис. 1. Зависимость предела прочности при статическом изгибе плиты от содержания измельченной хвои в общей массе и размеров частиц хвои

Fig. 1. Dependence of the board static bending strength on the content of chopped needles in the total mass and the needle particle size

Графическая зависимость (рис. 2) и уравнение (3) показывают, что плотность получаемых плит возрастает при увеличении содержания измельченной хвои и размеров ее частиц и достигает своего максимального значения 980–990 кг/м³ при добавлении в общую массу 15–16 % измельченной хвои размером 0,7–0,8 мм.

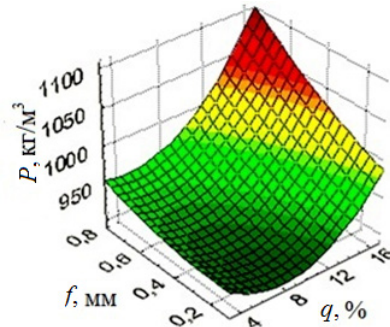


Рис. 2. Зависимость плотности плиты от содержания измельченной хвои в общей массе и размеров частиц хвои

Fig. 2. Dependence of the board density on the content of chopped needles in the total mass and the needle particle size

Как следует из представленных на рис. 3, 4 графических зависимостей и уравнений (3), (4), водопоглощение и набухание ДВП улучшаются при добавлении измельченной хвои. Они возрастают при увеличении размеров ее частиц и содержания (до 8 %) в общей массе, достигая своих максимальных значений 33–34 и 22–23 % соответственно при добавлении 15–16 % измельченной хвои и размере 0,7–0,8 мм.

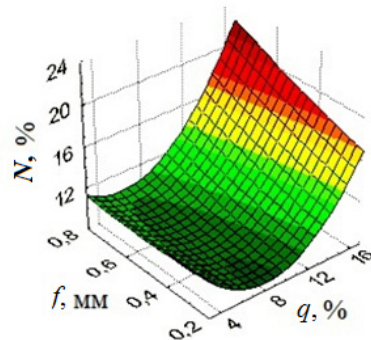
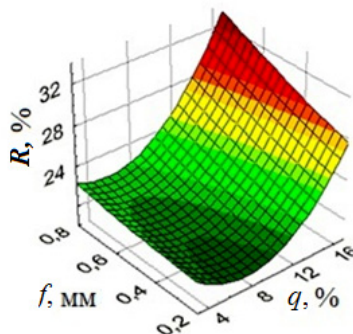


Рис. 3. Зависимость показателя водопоглощения плиты от содержания измельченной хвои в общей массе и размеров частиц хвои

Fig. 3. Dependence of the board water-absorbing capacity index on the content of chopped needles in the total mass and the needle particle size

Рис. 4. Зависимость показателя набухания плиты от содержания измельченной хвои в общей массе и размеров частиц хвои

Fig. 4. Dependence of the board swelling index on the content of chopped needles in the total mass and the needle particle size



С целью исследования процесса формирования тела плиты при добавлении измельченной хвои выполнен анализ ДВП при помощи цифрового микроскопа ЛВ-34 с максимальным увеличением до 100 крат.

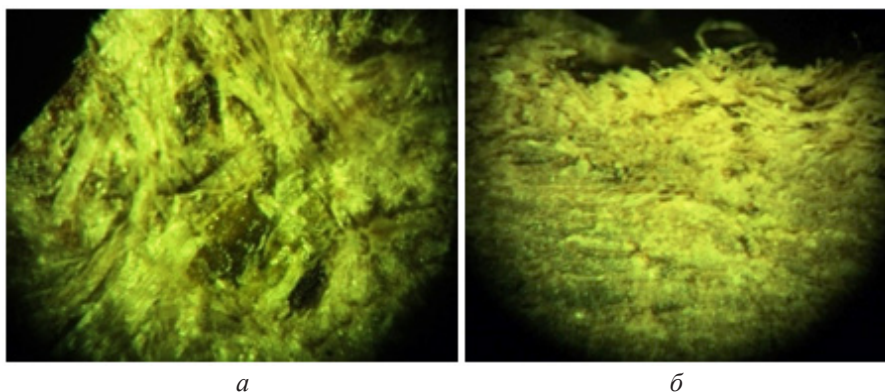


Рис. 5. Лицевая пластъ (а) и ребро (б) плиты с добавлением измельченной хвои, увеличение 70 крат

Fig. 5. The front face (a) and edge (b) of the board with the addition of chopped needles, 70x magnification

Анализ фотографий (рис. 5) показывает, что частицы хвои заполняют свободное пространство между крупным и средним волокном.

Заключение

Таким образом, полученные в ходе исследований статистическо-математические уравнения, графические зависимости и фотографии, описывающие процесс производства древесноволокнистых плит с добавлением измельченной хвои, позволяют прогнозировать получение качественного продукта в зависимости от размеров частиц хвои и ее процентного содержания в общей массе. Анализ результатов показал, что значения физико-механических показателей древесноволокнистой плиты при добавлении измельченной хвои с размером частиц 0,2–0,5 мм в общем объеме массы 10–12 % соответствуют группе Б по ГОСТ 4598–86. Использование хвои в производстве ДВП позволит снизить количество образующихся лесосечных отходов и решить ряд проблем в области экологической и пожарной безопасности, при этом качественные показатели плиты сохранятся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Безруких Ю.А., Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д., Мохирев А.П. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2014. № 12-2. С. 994–996.
Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O., Alashkevich Yu.D., Mokhirev A.P. Environmental Management in the Conditions for Sustainable Economic Development Industrial Forestry Complex Enterprises. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Journal of Economy and entrepreneurship], 2014, no. 12-2, pp. 994–996.
2. Гончаров В.Н. Теоретические основы размола волокнистых материалов в ножевых машинах: дис. ...д-ра техн. наук. Л., 1990. 474 с.
Goncharov V.N. *Theoretical Foundations of Grinding Fibrous Materials in Knife Machines*: Dr. Eng. sci. Diss. Leningrad, 1990. 474 p.
3. Зырянов М.А., Дресвянкин И.А., Рубинская А.В. Экспериментально-теоретическое обоснование физико-химических превращений древесной биомассы в технологии производства древесноволокнистых плит // Инж. вестн. Дона. 2016. № 4. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3841>
Zyryanov M.A., Dresvyankin I.A., Rubinskaya A.V. Experimental and Theoretical Study of Physical and Chemical Transformations of Woody Biomass in the Production Technology of Fibreboard. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2016, no. 4.
4. Зырянов М.А., Чистова Н.Г., Лазарева Л.И. Совершенствование работы размольного участка производства древесно-волоконных плит мокрым способом // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 193–196.
Zyryanov M.A., Chistova N.G., Lazareva L.I. Improving the Work of the Grinding Site for the Production of Fiberboard by the Wet Method. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2011, no. 3, pp. 193–196.
5. Зырянов М.А., Чистова Н.Г., Швецов В.А., Зарипов З.З. Переработка древесных отходов в производстве древесно-волоконных плит // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 4. С. 288–291.
Zyryanov M.A., Chistova N.G., Shvetsov V.A., Zaripov Z.Z. Wood Waste Processing for the Wood-Fiber Panels Production. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2010, no. 4, pp. 288–291.
6. Коротаев Э.И., Симонов В.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 144 с.
Korotayev E.I., Simonov V.I. *Production of Building Materials from Wood Waste*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1972. 144 p.
7. Мохирев А.П., Аксенов Н.В., Шеверев О.В. О рациональном природопользовании и эксплуатации ресурсов в Красноярском крае // Инж. вестн. Дона. 2014. № 4-1. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2569>
Mokhirev A.P., Aksenov N.V., Sheverev O.V. On the Rational Management and Exploitation of Resources in the Krasnoyarsk Region. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2014, no. 4-1.
8. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 264 с.
Nikishov V.D. *Integrated Use of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.
9. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Подготовка древесного волокна в производстве древесноволокнистых плит // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 4. С. 123–128.

Chistova N.G., Alashkevich Yu.D. Preparation of Wood Fiber for Fiberboard Production. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 123–128. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/22b/22be9800bbc205d4ddd76006f1a62e21.pdf>

10. Bens O., Hüttl R.F. Energetic Utilisation of Wood as Biochemical Energy Carrier – a Contribution to the Utilisation of Waste Energy and Landuse. *International Journal of Thermal Sciences*, 2001, vol. 40, iss. 4, pp. 344–351. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(00\)01220-5](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(00)01220-5)

11. Chornyy O. Influence of the Bretton Woods Institutions on Economic Growth: Literature Survey for Transitional Economic Systems. *Economics & Sociology*, 2011, vol. 4, no. 2, pp. 32–41. DOI: <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2011/4-2/4>

12. Ferguson W. Wood Pulp Is Surprise New Wonder Material. *New Scientist*, 2012, vol. 215, iss. 2878, p. 24. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(12\)62122-8](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(12)62122-8)

13. *Forests and Forestry in Sweden*. Stockholm, Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry (KSLA), 2015. 24 p. Available at: https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/in-english/forests-and-forestry-in-sweden_2015.pdf (accessed 12.03.20).

14. Goldstein J. Finding New Markets for Local Waste Wood. *BioCycle*, 2002, vol. 43, no. 12, p. 30.

15. Hellen E. Beyond Paper and Board – Leap in Resource-Efficiency with Nanocellulose and New Forming Techniques. *Forestcluster Ltd's Annual Seminar*. Helsinki, 2011. 25 p.

16. Mokhiev A.P., Pozdnyakova M.O., Medvedev S.O., Mamatov V.O. Assessment of Availability of Wood Resources Using Geographic Information and Analytical Systems (the Krasnoyarsk Territory as a Case Study). *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, no. 3, pp. 313–319. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16908>

17. Shi S.Q., Gardner D., Pendleton D., Hoffard T. Timber Production from Reclaimed Creosote-Treated Wood Pilings: Economic Analysis and Quality Evaluation. *Forest Products Journal*, 2001, vol. 51, no. 11-12, pp. 45–50.

18. Wood Waste Reduction. *Pollution Prevention Institute*. Topeka, Kansas State University, 2006. 12 p.

19. Zozulya V.V., Romanchenko O.V., Zuykov A.V., Sergeeva A.Yu., Medvedev S.O., Zozulya I.V. Financial Stimulation of Forest Resources Deep Processing. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 312–318.

20. Zozulya V.V., Sakhanov V.V., Medvedev S.O., Bezrukih Y.A., Romanchenko O.V. The Features of Industrial Modernization Management in Forest Complex. *Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 17)*. Albena, SGEM, 2017, pp. 927–934.

EFFECT OF ADDITION OF CHOPPED NEEDLES ON THE FIBERBOARD QUALITY INDICATORS

Mikhail A. Zyryanov, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [N-6950-2016](https://orcid.org/0000-0003-4525-2124), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2124>

Sergey O. Medvedev, Candidate of Economics; ResearcherID: [N-8240-2016](https://orcid.org/0000-0001-7459-3150),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7459-3150>

Aleksandr P. Mokhiev, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [N-9961-2019](https://orcid.org/0000-0002-1692-3323), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1692-3323>

Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ul. Pobedy, 29, Lesosibirsk, Krasnoyarsk Krai, 662543, Russian Federation; e-mail: zyryanov13@mail.ru, medvedev_serega@mail.ru, ale-mokhiev@yandex.ru

Abstract. Until recently, only the trunk of a tree was recognized as valuable in the forest industry, and everything else, including the crown, was considered waste. Logging wastes cluttered felling sites and created a favorable environment for habitation and reproduction of forest pests, as well as contributed to the emergence of forest fires. Today, wood greens are used as a raw material in the logging industry for the production of pellet fuels; in the wood-chemical complex for the manufacture of chlorophyll-carotene pastes, sodium chlorophyllin, and coniferous healing extract; in agro-industrial production to obtain coniferous vitamin flour. Analysis of literature sources showed that fibreboards are widely used in housing construction as structural, finishing, and insulating materials. The advantage of fibreboards is the ability to impart special properties to them, such as fire resistance, water resistance, biostability, soundproofing, and heat-insulating ability by adding various components to the fibreboard at the manufacturing stage. Studies of the effect of adding coniferous flour on the quality indicators and physical and mechanical parameters of the finished fiberboard have been carried out in order to solve the problem of expanding the raw material base for fiberboard production. The possibility of using this raw material in the form of coniferous flour in the production of fiberboard has been substantiated. The influence of the percentage of needle flour in the total volume of wood fiber pulp and particle size on the qualitative indicators of the material is shown. Statistical and mathematical equations and graphical dependencies have been obtained. They allow predicting the indicators of fiberboards for a given content and particle size of flour from coniferous greens. The optimal size of the particles of coniferous flour and its content in the fibreboard at which the values of physical and mechanical indicators of the finished product meet the requirements of the State Standard GOST 4598-86 are determined.

For citation: Zyryanov M.A., Medvedev S.O., Mokhirev A.P. Effect of Addition of Chopped Needles on the Fiberboard Quality Indicators. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 3, pp. 125–132. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-125-132

Funding: The research was funded by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists – candidates of sciences MK-1902.2019.6. The project “Development and Implementation of an Effective Technology for Integrated Processing of Logging Waste” was supported by the Krasnoyarsk Regional Fund of Science.

Keywords: fiberboard, static bending strength, fibreboard density, wood greens, needles, wastes, fiber, logging residues.