

Сведения об авторах

Бурмистрова Ольга Николаевна – заведующая кафедрой технологий и машин лесозаготовок ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, г. Ухта, Российская Федерация; e-mail: oburmistrova@ugtu.net.

Черников Эдуард Анатольевич – доцент кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chernikovea36@mail.ru.

Пильник Юлия Николаевна – доцент ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация, e-mail: ypilnik@mail.ru.

Чемшикова Юлия Михайловна – аспирант ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация, e-mail: Ychemshikova@ugtu.net.

Information about authors

Burmistrova Olga Nikolaevna – Head of the Department of technology and machinery of logging, Federal state budgetary educational institution of higher education «Ukhta State Technical University», DSc in Engineering, Professor, Ukhta, Russian Federation; e-mail: oburmistrova@ugtu.net.

Chernikov Eduard Anatolyevich – associate professor of industrial transport, construction and geodesy, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Russian Federation; e-mail: chernikovea36@mail.ru.

Pilnik Yulia Nikolaevna – associate professor, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ukhta State Technical University», PhD in Engineering, Ukhta, Russian Federation; e-mail: ypilnik@mail.ru.

Chemchikova Yuliya Mikhailovna – post-graduate student, Federal state budgetary educational institution of higher education «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russian Federation; e-mail: Ychemshikova@ugtu.net.

DOI: 10.12737/article_5b97a15d640949.77494456

УДК 630*377

ПРОГНОЗНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

кандидат технических наук, доцент **В. А. Иванников**¹

кандидат технических наук, доцент **Ю. Н. Пильник**²

Ю. В. Ермолов¹

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Российская Федерация

Планированию производственных сил на предприятии в настоящее время уделяют важное значение, а следовательно к методам прогнозирования относятся более требовательно. Главным элементом производственных сил является перспективная потребность в материальных ресурсах. Для ее определения на длительную перспективу не стоит полагаться на простые способы экономического прогнозирования, а необходимо разрабатывать и использовать особое методическое обеспечение, которое будет соответствовать специфике и отвечать задачам и целям предплановых расчетов конкретной территории. В статье нами рассмотрены модели, предназначенные для решения двух групп задач: корреляционно-регрессионное моделирование прогноза экономических показателей ввоза-вывоза лесоматериалов и статистическое моделирование прогноза по динамическим рядам. Для определения перспективной потребности в лесных ресурсах принятые методы и модели должны отвечать главным критериям социально-экономического развития, долгосрочным целям, научно-техническому прогрессу в области потребления материальных ресурсов, территориальному разделению и специфическим особенностям регионов. К тому же предлагаемые

методы должны давать возможность проводить расчеты в условиях неопределенных показателей и отсутствия подробных технико-экономических данных. Задачу определения перспективной потребности в материальных ресурсах можно решить разными методами, но главное место в комплексном методологическом обеспечении должны занять экономико-статистические методы, так как они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими. Статистические методы, используемые при прогнозировании, дают удовлетворительные по точности результаты, если тенденция изменения рассматриваемого показателя и механизм формирования его значения устойчивы и сохраняются в анализируемом периоде. Точность результатов будет ухудшаться при резких изменениях тенденций и характера взаимосвязей. При краткосрочном, например годовом, планировании резкие изменения происходят редко, что обеспечивает более широкую область применения статистических методов.

Ключевые слова: потоки, лесоматериалы, модели, оптимизация, дороги, расстояние, целевая функция, планирование.

FORECAST-ANALYTICAL MODELING OF PERFORMANCE INDICATORS IN REGIONAL FOREST TRANSPORT SYSTEMS

PhD in Engineering, Associate Professor **V. A. Ivannikov**¹

PhD in Engineering, Associate Professor **Yu. N. Pilnik**²

Yu. V. Ermolov¹

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

2 – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russian Federation

Abstract

The planning of productive forces in the enterprise is now given great importance, and therefore the methods of forecasting are more demanding. The main element of productive forces is long-term need for material resources. To determine it for the long term, one should not rely on simple methods of economic forecasting, but it is necessary to develop and use special methodological support that will meet the specifics, tasks and objectives of pre-plan calculations of a specific territory. In the article we considered models designed to solve two groups of problems: correlation-regression modeling of the forecast of economic indicators of timber imports and exports and statistical modeling of the forecast by dynamic series. To determine the future demand for forest resources, the adopted methods and models should meet the main criteria of social and economic development, long-term goals, scientific and technical progress in the field of consumption of material resources, territorial division and specific features of the regions. In addition, the proposed methods should make it possible to perform calculations in conditions of uncertain indicators and lack of detailed technical and economic data. The task of determining the long-term need for material resources can be solved by different methods, but the main place in integrated methodological support should be taken by economic and statistical methods, since they have a number of advantages over other ones. Statistical methods used in forecasting yield satisfactory results in accuracy if the change tendency of the considered indicator and mechanism of its value formation are stable and persist in the analyzed period. The accuracy of the results deteriorates with sudden changes in trends and nature of relationship. In the short-term, for example, annual planning, drastic changes occur rarely, which provides a wider scope of application of statistical methods.

Keywords: flows, timber, models, optimization, roads, distance, objective function, planning.

Необходимым условием эффективности любого производства, в том числе и лесопромышленного, является активное использование в управлении современных математических методов. Только они в условиях технического прогресса обеспечивают необходимые темпы роста производительности труда,

повышение эффективности капитальных вложений.

На сегодняшний день появляются принципиально новые технологические и производственные процессы, автоматизированные системы управления и проектирования. Лесопромышленное производство является многоплановым, включающим решение во-

просов формирования структуры предприятия и производственных процессов, перспективное планирование, календарное планирование и оперативное управление, подготовку производства на основе принципов математического моделирования производственных процессов и алгоритмизации задач управления.

Планированию производственных сил на предприятии в настоящее время уделяют важное значение, а следовательно к методам прогнозирования относятся более требовательно. Главным элементом производственных сил является перспективная потребность в материальных ресурсах. Под материальными ресурсами мы имеем в виду производственные ресурсы, которые необходимы для использования в процессе создания конечного продукта, и постоянно находящиеся в виде материальных запасов на предприятии.

Задачу определения перспективной потребности в материальных ресурсах можно решить разными методами, но главное место в комплексном методологическом обеспечении должны занять экономико-статистические методы, так как они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими. Статистические методы, используемые при прогнозировании, дают удовлетворительные по точности результаты, если тенденция изменения рассматриваемого показателя и механизм формирования его значения устойчивы и сохраняются в анализируемом периоде. Например, для решения такого рода задач можно применять метод межотраслевого баланса и нормативный метод.

Для нормативного метода требуется большой объем детальной информации. На стадии предплановых расчетов получить нужный объем информации порой очень сложно и иногда невозможно. Применение большого количества показателей приводит к увеличению затрачиваемого времени на сбор и подготовку исходных данных и повышению трудоемкости расчетов. Это снижает точность перспективных расчетов, приводит к накоплению погрешности в определении значений самих исходных показателей.

Метод межотраслевого баланса может быть использован для определения перспективной потребности в лесных ресурсах, только лишь по хозяйству региона в целом. Это связано с тем, что:

- перспективные межотраслевые балансы отдельных регионов в составе комплексной программы

научно-технического прогресса и схемы развития и размещения производительных сил региона в настоящее время не разрабатываются;

- продукция в перспективных межотраслевых балансах представляет собой определенную совокупность различных видов материальных ресурсов [1].

Все перечисленное очень ограничивает возможности использования рассмотренных методов при проведении расчетов на долгосрочную перспективу и оправдывает необходимость применения различных методов статистического прогнозирования.

Действующий комплекс экономико-математических моделей, который применяется для прогнозирования и анализа потребительского спроса на транспортные услуги по перевозке лесоматериалов и некоторых других транспортно-грузовых процессов, не в полном объеме описывает планирование сетевых поставок, в особенности тарно-штучных лесных грузов. Поэтому, нами будут рассматриваться и формироваться модели, которые предназначены для решения двух групп задач: корреляционно-регрессионное моделирование прогноза экономических показателей ввоза-вывоза лесоматериалов и статистическое моделирование прогноза поставок по динамическим рядам.

Основной задачей прогнозно-аналитического моделирования динамики показателей совершенствования лесотранспортного процесса является:

- улучшение динамики экономических показателей функционирования лесотранспортной составляющей за счет современных методов анализа и развития транспортных составляющих во времени;

- согласование прогнозов по увеличению поставок лесоматериалов с реальными рыночными отношениями;

- повышение точности плановых показателей лесотранспортного процесса;

- уменьшение трудозатрат на выполнения расчетов за счет автоматизированной обработки статистических данных.

Комплекс моделей используемых для статистического анализа и прогнозирования транспортно-грузовых процессов, изучается на выявление основной тенденции развития и оценки отклонений. При этом от конкретных условий лесопромышленных производств в анализируемом периоде должна обес-

печиваться возможность нескольких вариантов расчетов планируемых показателей [2].

Планируемые показатели можно определять следующими группами методов:

Первая группа – это методы, которые предназначены для определения будущего значения показателей не используя плановые и прогнозные значения других показателей. В эту группу относятся статистические методы прогноза по динамическим рядам, которые используют только данные наблюдений и отчетов о прошлых значениях исследуемого показателя в определенные моменты времени.

Вторую группу составляют методы, которые используют в составе исходной информации плановые значения других показателей. Сюда включают:

1) однофакторные и многофакторные модели регрессионно - корреляционного типа, использующие в качестве независимых переменных не время, а другие факторы;

2) нормативные методы, использующие различного рода зависимости между прогнозными значениями исследуемых показателей.

Статистические методы, используемые при прогнозировании, дают удовлетворительные по точности результаты, если тенденция изменения рассматриваемого показателя (объемы, расстояния, эксплуатационные затраты) и механизм формирования его значения устойчивы и сохраняются в анализируемом периоде. Точность результатов будет ухудшаться при резких изменениях показателей и характера взаимосвязей. При краткосрочном, например годовом, планировании резкие изменения происходят крайне редко, что обеспечивает более широкую область применения статистических методов [3, 4].

При долгосрочном прогнозировании (на 10-15 лет) и формировании транспортных связей на региональных уровнях надежность прогнозов экспертов по сравнению со статистическими методами еще более возрастает.

Разработка модели проводится в два этапа, и начинается с определения её назначения и круга объектов, для которых она будет использоваться. Первый этап – это анализ прошлого развития лесовозного транспорта и складывающихся тенденций. Этот этап очень важен, и ему необходимо уделять особое

значение. Второй этап - оценка результатов производственной деятельности предприятий, прогнозирование, разработка экономических нормативов.

Проектируемые объекты делятся по важнейшим показателям на однотипные классы. Для каждого класса необходимо разрабатывать свои модели, которые будут удовлетворять всем требованиям. Обязательно устанавливается уровень моделирования и перечень учитываемых факторов [5].

Для успешного решения задач в транспортно-технологических системах лесного комплекса надо уметь правильно выбирать критерий, содержание которого не всегда очевидно. Разным критериям соответствуют разные оптимальные результаты, поэтому при выборе критерия следует руководствоваться требованиями, которым он должен соответствовать. Значение критерия в модели позволяет определить, насколько точно и близко полученное решение приводит к намеченной цели. Это дает возможность судить о правильности принятого решения.

Тип зависимости между факторами и итоговой величиной устанавливается из логических соображений. Наиболее распространенные и используемые типы зависимостей между экономическими показателями приведены в таблице.

Линейные равенства применяют обычно при анализе зависимости расходов по отдельным статьям эксплуатационных расходов лесного транспорта от одного или нескольких измерителей (производства, занимающихся смежными технологическими процессами) [6, 7].

Причем

x_i – значение измерителей;

a_i – соответствующие расходные ставки;

a_c – независимые издержки в составе данной статьи расходов.

Обратная зависимость имеется, например, между себестоимостью y и размерами (объемами) лесной продукции (грузов) x в приведенных единицах.

Причем

a_c – переменные доходы на единицу;

a_i – сумма постоянных издержек;

c – величина издержек.

Степенные зависимости применяются в случаях, когда результирующая величина равна нулю

Типы зависимостей между экономическими показателями

Номер строки	Формы зависимости	Вид зависимости	
		Однофакторная	Многофакторная
1	Линейная	$y = a_c + a_1x$	$y = a_c + a_1x + \dots + \partial_m x_m$
2	Обратно пропорциональная	$y = a_c + \frac{a_1}{x}$	$y = \partial_c + \frac{\partial_1}{x_1} + \dots + \frac{\partial_m}{x_m}$
3	Степенная	$y = \partial_c x^{\partial_1}$	$y = \partial_c x_1^{\partial_1} x_2^{\partial_2} \dots x_m^{\partial_m}$
4	Параболическая	$y = a_c + \partial_1 x + \partial_2 x^2$	$y = a_c + \sum_{i=1}^m (\partial_{i1} x_1 + \partial_{i2} x_i^2)$
5	Логистическая	$y = \frac{1}{\left(a + \frac{b}{c^x}\right)}$	

при нулевом значении хотя бы одного из учтенных факторов. Степени ∂_i могут быть дробными и отрицательными [8].

В данной форме выражается, например, зависимость валового (вывезенного и реализованного лесоматериала), дохода от числа работников и величины стоимости производственных фондов [8]. Приведение к линейной форме достигается логарифмированием.

$$\lg y = L_0 + a_1 \lg x, \tag{1}$$

где $L_0 = \lg a_0$.

Параболические модели чаще всего применяются для анализа однофакторных зависимостей в случае нелинейного изменения в его составе $a_c > 0$ [9]. При $a_2 > 0$ - зависимость выпуклая кверху, при $a_2 < 0$ - выпуклая снизу. Обозначив $x^2 = z$, данную модель можно свести в двухфакторную линейную зависимость

$$y = a_c + a_1 x + a_2 z. \tag{2}$$

Логическая кривая относится к зависимости насыщения и описывает динамику спроса на продукцию лесной отрасли на позиции, которые не являются дефицитными. Время здесь важный и влияющий фактор. Кривая демонстрирует растущий спрос в период первоначального распределения нового вида лесной продукции и повышения его популярности. После удовлетворения спроса кривая отражает замедление роста [9].

Методом наименьших квадратов можно определить численность величины параметров ис-

пользования грузоперевозок:

$$\sum_{i=1}^n (y_i^e - y_i^f) \rightarrow \min, \tag{3}$$

где n - число пунктов ввоза-вывоза (объектов);

y_i^e - вычисленное значение признака;

y_i^f - фактическое значение признака.

Для определения коэффициентов рассматриваемых зависимостей используется система нормальных уравнений метода наименьших квадратов, решение которой дает искомые значения a_c и a_1 .

Значения $\sum x_i, \sum y_i, \sum x_i^2, \sum x_i, \sum x_i y_i$ определяются сложением соответствующих величин по всем объектам обследованной совокупности [10].

Системы нормальных уравнений имеют вид:

- для линейной зависимости

$$\begin{aligned} na_c + a_1 \sum_i x_i &= \sum_i y_i \\ a_c \sum_i x_i + a_1 \sum_i x_i^2 &= \sum_i x_i y_i \end{aligned} \tag{4}$$

- для линейно-логарифмической

$$\begin{aligned} na_c + a_1 \sum \lg x &= \sum \lg y \\ a_c \sum \lg x + a_1 \sum \lg^2 x &= \sum \lg x \lg y \end{aligned} \tag{5}$$

- для многокритериальных зависимостей

$$\begin{aligned} na_c + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 + \dots + a_m \sum x_m &= \sum y \\ a_c \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 + a_m \sum x_1 x_m &= \sum x_1 y \\ a_c \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 + \dots + a_m \sum x_2 x_m &= \sum x_2 y \tag{6} \\ &\dots \\ a_c \sum x_m + a_1 \sum x_1 x_m + a_2 \sum x_2 x_m + \dots + a_m \sum x_m^2 &= \sum x_m y \end{aligned}$$

Если найденные значения транспортно-эксплуатационных параметров подставить в выбранную формулу зависимости, то получим нужный вид модели [11]. Затем необходимо выбрать лучший вариант. Для выбора используется остаточная дисперсия, которая позволяет судить об отклонениях фактических значений y_ϕ от вычисленных по модели. Остаточная дисперсия по совокупности n обследованных объектов вычисляется по формуле

$$S_{ост}^2 = \frac{\sum (y_\phi - y_\phi)^2}{n}, \quad (7)$$

где y_ϕ – вычисленные значения факторов по совокупности объектов.

y_ϕ – фактические значения факторов по совокупности объектов.

Предложенная модель не должна повторять весь объект целиком. Она позволяет только описать наиболее важные при решении данной конкретной задачи свойства и стороны, которые в наибольшей степени влияют на поведение объекта с интересующих нас позиций. Рассмотрим такой пример, если моделируется выпуск лесной продукции отраслью в целом, то в первую очередь должны учитываться:

- число предприятий, которые выпускают конкретную продукцию;
- производственные мощности предприятий;
- запасы сырья и материалов на предприятиях;
- связи с потребителями и поставщиками;
- возможности и перспективы реализации продукции.

В рассматриваемом примере модель не должна учитывать:

- внутреннюю структуру каждого предприятия;
- внутривозвратные связи на предприятии;
- количество и состояние технологического оборудования на каждом предприятии и т. п.

Здесь это не являются определяющими фактором, достаточно знать их производственную мощность.

Другой пример, если моделируется функционирование конкретного предприятия. Тогда другие предприятия, производящие ту же продукцию, не являются определяющими. Здесь основную роль играют структура данного предприятия, возможности отдельных его подразделений (участков, цехов, бригад, состав технологического оборудования). То есть модели должны соответствовать реальным явлениям и процессам.

Вывод: Разработка предложенных подходов в едином межотраслевом и территориальном аспекте должна быть увязана с развитием инфраструктуры, транспортом, материальными и трудовыми ресурсами. Применяемые ранее статистические методы, используемые при прогнозировании, не дают удовлетворительные по точности результаты, если тенденция изменения рассматриваемого показателя и механизм формирования его значения сохраняются в анализируемом периоде. Методы линейного программирования и балансовочные так же не учитывают нелинейные и дискретные факторы, характерные для задач планирования проектирования мероприятий по комплексному освоению лесосырьевых баз.

Библиографический список

1. Асатурян, В. И. Теория планирования эксперимента [Текст] / В. И. Асатурян. – М. : Радио и связь, 1983. – 248 с.
2. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М. : Наука. 1982. – 320 с.
3. Сушков, С. И. Разработка теоретических основ планирования и управления транспортными потоками в лесном комплексе [Текст] / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, Ю. Н. Пильник // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8 (6). – С. 1331-1335.
4. Thomas, G. B. *Calculus and Analytic Geometry*. [Text] / G. B. Thomas, R. L. Finney // Addison – Wesley, seventh edition. – 1988.
5. Mesarovic, M. D. *Theory of Multi-Level Hierarchical Systems* [Text] / M. D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara // Academic Press. – 1970.
6. Riesel, H. *Prime numbers and computer Methods for Factorization*. [Text] / H. Riesel // *Progress in Mathematics*. Birkhäuser, 1985.

7. Benders, J. F. Partitioning Procedures for Solving Mixed-Variables Programming Problems [Text] / J. F. Benders // *Numerische Mathematik*. – 1962. – № 2. – P. 238-252.
8. Rockafellar, R. T. Convex Functions and Dual Extremum Problems. Ph. D. [Text] / R. T. Rockafellar // Thesis, Harvard University. – 1963.
9. Kelley, J. E. The Cutting Plane Method for Solving Convex Programs. *J. Sos. Ind.* [Text] / J. E. Kelley // *Appl. Math.* – 1960. – № 8. – P. 703-712.
10. Reingold, E. M. Combinatorial Algorithms [Text] / E. M. Reingold, J. Nievergelt, N. Deo // *Theory and Practice*. – Prentice-Hall, 1977.
11. Burdett, R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction [Text] / R. Burdett, E. Kozan, R. Kenley // *Engineering optimization*. – 2015. – Vol. 47. – Iss. 3. – P. 347-369.

References

1. Asaturyan V. I. *Teoriya planirovaniya ehksperimenta* [The theory of planning of experiment] Moscow, 1983, 248 p. (In Russian).
2. Marchuk G. I. *Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushchej sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, 1982, 320 p. (In Russian).
3. Sushkov S. I., Burmistrova O. N., Pilnik Yu. N. *Razrabotka teoreticheskikh osnov planirovaniya i upravleniya transportnymi potokami v lesnom komplekse* [Development of theoretical bases of planning and management of transport streams in the forest complex]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2014, no. 8 (6), pp. 1331-1335. (In Russian).
4. Thomas G. B., Finney R. L. *Calculus and Analytic Geometry*. Addison – Wesley, seventh edition, 1988.
5. Mesarovic M. D., Macko D., Takahara Y. *Theory of Multi - Level Hierarchical Systems*, Academic Precc, 1970.
6. Riesel H. *Prime numbers and computer Methods for Factorization*. Progress in Mathematics. Birkhäuser, 1985.
7. Benders J. F. Partitioning Procedures for Solving Mixed-Variables Programming Problems. *Numerische Mathematik*, 1962, no.2, pp 238-252.
8. Rockafellar R. T. *Convex Functions and Dual Extremum Problems*. Ph. D. Thesis, Harvard University, 1963.
9. Kelley J. E. The Cutting Plane Method for Solving Convex Programs. *J. Sos. Ind. Appl. Math*, 1960, no. 8, pp. 703-712.
10. Reingold E. M., Nievergelt J., Deo N. *Combinatorial Algorithms : Theory and Practice*. Prentice – Hall, 1977.
11. Burdett R., Kozan E., Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. *Engineering optimization*, 2015, Vol. 47, Issue 3, pp. 347-369.

Сведения об авторах

Иванников Валерий Александрович – заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: ivannikov_vrn@mail.ru.

Пильник Юлия Николаевна – доцент ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация; e-mail: ypilnik@mail.ru.

Ермолов Юрий Викторович – аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: yura.ermolow2010@yandex.ru.

Information about authors

Ivannikov Valery Aleksandrovich – Head of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation, e-mail: ivannikov_vrn@mail.ru.

Pilnik Yulia Nikolaevna – associate professor, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ukhta State Technical University», PhD in Engineering, Ukhta, Russian Federation; e-mail: ypilnik@mail.ru.

Yermolov Yuri Viktorovich – post-graduate student, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh Russian Federation; e-mail: yura.ermolow2010@yandex.ru.