

УДК 338

***Е. Б. Назаренко***

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) Мытищинский филиал, (МГТУ им. Н.Э. Баумана МФ), Мытищи, e-mail: lena1409@yandex.ru

***И. Н. Назаренко***

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) Мытищинский филиал, (МГТУ им. Н.Э. Баумана МФ), Мытищи, e-mail: nasarenko37@mail.ru

***О. В. Гамсахурдия***

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) Мытищинский филиал, (МГТУ им. Н.Э. Баумана МФ), Мытищи, e-mail: ole4kamoskow@mail.ru

### **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ХВОЙНО-ВИТАМИННОЙ МУКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ MATHCAD**

**Ключевые слова:** комплексное использование биомассы дерева, производство хвойно-витаминной муки, система автоматического проектирования математических расчетов MathCAD, абсолютная экономическая эффективность, рентабельность продукции.

В современных условиях особую актуальность приобретают вопросы комплексного использования биомассы древесины, в частности древесной зелени. В статье отмечено, что первостепенной задачей предприятий лесопромышленного комплекса является многоцелевое, рациональное использование лесосырьевых ресурсов. В связи с этим, в условиях импортозамещения, становится особенно актуально открывать производства отечественных, экологически чистых, безопасных и дешевых кормовых добавок на основе комплексов по переработке древесной зелени. В статье произведен расчет оптимального объема лесозаготовок при разном соотношении хвойных и лиственных пород в составе лесосечного фонда, при котором производство хвойно-витаминной муки будет рентабельно. Для расчета была выбрана система автоматического проектирования математических расчетов MathCAD, в которой описание решения математических задач и результатов вычислений осуществляется с помощью привычных математических формул и знаков. Представленные в статье модели позволяют выполнять расчеты для любых объемов лесозаготовок, при разном соотношении хвойных и лиственных пород в составе лесосечного фонда.

***E. B. Nazarenko***

Bauman Moscow state technical University (national research University)  
Mytishchi branch, (MSTU N.E. Bauman MF), Mytishchi, e-mail: lena1409@yandex.ru

***I. N. Nazarenko***

Bauman Moscow state technical University (national research University)  
Mytishchi branch, (MSTU N.E. Bauman MF), Pushkino, e-mail: nasarenko37@mail.ru

***O. V. Gamsakhurdia***

Bauman Moscow state technical University (national research University)  
Mytishchi branch, (MSTU N. E. Bauman MF), Mytishchi, e-mail: ole4kamoskow@mail.ru

### **ECONOMIC JUSTIFICATION FOR THE PRODUCTION OF CONIFEROUS VITAMIN FLOUR USING THE MATHCAD SYSTEM**

**Keywords:** integrated use of wood biomass, production of coniferous-vitamin flour, automatic design system of mathematical calculations MathCAD, absolute economic efficiency, profitability of products.

In modern conditions, the issues of integrated use of wood biomass, in particular wood greenery, become particularly relevant. The article notes that the primary task of enterprises of the timber industry is multi-purpose, rational use of forest resources. In this regard, in the conditions of import substitution, it becomes especially important to open production of domestic, environmentally friendly, safe and cheap feed additives based on complexes for processing wood greens. The article calculates the optimal volume of logging with a different ratio of coniferous and deciduous species in the forest Fund, in which the production of coniferous-vitamin flour will be profitable. The system of automatic design of mathematical calculations MathCAD was chosen for the calculation, in which the description of the solution of mathematical problems and the results of calculations is carried out using the usual mathematical formulas and signs. The models presented in the article allow us to perform calculations for any volume of logging, with a different ratio of coniferous and deciduous species in the logging Fund.

Леса – наше национальное богатство, источник получения древесины и других видов ценного сырья. История развития человечества неразделима связана с лесом. Из всех природных ресурсов Земли человек в первую очередь наиболее активно стал использовать лесные богатства. И в настоящее время лесные ресурсы эксплуатируются в больших масштабах.

Для многих отраслей народного хозяйства значение леса как поставщика сырья трудно переоценить. Если составить список продуктов, которые человек может сегодня получить в результате глубокой переработки древесного сырья, он займет несколько десятков страниц, и это многообразие из года в год увеличивается.

Эффективность использования лесных ресурсов зависит от степени полезного использования всех компонентов как древесного, так и не древесного сырья, то есть от комплексности и рациональности его потребления и переработки в конечные продукты.

Одним из перспективных направлений развития лесного сектора экономики является комплексное использования всей биомассы дерева, в том числе древесной зелени, которая является сырьем для производства хвойно-витаминной муки, пользующейся большим спросом в сельском хозяйстве.

**Цель исследования:** определение оптимального объема лесозаготовок, при которых заготовка хвойной лапки и производство хвойно-витаминной муки будет экономически целесообразным, на базе применения системы автоматического проектирования математических расчетов MathCAD.

#### Материал и методы исследования

В современных условиях во всех лесных державах для повышения экономического потенциала и общей продуктивности лесов наметилась устойчивая тенденция перехода к широкому использованию не только древесины, но и других ресурсов леса.

Помимо ствольной древесины все шире начинают использоваться и другие полезные компоненты биомассы дерева, такие как сучковая масса, пни, береста, мох, корни, зелень, кора, хвойная

лапка [1]. В настоящее время, в период импортозамещения для поддержки развития агропромышленного комплекса, особое внимание следует уделить использованию древесной зелени.

Древесная зелень обладает уникальными свойствами. Она экологически чистая, натуральная, несет в себе целебные свойства и может использоваться как сырье для получения кормовых продуктов. Так из одной тонны зелени можно получить килограмм эфирного масла, 100 кг клеточного сока, 30 кг хвойного экстракта, 100 г воска и 300 кг хвойно-витаминной муки [2].

Наиболее ценной, с этой точки зрения, является хвойная лапка, которая содержит множество биологически активных веществ, таких как витамины, каротин, фитонциды, микроэлементы.

Область применения хвойной лапки очень разнообразна, она используется для производства множества продуктов (табл. 1).

Одним из распространенных способов переработки хвойной лапки является получение витаминной муки.

Хвойно-витаминную муку у нас в стране начали вырабатывать с середины пятидесятых годов прошлого века, и с тех пор ее производство все увеличивается. В 1976 году «Journal of Forestry» (США) опубликовал статью профессора Гарольда Ф. Янга под названием «МУКА: A Good Russian Idea». В статье автор поддерживает хорошую русскую идею производства хвойно-витаминной муки из хвойных деревьев и дает высокую оценку этому продукту как кормовой добавки [3].

Как уже говорилось ранее, в хвойной муке есть много микроэлементов, витаминов и особенно много каротина, порядка 60–70 мг в килограмме препарата. В сравнении, в килограмме лучшего лугового сена – лишь 13–15 мг каротина.

Проведенные лабораторные исследования на животноводческих фермах свидетельствуют о том, что при добавлении хвойно-витаминной муки в корма сельскохозяйственным животным и птице, у коров увеличиваются удои обогащенного витаминами, микроэлементами и жирами молока; свиньи быстрее прибавляют вес; куры лучше несутся, а цыплята и поросята менее подвержены заболеваниям [4].

Таблица 1

Продукты, получаемые из хвойной лапки и области их применения

Продукт	Область применения
Хвойно-витаминная мука	Кормовая добавка для скота и птиц
Хлорофилло-каротиновая паста	Компонент мазей для лечения ожогов, язв, различных кожных заболеваний; понижает кровяное давление
Хлорофиллин натрия	Кроветворное, тонизирующее и заживляющее средство; применяется при атеросклерозе, желудочно-кишечных и кожных заболеваниях; понижает кровяное давление; входит в состав косметических изделий
Хвойный воск	Используется в десятках отраслей промышленности, в частности для придания глянца лучшим сортам бумаги, а также для полировки мебели, при окраске кож и в косметике
Провитаминный концентрат	Биологически активная добавка для косметических препаратов
Эфирное масло экстракционное	Компонент парфюмерно-косметических изделий. Лекарство «Пинабин», аналог импортного «Роватинекса»; оба применяются для лечения мочекаменной болезни
Эфирное масло пароводяной отгонки	Источник для получения искусственной камфоры; идет также на производство целлулоида и бездымных порохов
Пихтовое масло	Компонент косметических изделий
Еловое масло	Препарат для ингаляции, для натираний при ревматизме, а также для освежения воздуха в больницах
Экстракт для ванн и др.	Гигиеническое, профилактическое и лечебное средство
Натуральный клеточный сок	Витаминная добавка для безалкогольных напитков; используется и в животноводстве

Область применения хвои и продуктов из нее постоянно расширяется. Так, было замечено, что из протравленных экстрактом из муки семян зерновых культур, благодаря антибиотикам и другим биологически активным веществам, вырастают растения, устойчивые к болезням, а всходят обработанные семена дружнее. Мало того, экстракт из хвойной муки не загрязняет почву и абсолютно безвреден для человека и животных, в отличие от синтетических препаратов [5].

По экспертным оценкам в спелых и перестойных хвойных лесах на каждый кубометр заготавливаемой древесины получается в среднем 30–40 кг хвойных лапок. Это значит, что при существующих объемах лесозаготовок в стране их образуется ежегодно 9–12 миллионов тонн. Однако, во время лесозаготовок древесная зелень в основном перемалывается под гусеницами тракторов, смешивается с грунтом и остается не востребованной. В некоторых случаях ее вовсе сжигают, а вместе с тем, она может принести значительный доход, который может выражаться в миллионах и даже сотнях миллионов рублей.

Встает вопрос, при каком составе пород и объеме лесозаготовок за-

готовка хвойной лапки экономически целесообразна.

Для определения оптимальных объемов лесозаготовки, при которых производство хвойно-витаминной муки будет рентабельным нами была выбрана система автоматического проектирования математических расчетов MathCAD, универсальность которой позволяет использовать ее для выполнения финансово-экономических расчетов, решения задач анализа, прогноза и математического моделирования экономической деятельности [6].

MathCAD – это единственная математическая система, в которой описание решения математических задач дается с помощью привычных математических формул и знаков. Такой же вид имеют и результаты вычислений, поэтому MathCAD вполне оправдывает аббревиатуру CAD (Computer Aided Design), говорящую о принадлежности к сложным и в тоже время продвинутым системам автоматического проектирования – САПР [7].

MathCAD помимо вычислений легко решает задачи, которые с трудом поддаются популярным текстовым редакторам или электронным таблицам. Наличие символьного процессора упро-

щает процедуру автоматизации вычислений и преобразований. Встроенные в MathCAD специальные функции позволяют решать задачи обработки данных различными способами в зависимости от постановки задачи.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Практический интерес представляет расчет объема заготовки древесины, при котором производство хвойно-витаминной муки рентабельно. Расчеты теряют смысл, когда рентабельность принимает отрицательные значения [7].

Составим формулу расчета зависимости планового объема заготовки древесной зелени – PV(кг) от объема заготовки древесины – V (м³).

Введем символьные обозначения:

- V – объем заготовки древесины, м³;
- PV – плановый объем заготовки древесной зелени, кг;
- P – рентабельность продукции;
- ИД – индекс доходности или абсолютная экономическая эффективность.

Рассмотрим два варианта:

- хвойная древесины составляет 40 % от объема заготовленной древесины;
- хвойная древесины составляет 60 % от объема заготовленной древесины.

**Хвойная древесины составляет 40 % от объема заготовленной древесины**

В этом случае с учетом, что хвойная древесина составляет 40 % от объема вывозки, отходы лесозаготовки составляют 10 %, один кубический метр отходов хвойной древесины содержит

55,87 кг древесной зелени, из 1,72 кг которой выходит 1 кг хвойно-витаминной муки при объеме заготовки древесины 244000 м³, получаем выход хвойно-витаминной муки – 316956 кг. Получаем зависимость:

$$V = \frac{PV \cdot 0,4 \cdot 0,1 \cdot 55,87}{1,72}$$

Зависимость объема заготовки древесины от планового выхода муки прямо пропорциональная с коэффициентом 1,299:

$$V = \frac{PV}{1,299}$$

Выполним расчеты рентабельности и эффективности производства хвойно-витаминной муки для восьми значений объема заготовки: 244000 м³, 220000 м³, 200000 м³, 180000 м³, 160000 м³, 140000 м³, 120000 м³ и 110000 м³. Результаты расчетов занесем в табл. 2.

Проанализируем динамику и характер изменения рентабельности и абсолютной экономической эффективности в зависимости от изменения объема заготовки.

Используя встроенную в MathCAD для подобных расчетов функцию «corr», вычислим коэффициент корреляции Пирсона, получаем: коэффициент корреляции Пирсона для показателей рентабельности и объема заготовки древесины равен 0,992, а для показателей абсолютной экономической эффективности и объема заготовки древесины – 0,999.

**Таблица 2**

**Показатели рентабельности и абсолютной экономической эффективности производства хвойно-витаминной муки**

Плановый объем производства хвойно-витаминной муки, кг	Объем заготовки древесины, м³	Рентабельность, %	Абсолютная экономическая эффективность
142890	110000	-1	-0,01
155880	120000	2,61	0,03
181860	140000	12,06	0,17
207840	160000	23,84	0,34
233820	180000	31,23	0,47
2598000	200000	37,79	0,6
285780	220000	43,68	0,74
316956	244000	50,66	0,9

Близость коэффициента корреляции Пирсона к единице говорит о линейной взаимосвязи между анализируемыми показателями [8].

Для расчета уравнений зависимости применим метод регрессионного анализа и рассчитаем коэффициенты линейной регрессии для анализируемых зависимостей.

В систему MathCAD для реализации линейной регрессии встроены следующие функции:  $intercept( \_ , \_ )$  – возвращает значение параметра  $a$  (смещение линии регрессии по вертикали);  $slope( \_ , \_ )$  – возвращает значение параметра  $b$  (угловой коэффициент линии регрессии) [7]. Обозначим  $V$  – объем заготовки древесины в м<sup>3</sup> и рассчитаем параметры линейной регрессии (рис. 1).

Зависимость показателя рентабельности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины выражается уравнением:

$$f(x) = -42,907 + 0,4 \cdot 10^{-4} x.$$

Зависимость показателя абсолютной экономической эффективности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины выражается уравнением:

$$f(x) = -0,785 + 0,7 \cdot 10^{-6} x.$$

График зависимости рентабельности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины в кубических метрах приведен на рис. 2.

```

V := (110000
      120000
      140000
      160000
      180000
      200000
      220000
      244000)
PV := (142890
       155880
       181860
       207840
       233820
       259800
       285780
       316956)
P := (-1
      2.61
      12.06
      23.84
      31.23
      37.79
      43.68
      50.66)
I := (-0.01
      0.03
      0.17
      0.34
      0.47
      0.6
      0.74
      0.9)

a := intercept(V,P)      a = -42.907
b := slope(V,P)         b = 0.000396014
a1 := intercept(V,I)    a1 = -0.785
b1 := slope(V,I)        b1 = 0.000006930
y(x) := a1 + b1 · x     f(x) := a + b · x
    
```

Рис. 1. Листинг расчетов коэффициентов регрессии между показателями рентабельности, абсолютной экономической эффективности и объемом заготовки древесины в документе MathCAD

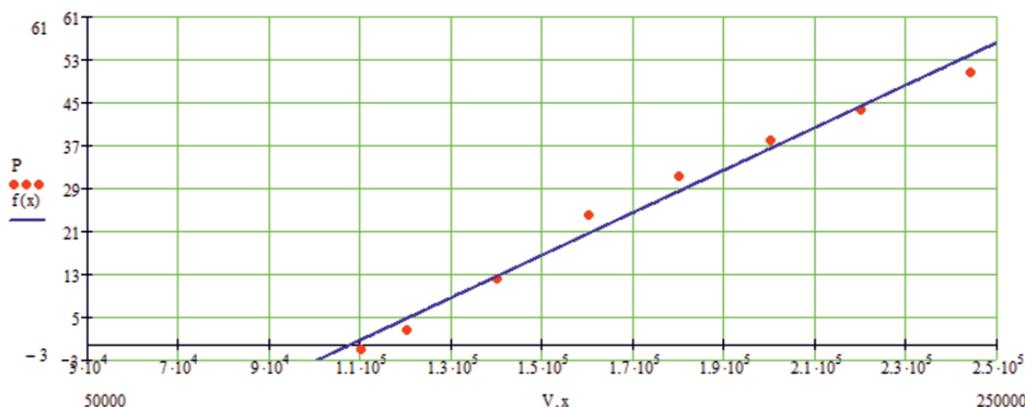


Рис. 2. График зависимости рентабельности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины

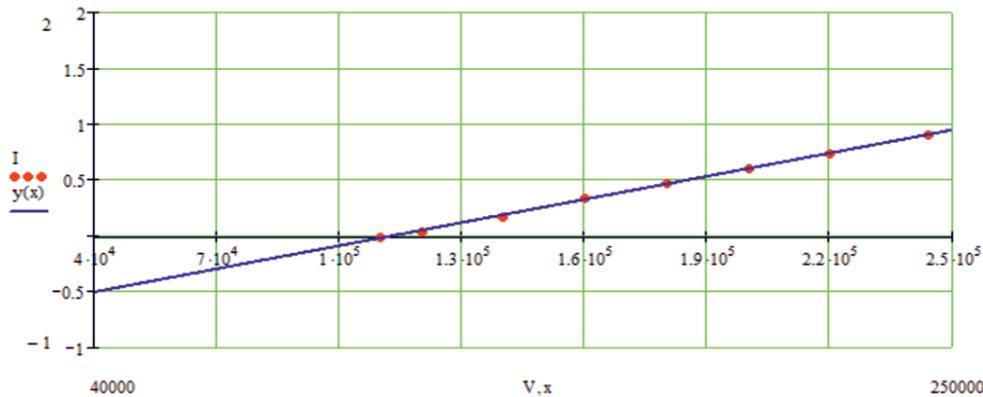


Рис. 3. График зависимости индекса доходности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины

График зависимости абсолютной экономической эффективности или индекса доходности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины, в кубических метрах приведен на рис. 3.

Как видно на рис. 2 и 3, прямые регрессии проходят в «облаке» исходных точек с максимальным среднеквадратичным приближением к ним.

Полученные зависимости являются математическими моделями рентабельности продукции и индекса доходности и могут использоваться для прогноза экономической целесообразности заготовки хвойной лапки для производства витаминной муки.

Так, например, при объеме заготовки менее 110000 м³ целесообразность производства хвойно-витаминной муки теряет смысл, так как и рентабельность продукции и индекс доходности принимают отрицательные значения, то есть производство экономически не выгодно.

**Хвойная древесины составляет 60 % от объема заготовленной древесины**

В этом случае с учетом, что хвойная древесина составляет 60% от объема вывозки, отходы лесозаготовки составляют 10%, один кубический метр отходов хвойной древесины содержит 55,87 кг древесной зелени, из 1,72 кг которой выходит 1 кг хвойно-витаминной муки при объеме заготовки древесины 244000 м³, получаем выход хвойно-ви-

таминной муки – 475544,7 кг. Получаем зависимость:

$$PV = \frac{V \cdot 0,6 \cdot 0,1 \cdot 55,87}{1,72}$$

Зависимость объема заготовки древесины в кубических метрах от планового выхода хвойно-витаминной муки в килограммах прямо пропорциональная с коэффициентом 1,949:

$$V = \frac{PV}{1,949}$$

Рассчитаем рентабельность и абсолютную экономическую эффективность производства хвойно-витаминной муки для восьми значений объема заготовки: 244000 м³, 200000 м³, 160000 м³, 120000 м³, 100000 м³, 80000 м³, 75000 м³, 72000 м³, результаты занесем в табл. 3.

Коэффициент корреляции Пирсона для показателя рентабельности производства и объема заготовки равен – 0,893, а для индекса доходности производства и объема заготовки – 1.

Сравнив два варианта расчета в зависимости от процентного соотношения пород, отмечаем, что зависимость для показателей эффективности сохраняет свою линейность. Проанализируем динамику изменения рентабельности при снижении объема заготовки.

Расчеты коэффициентов уравнений зависимостей методом регрессионного анализа приведены на рис. 4.

Показатели рентабельности и абсолютной экономической эффективности производства хвойно-витаминной муки

Плановый объем производства хвойно-витаминной муки, кг	Объем заготовки древесины, м <sup>3</sup>	Рентабельность, %	Абсолютная экономическая эффективность
140328	72000	-2,4	-0,029
146175	75000	0,78	0,009
155920	80000	2,63	0,03
194900	100000	18,07	0,25
233880	120000	31,25	0,47
311840	160000	48,99	0,86
4389800	200000	62,17	1,26
475544,7	244000	74,11	1,71

$$\begin{matrix}
 V := \begin{pmatrix} 72000 \\ 75000 \\ 80000 \\ 100000 \\ 120000 \\ 160000 \\ 200000 \\ 244000 \end{pmatrix} &
 PV := \begin{pmatrix} 140328 \\ 146175 \\ 155920 \\ 194900 \\ 233880 \\ 311840 \\ 389800 \\ 475544.7 \end{pmatrix} &
 P := \begin{pmatrix} -2.4 \\ 0.78 \\ 2.63 \\ 18.07 \\ 31.25 \\ 48.99 \\ 62.17 \\ 74.11 \end{pmatrix} &
 I := \begin{pmatrix} -0.029 \\ 0.009 \\ 0.03 \\ 0.25 \\ 0.47 \\ 0.86 \\ 1.26 \\ 1.71 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 a := \text{intercept} (V, P) & a = -30.37876578 \\
 b := \text{slope} (V, P) & b = 0.0004554 \\
 a1 := \text{intercept} (V, I) & a1 = -0.75959686 \\
 b1 := \text{slope} (V, I) & b1 = 0.00001012 \\
 y(x) := a1 + b1 \cdot x & f(x) := a + b \cdot x
 \end{matrix}$$

Рис. 4. Листинг расчетов коэффициентов регрессии между показателями рентабельности, эффективности и объемом заготовки древесины в документе MathCAD

Зависимость показателя рентабельности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины выражается уравнением:

$$f(x) = -30.379 + 0,00046x.$$

Зависимость индекса доходности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины выражается уравнением:

$$y(x) = -0,759 + 1 \cdot 10^{-6}x.$$

Построенные в MathCAD графики (рис. 5 и 6), прямые регрессии для 60% содержания хвои в объеме заготовленной древесины проходят в «облаке» исходных точек с максимальным среднеквадратичным приближением к ним аналогично регрессионным прямым с 40%

содержанием хвои в объеме заготовленной древесины.

Графики рентабельности производства хвойно-витаминной муки в зависимости от объема заготовки древесины с 40% и 60% содержанием хвои представлены на рис. 7.

Графики и таблица значений индекса доходности производства хвойно-витаминной муки в зависимости от объема заготовки с 40% и 60% содержанием хвои представлены на рис. 8.

Согласно приведенному расчету производство хвойно-витаминной муки будет нерентабельно, если объем заготовки древесины менее 72000 м<sup>3</sup> при 60% содержания хвойных насаждений и менее 110000 м<sup>3</sup> при 40% содержания хвойных насаждений. Рентабельность и индекс доходности в этом случае принимают отрицательные значения.

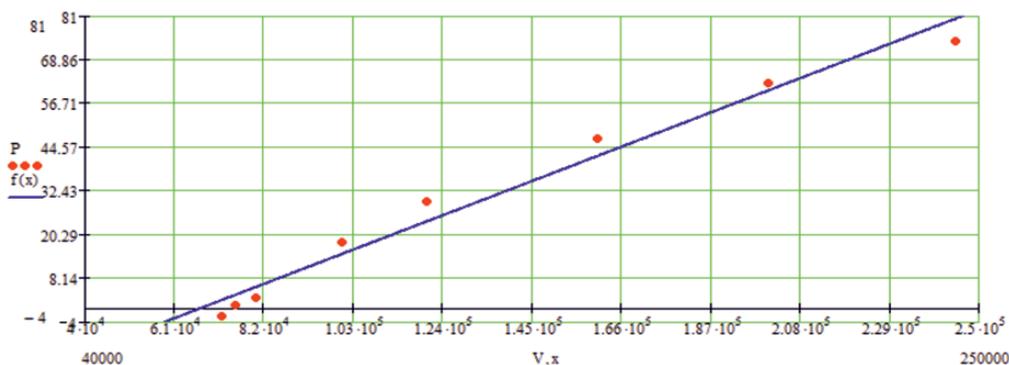


Рис. 5. График зависимости показателя рентабельности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины

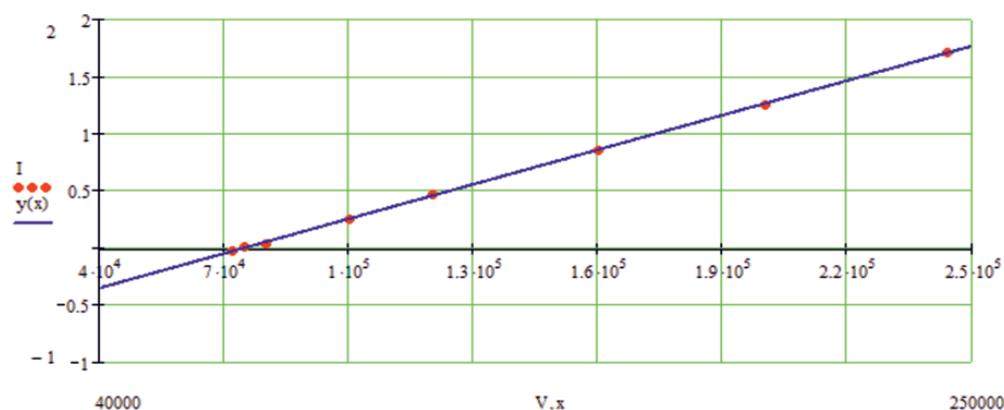


Рис. 6. График зависимости показателя индекса доходности производства хвойно-витаминной муки от объема заготовки древесины

$$f_1(x) := -42.907 + 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot x$$

$$f(x) := -30.379 + 0.46 \cdot 10^{-3} \cdot x$$

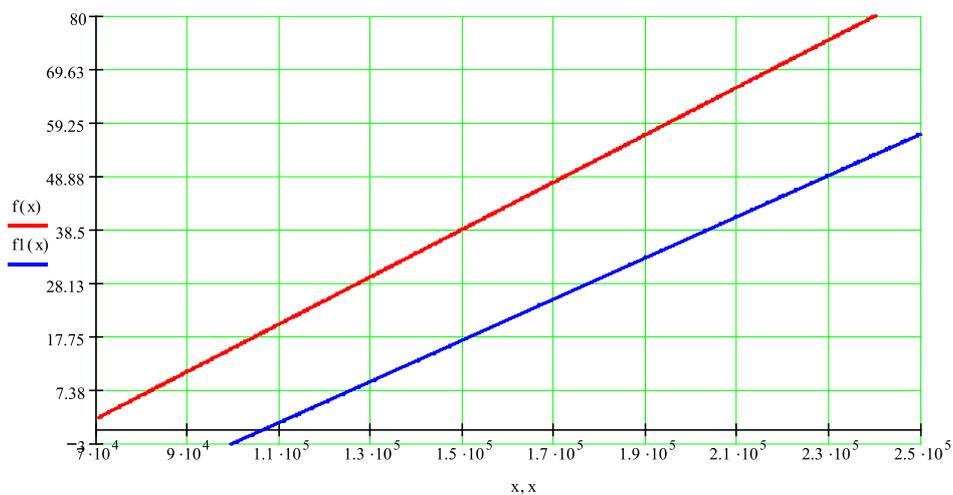


Рис. 7. Графики рентабельности производства хвойно-витаминной муки в зависимости от объема заготовки древесины с 40% (f<sub>1</sub>(x)) и 60% (f(x)) содержанием хвойных пород

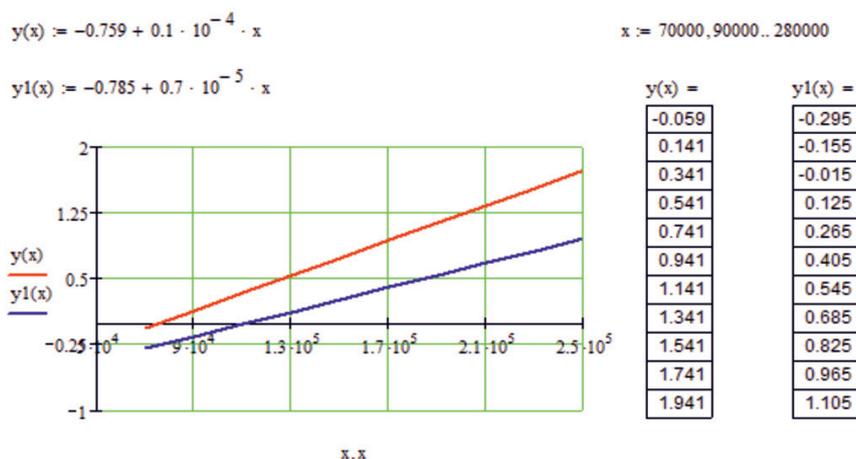


Рис. 8. Графики и таблица значений индекса доходности производства хвойно-витаминной муки в зависимости от объема заготовки с 40% ( $y1(x)$ ) и 60% ( $y(x)$ ) содержанием хвойных пород

### Выводы

В заключении можно сделать следующие выводы.

1. Производственное использование хвой древесных пород имеет большое будущее и в настоящее время начинает развиваться большими темпами. Широкое применение хвойная лапка в настоящее время нашла в животноводстве в качестве кормовых добавок животным. Кормовые добавки из отходов и побочных продуктов леса, к которым относится хвойная лапка, способствуют нормализации физиологических процессов в организме животных, улучшают их рост и продуктивность.
2. Первостепенной задачей предприятий лесопромышленного ком-

плекса является многоцелевое, рациональное и комплексное использование лесосырьевых ресурсов. В связи с этим, в условиях импортозамещения, становится особенно актуально открывать производства отечественных, экологически чистых, безопасных и дешевых кормовых добавок на основе комплексов по переработке древесной зелени.

3. Используя систему автоматического проектирования математических расчетов MathCAD, были разработаны модели определения оптимального объема заготовки древесины при разном породном составе, когда заготовка хвойной лапки экономически целесообразна.

### Библиографический список

1. Сергеева Г.С., Комплексная переработка древесной зелени. В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов XVI международная научно-практическая конференция: в 3 частях. 2016. С. 53–57.
2. Комплексная химическая переработка древесины: учебное пособие / Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко, Е.А. Павлова / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. 74 с.
3. Harold E. Young. Мука: A Good Russian Idea. Journal of Forestry. Volume 74. Issue 3. March 1976. 160 p.
4. Левин Э.Д., Репях С.М. Переработка древесной зелени. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 120 с.
5. Тарасов С.М., Кононов Г.Н. Комплексная химическая переработка древесины. Технология лесохимических и гидролизных производств. Учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки 18.03.01, 18.04.01. М.: ФГБОУ ВО МГУЛ, 2016. 122 с.
6. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15: Учебный курс. СПб.: Питер, 2011. 399 с.
7. Очков В.Ф. Физические и экономические величины в Mathcad и Maple. М.: Финансы и статистика, 2002. 192 с.
8. Очков В.Ф., Богомолова Е.П., Иванов Д.А. Физико-математические этюды с Mathcad и Интернет: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2016. 388 с.