

Оптимизация раскроя пиловочника крупных размеров с выпиливанием трех брусьев разной толщины и шести пар боковых обрезных досок

А. И. Агапов¹, Е. О. Мишланов²

¹доктор технических наук, профессор кафедры машин и технологии деревообработки, Вятский государственный университет. Россия г. Киров. E-mail: usr00005@vyatsu.ru

²студент кафедры машин и технологии деревообработки, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: Mishlanov.e@yandex.ru

Аннотация. Математическая модель задачи оптимизации раскроя пиловочника крупных размеров составлена для пифагорической зоны. Целевая функция представляет собой сумму площадей поперечного сечения брусьев и боковых обрезных досок. Уравнения связи раскрывают взаимосвязь размеров брусьев и досок с диаметром пиловочника в вершинном торце. Для решения задачи оптимизации использован метод множителей Лагранжа и численный метод. Разработан алгоритм для определения оптимальной толщины центрального и боковых брусьев, а также размеров боковых обрезных досок, при которых целевая функция принимает максимальное значение. С увеличением толщины центрального бруса величина целевой функции (выход пиломатериалов) увеличивается и принимает максимальное значение при коэффициенте увеличения толщины центрального бруса по сравнению с толщиной бокового бруса, равном 3,0.

Ключевые слова: пиловочник, брусья, доски, математическая модель, целевая функция, уравнения связи, алгоритм задачи.

Постановка задачи. На лесопильных предприятиях центральный брус чаще всего выпиливают по толщине больше, чем боковые [11; 12]. Иногда возможен также вариант выпиливания центрального бруса по толщине меньше чем боковые брусья [13; 14]. Поэтому необходимо знать, какое соотношение размеров брусьев по толщине является наиболее предпочтительным. Вначале задачу оптимизации рассматриваем без учета ширины пропила [1] (рис. 1).

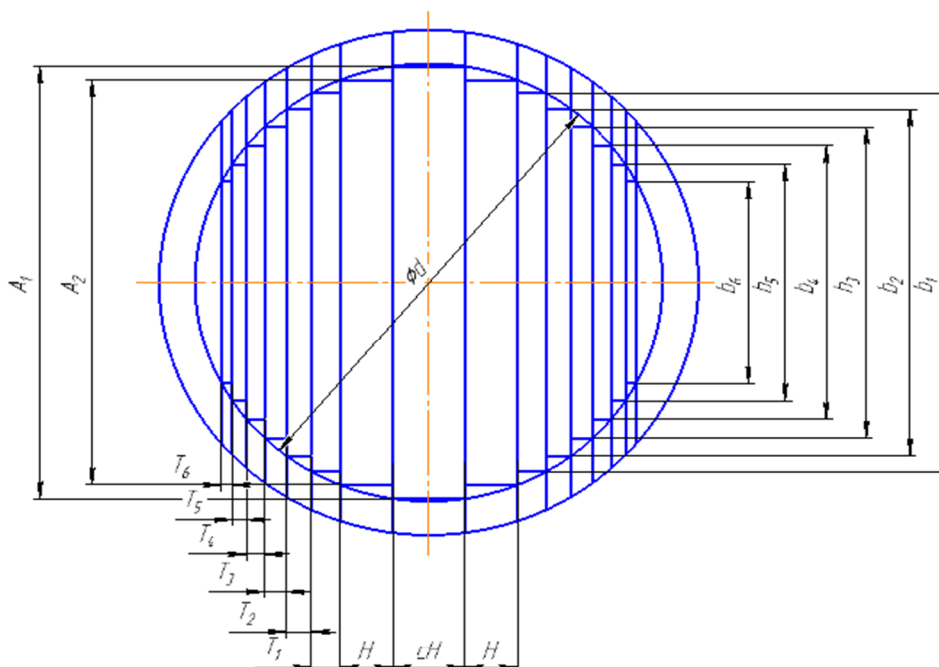


Рис. 1. Схема раскроя пиловочника с выпиливанием трех брусьев разной толщины и шести пар боковых обрезных досок

Составление математической модели. В данной задаче оптимизации раскроя пиловочника рассматривается пифагорическая зона [4]. Целевую функцию представляем в виде суммы площадей поперечных сечений брусьев и боковых обрезных досок [10; 1]:

$$Z = cHA_1 + 2HA_2 + 2T_1b_1 + 2T_2b_2 + 2T_3b_3 + 2T_4b_4 + 2T_5b_5 + 2T_6b_6, \quad (1)$$

где H – толщина бокового бруса, c – коэффициент изменения толщины центрального бруса по отношению к толщине бокового бруса, A_1 – ширина пласти центрального бруса, A_2 – ширина пласти бокового бруса, $T_1T_2T_3T_4T_5T_6$ – толщины боковых обрезных досок, $b_1b_2b_3b_4b_5b_6$ – ширины боковых обрезных досок.

Уравнения связи составляем, используя теорему Пифагора. Взаимосвязь диаметра пиловочника в вершинном торце с размерами брусьев и боковых обрезных досок представляется следующими уравнениями [3; 7].

Для центрального бруса:

$$d^2 - c^2H^2 - A_1^2 = 0. \quad (2)$$

Для боковых брусьев [8]:

$$d^2 - H^2(c + 2)^2 - A_2^2 = 0. \quad (3)$$

Для первой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - (cH + 2H + 2T_1)^2 - b_1^2 = 0. \quad (4)$$

Для второй пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - (cH + 2H + 2T_1 + 2T_2)^2 - b_2^2 = 0. \quad (5)$$

Для третьей пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - (cH + 2H + 2T_1 + 2T_2 + 2T_3)^2 - b_3^2 = 0. \quad (6)$$

Для четвертой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - (cH + 2H + 2T_1 + 2T_2 + 2T_3 + 2T_4)^2 - b_4^2 = 0. \quad (7)$$

Для пятой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - (cH + 2H + 2T_1 + 2T_2 + 2T_3 + 2T_4 + 2T_5)^2 - b_5^2 = 0. \quad (8)$$

Для шестой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - (cH + 2H + 2T_1 + 2T_2 + 2T_3 + 2T_4 + 2T_5 + 2T_6)^2 - b_6^2 = 0. \quad (9)$$

Раскрывая скобки в уравнениях связи, получим следующие равенства [2].

Для боковых брусьев:

$$d^2 - A_2^2 - c^2H^2 - 4cH^2 - 4H^2 = 0. \quad (10)$$

Для первой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - b_1^2 - c^2H^2 - 4H^2 - 4T_1^2 - 4cHT_1 - 8HT_1 = 0. \quad (11)$$

Для второй пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - b_2^2 - c^2H^2 - 4H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 4cHT_1 - 4cHT_2 - 8HT_1 - 8HT_2 - 8T_1T_2 = 0. \quad (12)$$

Для третьей пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - b_3^2 - c^2H^2 - 4H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 4T_3^2 - 4cHT_1 - 4cHT_2 - 4cHT_3 - 8HT_1 - 8HT_2 - 8HT_3 - 8T_1T_2 - 8T_1T_3 - 8T_2T_3 = 0. \quad (13)$$

Для четвертой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - b_4^2 - c^2H^2 - 4cH^2 - 4cHT_1 - 4cHT_2 - 4cHT_3 - 4cHT_4 - 4H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 4T_3^2 - 4T_4^2 - 8HT_1 - 8HT_2 - 8HT_3 - 8HT_4 - 8T_1T_2 - 8T_1T_3 - 8T_1T_4 - 8T_2T_3 - 8T_2T_4 - 8T_3T_4 = 0. \quad (14)$$

Для пятой пары боковых обрезных досок:

$$d^2 - b_5^2 - c^2H^2 - 4cH^2 - 4cHT_1 - 4cHT_2 - 4cHT_3 - 4cHT_4 - 4cHT_5 - 4H^2 - 8HT_1 - 8HT_2 - 8HT_3 - 8HT_4 - 8HT_5 - 4T_1^2 - 8T_1T_2 - 8T_1T_3 - 8T_1T_4 - 8T_1T_5 - 4T_2^2 - 8T_2T_3 - 8T_2T_4 - 8T_2T_5 - 4T_3^2 - 8T_3T_4 - 8T_3T_5 - 4T_4^2 - 8T_4T_5 - 4T_5^2 = 0. \quad (15)$$

Для шестой пары боковых обрезных досок:

$$\begin{aligned} & d^2 - b_6^2 - c^2 H^2 - 4cH^2 - 4cHT_1 - 4cHT_2 - 4cHT_3 - 4cHT_4 - \\ & - 4cHT_5 - 4cHT_6 - 4H^2 - 8HT_1 - 8HT_2 - 8HT_3 - 8HT_4 - 8HT_5 - \\ & - 8HT_6 - 4T_1^2 - 8T_1T_2 - 8T_1T_3 - 8T_1T_4 - 8T_1T_5 - 8T_1T_6 - 4T_2^2 - \\ & - 8T_2T_3 - 8T_2T_4 - 8T_2T_5 - 8T_2T_6 - 4T_3^2 - 8T_3T_4 - 8T_3T_5 - 8T_3T_6 - \\ & - 4T_4^2 - 8T_4T_5 - 8T_4T_6 - 4T_5^2 - 8T_5T_6 - 4T_6^2 = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Полагаем, что математическая модель данной оптимизационной задачи раскрытия пиловочника составлена. Решая эту математическую модель, находим систему уравнений, в которых раскрываются взаимосвязь размеров брусьев и боковых обрезных досок [5]. Однако по этим формулам определить оптимальные размеры брусьев и досок классическим методом невозможно [6; 5].

Алгоритм решения задачи. Для решения задачи воспользуемся численным методом. Задаем величину коэффициента c , а затем, изменяем толщину боковых брусьев в определенном диапазоне, определяем все остальные размеры брусьев и досок, а также величину целевой функции [8; 9]. В этом диапазоне изменения толщины брусьев отыскиваем максимальное значение целевой функции. Этот результат и будет являться оптимальным. Для упрощения расчетов и анализа результатов представляем формулы в относительных единицах, полагая, что $m_H = H/d$. Алгоритм решения задачи оптимизации в относительных единицах приводится ниже [8].

Относительная ширина пласти центрального бруса [2]:

$$m_{A1} = \frac{A_1}{d} = \sqrt{1 - c^2 m_H^2}. \quad (17)$$

Относительная ширина наружной пласти бокового бруса [2]:

$$m_{A2} = \frac{A_2}{d} = \sqrt{1 - (cm_H + 2m_H)^2}. \quad (18)$$

Относительная ширина первой пары боковых обрезных досок:

$$m_{b1} = \frac{c(1-2c^2 m_H^2)}{m_{A1}(c+2)} + \frac{2(1-2m_H^2(c+2)^2)}{m_{A2}(c+2)}. \quad (19)$$

Относительная толщина первой пары боковых обрезных досок:

$$m_{T1} = 0,5 \left(\sqrt{1 - m_{b1}^2} - m_H(c + 2) \right). \quad (20)$$

Относительная ширина второй пары боковых обрезных досок [3], [4]:

$$m_{b2} = m_{b1} - \frac{2m_{T1}(cm_H + 2m_H + 2m_{T1})}{m_{b1}}. \quad (21)$$

Относительная толщина второй пары боковых обрезных досок:

$$m_{T2} = 0,5 \left(\sqrt{1 - m_{b2}^2} - (cm_H + 2m_H + 2m_{T1}) \right). \quad (22)$$

Относительная ширина третьей пары боковых обрезных досок:

$$m_{b3} = m_{b2} - \frac{2m_{T2}(cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2})}{m_{b2}}. \quad (23)$$

Относительная толщина третьей пары боковых обрезных досок:

$$m_{T3} = 0,5 \left(\sqrt{1 - m_{b3}^2} - (cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2}) \right). \quad (24)$$

Относительная ширина четвертой пары боковых обрезных досок:

$$m_{b4} = m_{b3} - \frac{2m_{T3}(cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2} + 2m_{T3})}{m_{b3}}. \quad (25)$$

Относительная толщина четвертой пары боковых обрезных досок:

$$m_{T4} = 0,5 \left(\sqrt{1 - m_{b4}^2} - (cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2} + 2m_{T3}) \right). \quad (26)$$

Относительная ширина пятой пары боковых обрезных досок:

$$m_{b5} = m_{b4} - \frac{2m_{T4}(cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2} + 2m_{T3} + 2m_{T4})}{m_{b4}}. \quad (27)$$

Относительная толщина пятой пары боковых обрезных досок:

$$m_{T5} = 0,5 \left(\sqrt{1 - m_{b5}^2} - (cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2} + 2m_{T3} + 2m_{T4}) \right). \quad (28)$$

Относительная ширина шестой пары боковых обрезных досок:

$$m_{b6} = m_{b5} - \frac{2m_{T5}(cm_H+2m_H+2m_{T1}+2m_{T2}+2m_{T3}+2m_{T4}+2m_{T5})}{m_{b5}} \tag{29}$$

Относительная толщина шестой пары боковых обрезных досок:

$$m_{T6} = 0,5(\sqrt{1 - m_{b6}^2} - (cm_H + 2m_H + 2m_{T1} + 2m_{T2} + 2m_{T3} + 2m_{T4} + 2m_{T5})). \tag{30}$$

Относительная площадь поперечных сечений брусьев:

$$Z_{бр} = cm_H m_{A1} + 2m_H m_{A2}. \tag{31}$$

Относительная площадь поперечных сечений всех шести пар боковых обрезных досок:

$$Z_{д} = 2m_{T1}m_{b1} + 2m_{T2}m_{b2} + 2m_{T3}m_{b3} + 2m_{T4}m_{b4} + 2m_{T5}m_{b5} + 2m_{T6}m_{b6}. \tag{32}$$

Суммарная относительная площадь поперечных сечений брусьев и досок:

$$Z = Z_{бр} + Z_{д}. \tag{33}$$

Анализ результатов расчетов. С увеличением коэффициента (с), оптимальная относительная площадь поперечного сечения брусьев возрастает до коэффициента с=2,5, а затем незначительно уменьшается. При этом суммарная оптимальная относительная площадь поперечного сечения боковых обрезных досок возрастает до коэффициента с=3,0, а затем незначительно уменьшается (рис. 2). Расчеты показали, что имеется такое сочетание размеров брусьев и боковых обрезных досок, при котором оптимальная относительная площадь поперечного сечения становится максимальной. Это наблюдается при значении коэффициента с=3,0.

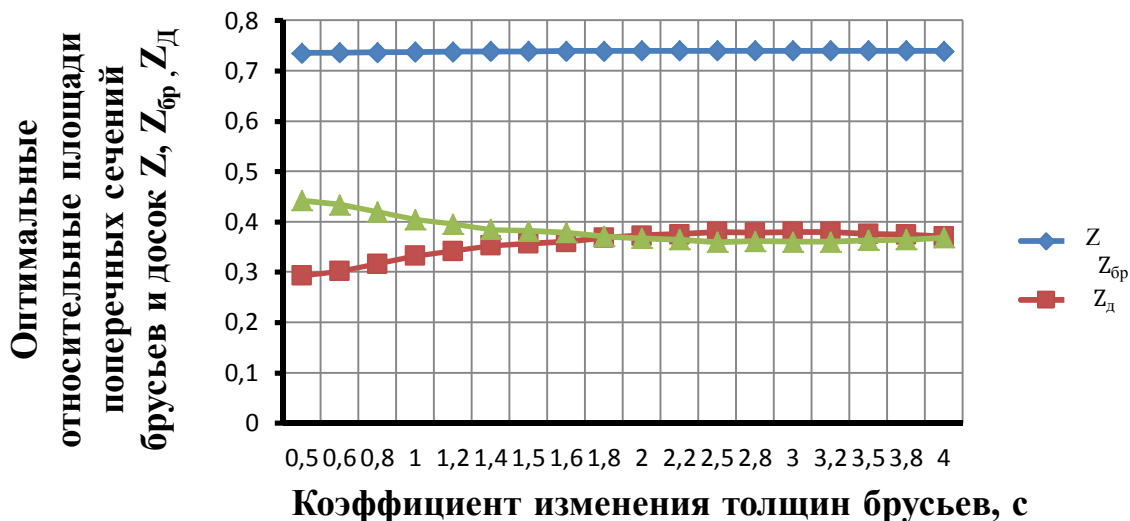


Рис. 2. Влияние коэффициента с на оптимальную относительную площадь поперечного сечения брусьев и боковых обрезных досок

С увеличением коэффициента изменения толщин брусьев (с), оптимальная относительная толщина боковых брусьев уменьшается, а оптимальная относительная толщина центрального бруса возрастает (см. рис. 3). Суммарное значение оптимальных относительных толщин брусьев возрастает до коэффициента с=2,5, а затем незначительно уменьшается. Оптимальные относительные ширины пластей брусьев с увеличением коэффициента изменения толщин брусьев (с), незначительно уменьшаются. Последняя зависимость объясняется тем, что при одном значении гипотенузы прямоугольного треугольника (диаметра пиловочника) с увеличением длины одного катета (толщины бруса) величина другого катета (ширина пласти бруса) уменьшается.

Расчеты по алгоритму показали, что с увеличением коэффициента изменения толщин брусьев (с) оптимальные относительные размеры (толщина и ширина) уменьшаются. При коэффициенте с=3,0 оптимальная относительная толщина центрального бруса составляет 0,24, а оптимальная относительная толщина бокового бруса составляет 0,08 от диаметра пиловочника в вершинном торце.

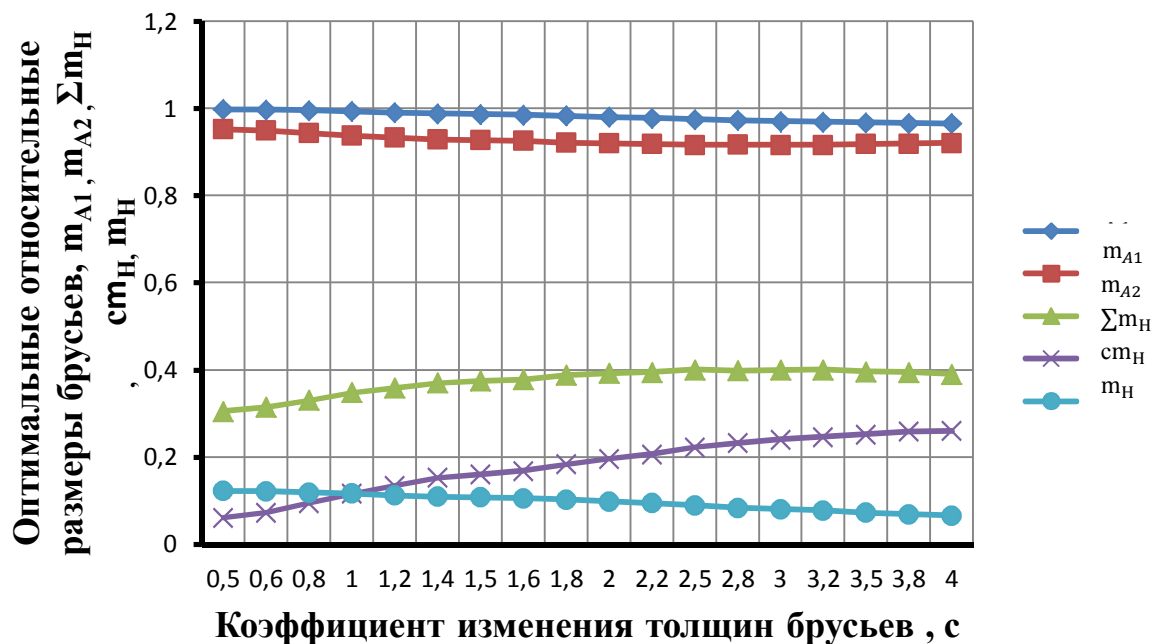


Рис. 3. Влияние коэффициента c на оптимальную относительную толщину бруса и оптимальную относительную ширину пласти центрального и боковых брусьев

Следует отметить, что оптимальная относительная суммарная площадь поперечного сечения брусьев и боковых обрезных досок при изменении коэффициента c изменяется плавно и незначительно [3]. Хотя при этом размеры брусьев и боковых обрезных досок изменяются более существенно [3]. Таким образом определено глобальное оптимальное значение коэффициента изменения толщин брусьев (c), при котором наблюдается максимальная суммарная площадь поперечного сечения брусьев и боковых обрезных досок. Это значение коэффициента изменения толщин брусьев равно 3,0. Следует также обратить внимание, что целевая функция в диапазоне изменения коэффициента $c=2,0...3,8$ отличается от максимального значения целевой функции всего лишь на 0,1%. Однако при этом в данном диапазоне $c=2,0...3,8$ слагаемые целевой функции $Z_{бр}$ и Z_d изменяются не столь значительно. Следовательно, этот диапазон $c=2,0...3,8$ рекомендуется для промышленного использования.

Список литературы

1. Агапов А. И. Алгоритм решения задачи оптимизации раскроя пиловочника с выпиливанием двух брусьев и двух пар боковых обрезных досок с учетом последующей распиловки брусьев на обрезные доски // Общество, наука, инновации. НПК - 2016 : сб. ст. всерос. ежегод. науч.-практ. конф. НПК-2016, 18–29 апреля 2016 г. / ВятГУ. Киров, 2016. С. 1219–1233.
2. Агапов А. И. Влияние ширины пропила на оптимальные размеры брусьев и досок при раскрое пиловочника с выпиливанием трех брусьев одинаковой толщины и четырех пар боковых досок // Лесотехнический журнал. Воронеж, 2014. № 2. С. 128–135.
3. Агапов А. И. Методика постановки и решения задачи оптимизации раскроя пиловочника крупных размеров с выпиливанием двух брусьев и четырех пар боковых обрезных досок с учетом ширины пропила // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб, 2016. Вып. 217 С. 142–157.
4. Агапов А. И. Методика постановки и решения задачи оптимизации раскроя пиловочника больших размеров брусом-развальным способом с выпиливанием одного бруса и пяти пар боковых обрезных досок с последующей распиловкой бруса на обрезные доски // Лесотехнический журнал. Воронеж, 2017. № 1. С. 137–150.
5. Агапов А. И. Определение оптимальных размеров бруса и досок при раскрое пиловочника средних и больших размеров брусом-развальным способом // Системы. Методы. Технологии. Братск, 2014. № 3 (23) С. 167–174.
6. Агапов А. И. Оптимизация пиловочника больших размеров с выпиливанием трех брусьев и двух пар боковых обрезных досок // Лесной журнал. Архангельск, 2015 № 1. С. 108–116.
7. Агапов А. И. Оптимизация раскроя пиловочника с выпиливанием строительного бруса и одной пары боковых досок с учетом ширины пропила // Февральские чтения НПК профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам НИР в 2014 году, Сыктывкарский лесной институт, 17–20 февраля 2015 г. Сыктывкар. С. 369–376.
8. Агапов А. И. Оптимизация раскроя пиловочника с выпиливанием трех брусьев разной толщины и двух пар боковых досок // Актуальные проблемы развития лесного хозяйства : материалы одиннадцатой междунар. НТК, 3–4 декабря 2013 г. Вологда, 2014. С. 62–66.

9. Агапов А. И. Оптимизация раскрытия сегмента на обрезные пиломатериалы при брусом способе распиловки пиловочника // Advanced science. Научный журнал № 1 (4). Киров, 2014. С. 38–58.
10. Агапов А. И. Оптимизация технологических процессов деревообработки : учеб. пособие. Киров, 2012. 81 с.
11. Аксенов П. П. Теоретические основы раскрытия пиловочного сырья. М. ; Л., 1960. 216 с.
12. Ветшева В. Ф. Раскрой крупномерных бревен на пиломатериалы. М., 1976. 165 с.
13. Рыкунин С. Н., Кандалина Л. Н. Технология деревообработки : учебник. М., 2005. 352 с.
14. Уласовец В. Г. Технологические основы производства пиломатериалов. Екатеринбург, 2002. 510 с.

Optimization of sawlog cutting of large sizes with cutting of three bars of different thickness and six pairs of side edged boards

A. I. Agapov¹, E. O. Mishlanov²

¹Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of machinery and woodworking technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr00005@vyatsu.ru

²student of the Department of machinery and woodworking technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: Mishlanov.e@yandex.ru

Abstract. The mathematical model of the problem of optimization of sawlog cutting of large sizes is made for the Pythagorean zone. The objective function is the sum of the cross-sectional areas of bars and side edged boards. The equations reveal the relationship of the size of the bars and boards with the diameter of the sawlog at the top end. The Lagrange multipliers method and the numerical method are used to solve the optimization problem. An algorithm is developed to determine the optimal thickness of the central and side bars, as well as the size of the side edged boards, in which the objective function takes the maximum value. With the increase in the thickness of the central bar, the value of the objective function (output of lumber) increases and takes its maximum value when the coefficient of increase in the thickness of the central bar compared to the thickness of the side beam is 3.0.

Keywords: sawlog, bars, boards, mathematical model, objective function, communication equations, problem algorithm.

References

1. Agapov A. I. *Algoritm resheniya zadachi optimizatsii raskroya pilovochnika s vypilivaniem dvuh brus'ev i dvuh par bokovyh obreznyh dosok s uchetom posleduyushchej raspilovki brus'ev na obreznye doski* [Algorithm for solving the problem of optimization of cutting logs by sawing two bars and two pairs of side edging boards taking into account the subsequent sawing boards for edged boards] // *Obshchestvo, nauka, innovacii. NPK – 2016 : sb. st. vseros. ezhegod. nauch.-prakt. konf. NPK-2016, 18–29 aprelya 2016 g.* – Society, science and innovation. SPC – 2016 : collection of articles of all-Russia annual scientific and pract. conf. NPK-2016, 18–29 April 2016 / VyatSU. Kirov. 2016. Pp. 1219–1233.
2. Agapov A. I. *Vliyaniye shiriny propila na optimal'nye razmery brus'ev i dosok pri raskroe pilovochnika s vypilivaniem trekh brus'ev odinakovoj tolshchiny i chetyrekh par bokovyh dosok* [Influence of the width of the kerf on the optimum size of bars and planks when cutting timber by sawing three bars of the same thickness and four pairs of side boards] // *Lesotekhnicheskij zhurnal – Journal of forestry. Voronezh. 2014. No. 2. Pp. 128–135.*
3. Agapov A. I. *Metodika postanovki i resheniya zadachi optimizatsii raskroya pilovochnika krupnyh razmerov s vypilivaniem dvuh brus'ev i chetyrekh par bokovyh obreznyh dosok s uchetom shiriny propila* [Methods of formulation and solution of optimization task of cutting logs of large dimensions sawing two bars and four pairs of side edging boards taking into account the width of cut] // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii – News of Saint-Petersburg Forestry Academy. St. Petersburg. 2016. Issue 217. Pp. 142–157.*
4. Agapov A. I. *Metodika postanovki i resheniya zadachi optimizatsii raskroya pilovochnika bol'shih razmerov brusovo-razval'nyim sposobom s vypilivaniem odnogo brusa i pyati par bokovyh obreznyh dosok s posleduyushchej raspilovkoj brusa na obreznye doski* [Methodology of formulating and solving optimization problems of cutting of logs of large size in lumber-breakup way, cutting out one bar and five pairs of side edging boards with the subsequent sawing lumber edged boards] // *Lesotekhnicheskij zhurnal – Journal of forestry. Voronezh. 2017. No. 1. Pp. 137–150.*
5. Agapov A. I. *Opreделение optimal'nyh razmerov brusa i dosok pri raskroe pilovochnika srednih i bol'shih razmerov brusovo-razval'nyim sposobom* [Determination of the optimum sizes of bars and planks when cutting timber medium to large sized in lumber-breakup method] // *Sistemy. Metody. Tekhnologii – System. Methods. Technologies. Bratsk. 2014. No. 3 (23). Pp. 167–174.*
6. Agapov A. I. *Optimizatsiya pilovochnika bol'shih razmerov s vypilivaniem trekh brus'ev i dvuh par bokovyh obreznyh dosok* [Optimization of the logs of large dimensions sawing with three bars and two pairs of side edging boards] // *Lesnoj zhurnal – Forest magazine. Arkhangelsk. 2015. No. 1. Pp. 108–116.*
7. Agapov A. I. *Optimizatsiya raskroya pilovochnika s vypilivaniem stroitel'nogo brusa i odnoj pary bokovyh dosok s uchetom shiriny propila* [Optimization of cutting logs by sawing construction lumber and one pair of side boards to fit the cut] // *Fevral'skie chteniya NPK professorsko-prepodavatel'skogo sostava Syktyvkar'skogo lesnogo instituta po itogam NIR v 2014 godu, Syktyvkar'skij lesnoj institut, 17–20 fevralya 2015 g.* – February reading of SPC of faculty teaching staff of Syktyvkar Forest Institute on the results of the research in 2014. Syktyvkar forest Institute, 17–20 February 2015. Syktyvkar. Pp. 369–376.

8. Agapov A. I. *Optimizaciya raskroya pilovochnika s vypilivaniem trekh brus'ev raznoj tolshchiny i dvuh par bokovyh dosok* [Optimization of sawlog cutting with sawing of three bars of different thickness and two pairs of side boards] // *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo hozyajstva : materialy odinnadcatoj mezhdunar. NTK, 3-4 dekabrya 2013 g.* – Actual problems of forestry development : materials of the eleventh international. STC, 3-4 December 2013. Vologda. 2014. Pp. 62-66.

9. Agapov A. I. *Optimizaciya raskroya segmenta na obreznye pilomaterialy pri brusovom sposobe raspilovki pilovochnika* [Optimization of the cutting segment on timber boards when lumber method of sawing logs] // *Advanced science. Nauchnyj zhurnal № 1 (4)* – Scientific journal. No. 1 (4). Kirov. 2014. Pp. 38-58.

10. Agapov A. I. *Optimizaciya tekhnologicheskikh processov derevoobrabotki : ucheb. posobie* [Optimization of technological processes of woodworking : tutorial]. Kirov. 2012. 81 p.

11. Aksenov P. P. *Teoreticheskie osnovy raskroya pilovochnogo syr'ya* [Theoretical bases of cutting of sawn raw materials]. M.; L. 1960. 216 p.

12. Vetsheva V. F. *Raskroj krupnomernyh breven na pilomaterialy* [Cutting large logs to lumber]. M. 1976. 165 p.

13. Rykunin S. N., Kandalina L. N. *Tekhnologiya derevoobrabotki : uchebnyk* [Woodworking technology : textbook]. M. 2005. 352 p.

14. Ulasovec V. G. *Tekhnologicheskie osnovy proizvodstva pilomaterialov* [Technological basis for the production of lumber]. Ekaterinburg. 2002. 510 p.