

УДК 630*187

ЛЕСОТИПОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНКРЕТНОМ ДРЕВОСТОЕ

В.К. ХЛЮСТОВ, *проф РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, д-р с.-х. наук⁽¹⁾*,

А.В. ЛЕБЕДЕВ, *РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева⁽¹⁾*,

М.М. УСТИНОВ, *доц РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. с.-х. наук⁽¹⁾*

vitakhlustov@mail.ru, avl1993@mail.ru, max32br@rambler.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

Существующие в настоящее время лесотаксационные нормативы, разработанные на бонитетной основе, не позволяют учесть всего разнообразия породной, возрастной и пространственной структуры древостоев, условий местообитания. Особенности естественного формирования лесных фитоценозов многогранны, а изменения в ростовых процессах, связанных с разной интенсивностью и повторяемостью выборочных рубок, обуславливает необходимость разработки принципиально новых экологических лесотаксационных нормативов, в которых должны быть отражены оптимальные режимы лесопользования. Интенсификация лесохозяйственного производства невозможна без научно обоснованных методов оптимизации объемов главного и промежуточного пользования древесиной за весь период выращивания конкретного древостоя. По лесоводственным соображениям в качестве критерия оптимальности принят максимум суммы промежуточного и главного пользования. Проведение оптимизационных расчетов позволяет определить с рациональным режимом промежуточного пользования по интенсивности и возрастам повторяемости разреживаний. Количество разреживаний зависит, прежде всего, от интенсивности первого разреживания, и чем больше интенсивность, тем требуется меньшее количество проводимых разреживаний для обеспечения оптимального режима лесопользования. Результаты расчетов максимального объема лесопользования зависят, главным образом, от начального возраста их проведения и от количества оптимизированного по программе числа разреживаний. Важным элементом, регламентирующим рациональные режимы разреживаний, является соотношение объемов древесины, заготовленных при промежуточном и главном пользовании. Согласно проведенным оптимизационным расчетам, это соотношение должно находиться в рамках 30% по промежуточному и 70% по главному пользованию. Такое соотношение обеспечивает повышение общего объема лесопользования на 35–40% по сравнению с древостоями без разреживаний.

Ключевые слова: оптимальное лесопользование, промежуточное пользование, рубки ухода, главное пользование.

Обоснование размера лесопользования является одной из главных задач лесоуправляющего проектирования. Большинство методических рекомендаций решения этой проблемы относятся либо к главному, либо к промежуточному пользованию, что отражено в работах С.Г. Сеницына [1], Н.А. Моисеева [2, 3], С.Х. Лямеборшай [4] и др.

Рубки ухода (рубки промежуточного пользования) относятся к важнейшим лесохозяйственным мероприятиям, направленным на повышение продуктивности и устойчивости лесных фитоценозов. Для этого лесопользователь должен в период оборота рубки древостоя планировать объемы заготовки древесных ресурсов таким образом, чтобы в древостое была создана пространственная структура, наиболее оптимальная с экологической и экономической точек зрения.

В зависимости от возраста древостоев и целей лесоводственного ухода при промежуточном пользовании, как правило, реко-

мендуется проводить осветления, прочистки, рубки обновления и переформирования, выборочные санитарные рубки [5, 6].

Разреживание древостоев приводит к изменению всех компонентов лесного биоценоза, что способствует изменению породной, вертикальной и горизонтальной структуры, таксационного строения древостоев. Существующие в настоящее время лесотаксационные нормативы не позволяют учесть всего разнообразия вертикальной, горизонтальной, возрастной структуры древостоев, условий их местообитания, что предопределило необходимость разработки новых лесотаксационных нормативов на экологической основе. Аналогичные нормативы следует разрабатывать с учетом оптимальных режимов разреживаний.

Таблицы хода роста древостоев, применяемые в лесном хозяйстве, в основном относятся к естественным формирующимся древостоям и составлены на бонитетной основе. На практике выявлены существенные недостатки использования

бонитировочных шкал, которые приводят к недопустимым погрешностям и ошибкам в расчете лесопользования как в отдельном древостое, так и лесного массива в целом.

Так, в ряде работ [7, 8] указывается, что бонитетная классификация является условной и отображает уровни продуктивности древостоев со строгой градацией средних высот 4,0 м в 100-летнем возрасте. При этом отсутствует привязка классов бонитета к экологическим условиям местообитания, так как одним классом бонитета, например пятым по таксационному учению, характеризуются древостои как в ксерофильном сосняке лишайниковом, так и в ультрагигрофильном сосняке сфагновом.

Типы леса по сравнению с классами бонитетов позволяют давать более конкретную характеристику лесорастительным условиям насаждений и, как следствие, динамике таксационных показателей с возрастом.

Значительная доля древостоев во время их выращивания подвергается разреживаниям различной повторяемости и интенсивности. Поэтому для практики ведения промежуточного пользования очень важно иметь нормативы, которые обеспечивают рациональные режимы разреживаний древостоя за весь период его выращивания. Для получения новых экологических нормативов, отражающих оптимальные режимы лесопользования в древостоях, необходимо воспользоваться моделями текущего прироста, данными таблицы хода роста древостоев, в основу которых положена лесотипологическая классификация условий произрастания.

Интенсификация лесохозяйственного производства невозможна без научно обоснованных методов оптимизации объемов главного и промежуточного пользования древесиной за весь период выращивания конкретного древостоя. По лесоводственным соображениям в качестве критерия оптимальности принят максимум суммы промежуточного и главного пользования. При этом постановка задачи оптимизации интенсивности сроков и повторяемости разреживаний за весь период выращивания конкретного древостоя сводится к следующему:

– в качестве целевой функции принимается суммарный выход обезличенной (W_L) или деловой (W_D) древесины при промежуточном и главном пользовании;

– в качестве управляемых параметров принимается количество приемов разреживаний (m), их интенсивность, выраженная уровнем снижения полноты (Pr), и сроки их повторяемости (t);

– в качестве функциональных ограничений принимается условие непревышения восстанавливаемого после рубок запаса, соответствующего полноте древостоя перед первым приемом разреживаний (M_{Po}).

В математической интерпретации задача может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} W_L \rightarrow \max \text{ or } W_D \rightarrow \max \\ m_{\min} \leq m \leq m_{\max} \\ Pr_{\min} \leq Pr \leq Pr_{\max} \\ t_{\min} \leq t \leq t_{\max} \end{aligned} \quad (1)$$

Целевая функция включает в себя две составляющие

$$W_L = V_{\text{пн}} + V_{\text{гн}} \quad (2)$$

$$W_D = V_{D_{\text{пн}}} + V_{D_{\text{гн}}} \quad (3)$$

где $V_{\text{пн}}$ – объем промежуточного пользования по обезличенной древесине, м³/га;

$V_{\text{гн}}$ – объем главного пользования по обезличенной древесине, м³/га;

$V_{D_{\text{пн}}}$ – объем промежуточного пользования по деловой древесине, м³/га;

$V_{D_{\text{гн}}}$ – объем главного пользования по деловой древесине, м³/га.

Объем промежуточного пользования определяется суммированием вырубленных запасов за каждый прием разреживаний в возрасте древостоя (t_i)

$$V_{\text{пн}} = \sum_{i=1}^m V_{\text{пн}_i}, \quad (4)$$

$$V_{D_{\text{пн}}} = \sum_{i=1}^m V_{D_{\text{пн}_i}}, \quad (5)$$

За каждый прием разреживания вырубемый запас определяется по формуле

$$V_{t_i} = M_{t_i}^{1,0} \left(\frac{M_{t_i}}{M_{t_i}^{1,0}} - Pr_{t_i} \right), \quad (6)$$

где M_{t_i} – запас древостоя в возрасте t_i , м³/га;

$M_{t_i}^{1,0}$ – запас из таблиц хода роста в возрасте t_i при полноте 1,0 ед., м³/га;

Pr_{t_i} – уровень снижения полноты при изреживаниях, ед.

Составляющая формулы (7) соответствует запасу древостоя к возрасту главной рубки t_{gp} (для сосны и ели – 100 лет, для березы – 60 лет)

$$V_{гп} = M_{t_{гп}}, \quad (7)$$

$$V_{D_{гп}} = M_{D_{t_{гп}}}, \quad (8)$$

где M – запас обезличенной древесины в возрасте главной рубки t_{gp} , м³/га;

M_D – запас деловой древесины в возрасте главной рубки t_{gp} , м³/га.

На управляемые параметры формулы (1) в соответствии с лесоводственными соображениями накладываются следующие ограничения:

- по количеству приемов изреживания: $2 \leq m \leq 7$;
- по интенсивности изреживаний: $0,5 \leq P \leq P_0 - 0,1$;
- по возрасту древостоя на момент проведения изреживаний: $21 \leq t \leq 91$.

Восстанавливаемый запас в момент времени t_i определяется на основании зависимости

$$M_{t_i} = M_{t_{i-1}} + 10Z(b, t_{i-1}) \left(\frac{M_{t_{i-1}}}{M^{1,0}(b, t_{i-1})} \right)^K, \quad (9)$$

где M_{t_i} – восстанавливаемый запас в момент времени t_i , м³/га;

$M_{t_{i-1}}$ – запас древостоев в предшествующем десятилетии, м³/га;

$Z(b, t_{i-1})$ – среднепериодический текущий прирост по запасу при соответствующих условиях произрастания и возрасте, м³/га;

$M^{1,0}(b, t_{i-1})$ – запас сомкнутого древостоя при соответствующих условиях произрастания и возрасте, м³/га;

K – численный коэффициент, учитывающий влияние полноты древостоя на величину почвенно-светового прироста, равный 0,784 [9, 10].

Запас древостоя при исходной полноте (P_0) в момент времени t_i определяется по формуле

$$M_{t_i} = M_{t_i}^{1,0} P_0. \quad (10)$$

Рассматриваемая задача является многопараметрической задачей нелинейного программирования, решаемой одним из методов

целочисленного поиска, который позволяет находить оптимум с достаточной для лесохозяйственных требований точностью.

Проведение оптимизационных расчетов позволяет определиться с рациональным режимом промежуточного пользования по интенсивности и возрастам повторяемости изреживаний. Выше было показано, что рациональные варианты интенсивностей и сроков повторяемости изреживаний должны выбираться по критерию – максимум суммы главного и промежуточного пользования по обезличенной и деловой древесине.

На кафедре «Лесоводства и мелиорации ландшафтов» Российского государственного аграрного университета МСХА имени К.А. Тимирязева была разработана программа, позволяющая решать поставленную оптимизационную задачу при помощи метода случайного целочисленного поиска с отбором лучшей пробы. Программа позволяет производить расчет оптимального режима лесопользования в двух режимах:

- 1) с заданием начального значения интенсивности первого изреживания и с поиском оптимальной схемы последующих изреживаний;
- 2) с поиском оптимальной схемы по всем приемам изреживаний.

Получение данных о ходе роста сомкнутых древостоев на лесотипологической основе происходит из файла, в котором в табличной форме представлены значения возраста и соответствующих значений запаса, текущего прироста и процента выхода деловой древесины (табл. 1).

В качестве управляемых параметров пользователь задает количество итераций, значение полноты древостоя перед первым изреживанием (P_0), возраст древостоя при первом изреживании (t_1), предельно допустимый уровень снижения полноты ($P_{\max}$), максимальное и минимальное число изреживаний, минимальный возраст древостоя при втором изреживании, максимальный возраст древостоя при последнем изреживании и интенсивность первого изреживания (I). В случае если пользователем введено нулевое значение интенсивности первого изреживания,

Ход роста сомкнутых сосновых древостоев, произрастающих в мезофильных сосняках брусничниках Костромской области

Progress of growth of serried pine stands growing in mesophilic pine-red bilberry in the Kostroma region

Возраст, лет	Запас, м ³ /га	Текущий прирост, м ³ /га/год	Выход деловой древесины из запаса, %
20	93	9,2	59
30	169	9,7	77
40	238	9,1	83
50	298	8,2	84
60	349	7,4	84
70	393	6,6	84
80	430	5,9	84
90	462	5,3	84
100	489	4,7	84
110	512	4,3	84
120	532	3,8	84

Результаты расчета оптимального режима лесопользования в мезофильных сосняках брусничниках Костромской области при начальной полноте 1,0 ед., возрасте первого прореживания 21 год и интенсивности первого прореживания 40 %

Results of calculation of the optimal mode of forest management in the mesophilic red bilberry-pine of the Kostroma region with the initial fullness of 1.0 units., The age of first thinning is 21 and the first thinning intensity is 40%

Возраст, лет	21	31	41	51	61	71	81	91	101
Запас обезличенной древесины до рубки, м ³ /га	93	118	191	267	306	373	389	430	446
Запас деловой древесины до рубки, м ³ /га	55	91	158	224	257	313	327	362	374
Запас обезличенной древесины после рубки, м ³ /га	56	х	х	237	х	331	х	399	х
Запас деловой древесины после рубки, м ³ /га	33	х	х	199	х	278	х	335	х
Объем вырубаемой обезличенной древесины, м ³ /га	37	х	х	30	х	41	х	32	х
Объем вырубаемой деловой древесины, м ³ /га	22	х	х	25	х	35	х	27	х

то происходит поиск оптимального режима лесопользования как по первому разреживанию, так и по всем последующим.

По результатам расчетов пользователь получает итоговую таблицу, в которой по десятилетиям указываются запас обезличенной древесины, запас деловой древесины, запас обезличенной древесины после рубки, запас деловой древесины после рубки, объем вырубаемой обезличенной древесины, объем вырубаемой деловой древесины. Пример представления результатов расчета оптимального режима лесопользования приведен в табл. 2.

Результаты работы программы с поиском оптимального режима лесопользования в каждом из двух режимов рассмотрим на примере сосновых древостоев, произрастающих в мезофильных сосняках брусничниках Костромской области. Из-за большого объема получаемых при расчетах данных ограничимся представлением решения с полнотой древостоя перед первым разреживанием 1,0 ед.

Перед первым разреживанием принята таксационная характеристика из таблиц хода роста сомкнутых древостоев (табл. 1). Дальнейшие изменения запаса предусмотрены снижением полноты до 0,5 ед. с шагом 0,1 ед.

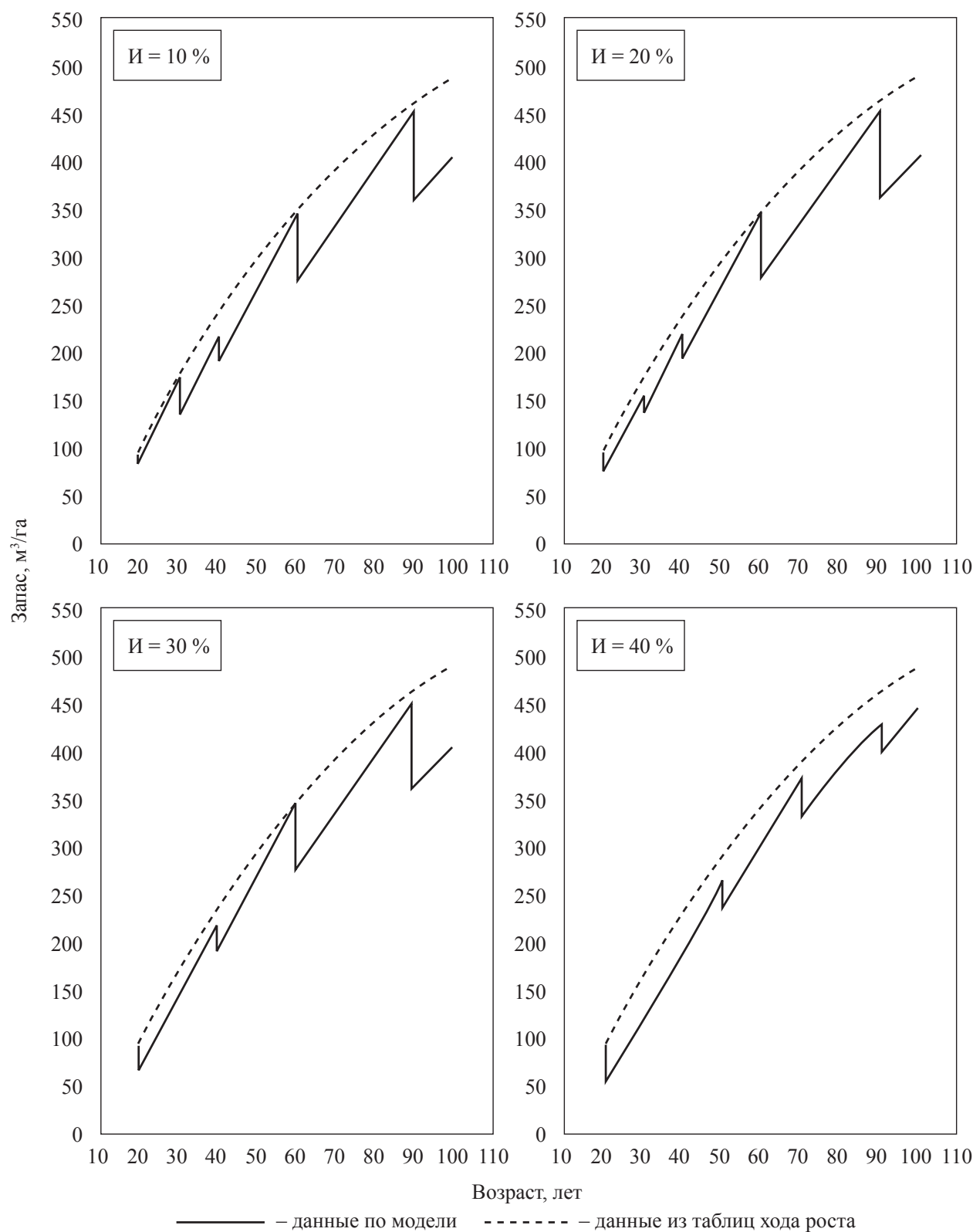


Рис. 1. Возрастная динамика запаса с оптимальным режимом разреживаний сомкнутых сосновых древостоев, произрастающих в мезофильных сосняках брусничниках Костромской области, при интенсивности первого приема в 21 год от 10 до 40 % по запасу

Fig. 1. Age dynamics of the stock to the optimal mode of closed thinning pine stands growing in mesophilic red bilberry-pine of Kostroma region, at an intensity of the first intake of 21 years from 10 to 40 % of stock

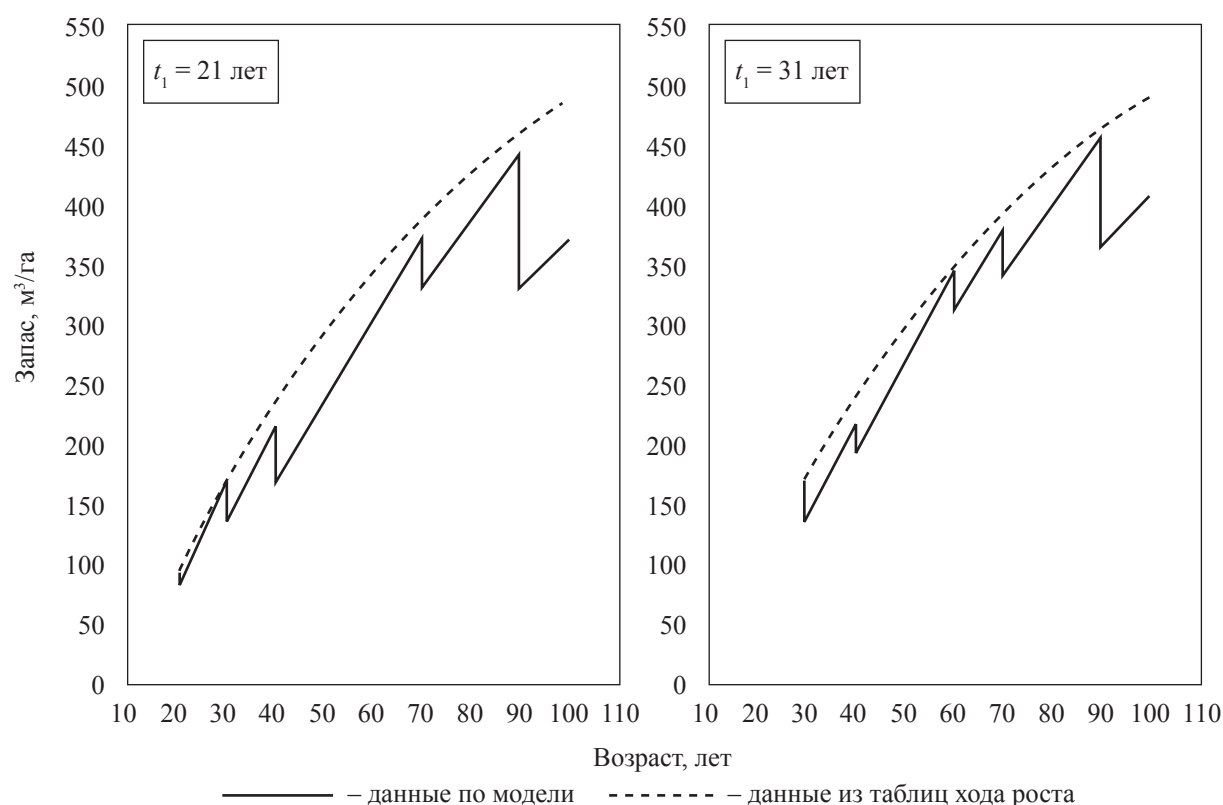


Рис. 2. Возрастная динамика запаса с оптимальным режимом разреживаний сомкнутых сосновых древостоев, произрастающих в мезофильных сосняках брусничниках Костромской области, при возрасте первого изреживания 21 и 31 год

Fig. 2. Age dynamics of the stock to the optimal mode of closed thinning pine stands growing in mesophilic red bilberry-pine of Kostroma region, the first thinning took place at age 21 and 31

при разных сроках повторяемости в диапазоне возрастов от 21 до 100 лет с шагом 10 лет.

На рис. 1 приведены результаты расчетов при возрасте древостоя во время первого приема разреживания 21 год при интенсивности от 10 % до 40 %. Количество разреживаний зависит, прежде всего, от интенсивности первого разреживания, и чем больше интенсивность, тем требуется меньшее количество проводимых разреживаний для обеспечения оптимального режима лесопользования. Так, при интенсивности первого разреживания 10 % для обеспечения оптимального режима лесопользования требуется проведение 5 разреживаний, а при интенсивности первого разреживания 40 % требуется проведение 4 приемов разреживаний – в 21 год, 51 год, 71 год и 91 год.

Результаты расчетов максимального объема лесопользования зависят, главным образом, от начального возраста их проведения и от количества оптимизированного по программе числа разреживаний. На рис. 2 показана

на возрастная динамика запаса с оптимальным режимом разреживаний сомкнутых сосновых древостоев, произрастающих в мезофильных сосняках брусничниках Костромской области, при возрасте первого разреживания 21 и 31 год. При проведении первого разреживания в возрасте 21 год объем вырубемой древесины ($V_{\perp}([пп]_{\perp} 1)$) значительно меньше, чем объем вырубемой древесины при проведении первого разреживания в возрасте 31 год. Но суммарный объем древесины, полученной при промежуточном пользовании, в первом случае ($\sum V_{nn} = 240 \text{ м}^3/\text{га}$) на 20 м³/га больше, чем во втором случае ($\sum V_{nn} = 220 \text{ м}^3/\text{га}$).

Важным элементом, регламентирующим рациональные режимы разреживаний, является соотношение объемов древесины, заготовленных при промежуточном и главном пользовании. Согласно проведенным оптимизационным расчетам это соотношение должно находиться в рамках 30% по промежуточному и 70% по главному пользованию. Такое соот-

ношение обеспечивает повышение общего объема лесопользования на 35–40% по сравнению с древостоями без разреживаний.

Библиографический список

1. Синицын, С.Г. Рациональное лесопользование / С.Г. Синицын. – М.: Агропромиздат, 1967. – 325 с.
2. Моисеев, Н.А. Приемы прогнозирования динамики лесопользования / Н.А. Моисеев // Лесное хозяйство – № 4. – 1973.
3. Моисеев, Н.А. Основы прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов / Н.А. Моисеев. – М.: Лесная пром-сть, 1974. – 219 с.
4. Лямеборшай, С.Х. Оптимизация воспроизводства и использования лесных ресурсов / С.Х. Лямеборшай // Лесное хозяйство, 1985. – № 9. – С. 24–27.
5. Промежуточное пользование лесом на северо-западе России: уч. пос. / В.К. Хлюстов и др. – Йёнссу, Финляндия, 2005. – 140 с.
6. Атрохин, В.Г. Рубки ухода и промежуточное лесопользование / В.Г. Атрохин, И.К. Иевинь. – М.: Агропромиздат, 1985. – 252 с.
7. Хлюстов, В.К. Возрастная динамика роста и продуктивности сосновых древостоев на лесотипологической основе в условиях боров Костромской области / В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев // Международный журнал «Наука и мир». – 2013. – № 1 (1). – С. 132–134.
8. Хлюстов, В.К. Лесотипологическая шкала хода роста березовых древостоев Калининградской области / В.К. Хлюстов, Л.С. Мурачева // Вестник Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова – 2011 – № 6. – С. 42–45.
9. Хлюстов, В.К. Прогнозирование текущего прироста и оптимизация повышения продуктивности древостоев на примере сосняков и березняков Северного Казахстана: дис.... д-ра с.-х. наук. – Санкт-Петербург: СПбЛТА, 1993. – 717 с.
10. Хлюстов, В.К. Общая закономерность связи текущего прироста по запасу с полнотой древостоев / В.К. Хлюстов. – Лесной журнал. – 1992. – № 3. – С. 5.

PROGRAMMING OF OPTIMAL FOREST REGIME OF STAND USE BY TYPE OF FORESTS

Hlyustov V.K. Prof. RSAU-MTAA, Dr. Sci. (Agricultural)⁽¹⁾; **Lebedev A.V.** RSAU-MTAA⁽¹⁾; **Ustinov M.M.** Assoc. Prof. RSAU-MTAA, Ph.D. (Agricultural)⁽¹⁾

vitakhlustov@mail.ru, avl1993@mail.ru, max32br@rambler.ru

⁽¹⁾Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU-MTAA), Timiryazevskaya st., 49, 127550, Moscow

The current inventory areas standards developed on the bonitet basis does not allow to take into account the diversity of species, age and spatial structures of forest stands and habitat conditions. Features of the natural formation of forest communities are multifaceted, and changes in the growth processes are associated with different intensity and frequency selective logging leads to the need to develop a fundamentally new ecological forest taxation regulation, which should be reflected in optimal forest management regimes. Intensification of forestry production is impossible without research-based methods for optimization of volumes and intermediate timber for the entire period of growth of a particular stand. In silvicultural reasons as the optimality criterion adopted by the maximum amount of the interim and final felling. Carrying out optimization calculations allows to determine the mode of rational use of intermediate intensity and recurrence of thinning age. Number of thinning depends primarily on the intensity of the first thinning, and the greater the intensity, requires less ongoing thinning for optimal forest management. The results of calculations of the maximum volume of forest management depends mainly on the initial of their age and the number of optimized the program of thinning. An important element of governing rational modes of thinning, is the ratio of the volume of timber harvested in the intermediate and final felling. According to our calculations, optimization, this ratio must be within the 30 percent intermediate, and 70 percent for the main use. This ratio provides an increase in the total volume of forest by 35–40 percent compared with stands of trees without thinning.

Keywords: optimal forest management, intermediate use, thinning, final felling.

References

1. Sinitsin S.G. *Ratsional'noe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management]. Moscow: Agropromizdat, 1967. 325 p.
2. Moiseev N.A. *Priemy prognozirovaniya dinamiki lesopol'zovaniya* [Methods of predicting the dynamics of forest]. Moscow: Forestry, 1973.
3. Moiseev N.A. *Osnovy prognozirovaniya ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesnykh resursov* [Bases of forecasting of reproduction and use of forest resources]. Moscow: Forest Industry, 1974. 219 p.
4. Lyameborshay S.H. *Optimizatsiya vosproizvodstva i ispol'zovaniya lesnykh resursov* [Optimization of reproduction and use of forests]. Forestry. 1985. pp. 24–27.
5. . Atrohin V.G., Ievina I.K. Thinning and intermediate forest. Moscow: Agropromizdat, 1985. 252 p.
6. Hlyustov V.K., Lebedev A.V. Age dynamics of growth and productivity of pine stands on lesotipologicheskoy based in a hog Kostroma Region. International journal «Science and peace». 2013. № 1 (1). pp 132–134.
7. Hlyustov V.K., Muracheva L.S. Lesotipologicheskaya progress bar growth birch stands Kaliningrad Region. Saratov Journal of gosagroun. them. N.I. Vavilov. 2011. № 6. pp. 42–45.
8. Hlyustov V.K. Prediction of current growth and optimization to increase productivity stands as an example pine and birch forests of northern Kazakhstan. Dis. on competition uch. Art. Dr. agricultural Sciences. St. Petersburg. SpbLTA. 1993. 717 p.
9. Hlyustov V.K. The intermediate use of forests in the Northwest of Russia. V.K. Hlyustov et al. Joensuu, Finland, 2005. 140 p.
10. Hlyustov V.K. Total current growth pattern due to the completeness of the stock stands. Forest zhurnal. 1992. № 3. 5.