

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ В ГИС «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»

In a structure of forest stands special value is given to model of distribution of number of trees on diameter on the basis of which it is possible to receive distribution of others stand parameters of forest stands. The model of a structure of forest stands on diameter allows to define forestry structure of forest stands, to raise accuracy of valuation and to improve forest inventory designing. Are carried out researches on studying laws of a structure of forest stands on diameter in pure one-age pine, fur-tree, birch, aspen and alder glutinosa plantings. The imitating model of a structure of pure forest stands on diameter in geoinformation system "Forest resources" is developed, allowing to receive distribution of number of trunks on steps of thickness and to define a stock of a forest stand to within $\pm 5\%$.

Введение. Изучением строения древостоев лесоводы занимаются более 150 лет. Понятие «строение» с течением времени менялось. Так, А. В. Тюрин понимал под ним порядок сочетания деревьев в насаждении. Другие ученые – А. Шиффель, Н. П. Анучин, К. Е. Никитин, В. В. Антанайтис, Н. Н. Свалов – рассматривают его как распределение числа деревьев по различным таксационным признакам, включая статистические модели, т. е. теория строения древостоев рассматривается как приложение статистической теории распределений к изучению древостоев. В современной лесотаксационной литературе под строением понимаются закономерности распределения, связи и изменчивости таксационных признаков в насаждении (Швиденко, 1981; Верхунов, 1981; Багинский, 1984) [1].

Закономерности строения древостоев, их частей и совокупностей являются теоретической основой разработки методов таксации леса, учета лесного и лесосечного фонда, широко используются при подготовке справочно-нормативных лесотаксационных документов, имитации схем рубок ухода, материально-денежной оценке запасов древостоев, построении таблиц хода роста насаждений, динамики товарности древостоев.

В строении древостоев особое значение придается модели распределения числа деревьев по диаметру, на основе которых можно получить распределение других таксационных показателей древостоев (по высоте, объему и т. д.). Модель строения древостоев по диаметру позволяет определять лесоводственную структуру древостоев, научно обосновать разработку и проведение лесохозяйственных мероприятий, повысить точность таксации и совершенствовать лесоустроительное проектирование.

Цель исследования. Разработать имитационную модель, позволяющую получать распределение деревьев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы», для решения практических задач по подготовке лесосечного фонда и разработке программ рубок ухода.

Объекты исследования. Объектом исследования послужили чистые одновозрастные древостои естественного и искусственного происхождения основных лесобразующих пород. Автором были рассмотрены и обработаны данные перечислительной таксации на 475 временных пробных площадях, представляющих различные условия и режимы произрастания основных лесобразующих пород Беларуси. Экспериментальный материал был собран за период 1998–2004 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Распределение пробных площадей по классам возраста

Преобладающая порода	Класс возраста								Всего
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Сосна	19	29	32	30	13	2	–	–	125
Ель	5	29	30	37	4	3	1	–	109
Береза	3	15	24	19	21	17	20	7	126
Осина	–	–	6	12	11	9	–	–	38
Ольха черная	–	–	7	11	24	20	10	5	77
ИТОГО	27	73	99	109	73	51	31	12	475

Ввод данных в базу

Добавить макет... Удалить макет ОК Проверять Отмена

Основные показатели Описание элементов леса 1

Номер квартала	Номер выдела	Лесхоз	Парк	Категория заповедности	Административный район	Наличие первой посадки	Рубка
175	8	Молодечн	Красненское	Лесхоз части зеленых с Молодеченский		нет	нет

Функциональная зона	Год актуализации	Дорожные	Эксплуатация	Площадь выдела	Категория земель	Хозрасчетный	ВНУ	ВНУ
0	99	1	1-я Минская	4,8	Насажд. естеств. прир.	нет	нет	нет

Код типа	ВНУ	Дорожная	Вспомог.	Хоз. мероприятия	Вспомог.	Номер РТК1	Хоз. мероприятия2	Номер РТК2	Хоз. мероприятия3
0	0	нет	нет	Рубка по сост.	0	0	Лесные культ.	0	нет

Номер РТК3	Целевая порода	Преобладающая порода	Возраст	Тип леса	ТЛЧ	Код в рубке	Количество яндр	В том числе сосны
0	Сосна	Сосна	2	Мшистый	A2	0	0	0

Диаметр пней	Тип рубки	Запас захламленности	В том числе	Класс	Запас старого сухостоя	Признак неэкспл. 2 яруса
0	нет	0	0	0	0	0

Группа возрастов	Запас на выдел	Живая часть	Код возраста рубки	Класс возраста
3	53	СОСНОВАЯ	29	5

Рис. 1. Форма просмотра и редактирования записей по выделной базе данных. Основной макет «Основные показатели»

Ввод данных в базу

Добавить макет... Удалить макет ОК Проверять Отмена

Основные показатели Описание элементов леса 1

Ярус	Коэффициент состава	Древесная порода	Возраст	Высота	Диаметр	Класс товарности	Происхождение	Полнота
1 ярус д	10	Сосна	85	22	32	1	нет	30

Сумма площадей сечения	Запас яруса на 1 га
0	110

Рис. 2. Форма просмотра и редактирования записей по выделной базе данных. Дополнительный макет «Описание элементов леса 1»

Для моделирования распределения числа деревьев по диаметру разработана имитационная модель, позволяющая по таксационным показателям древостоя, имеющимся в базе данных ГИС «Лесные ресурсы», получать распределенные числа деревьев по ступеням толщины.

Все таксационные показатели хранятся в тематических базах данных.

Просмотр и редактирование записей базы данных выполняется в специальных экранных

формах, облегчающих восприятие данных и управление ими. Форма просмотра базы данных представлена в виде таблицы и состоит из основного и дополнительных макетов (рис. 1, 2). Все таксационные показатели насаждения в по выделную базу данных ГИС «Лесные ресурсы» заносятся из таксационного описания, которое формируется в камеральный период с помощью комплекса программ СОЛИ-2 на основе данных карточек таксации.

ОДНОЯРУСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ (МОЛОДНЯКИ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫЕ)
Выписка таксационной характеристики прежнего лесоустройства

КАРТОЧКА ТАКСАЦИИ
№ кв **7** Лесничество **БЕНЯКОНСКОЕ**

1	№ выдела	Площадь га	Категория земель	ДП	ОЗУ	Склон		ВНУМ	Эрозия		Проектируемые мероприятия						Цел. порода						
						эксп	крут.		вид	степ	1-ое	%	№ РТК	2-ое	№ РТК	3-е		№ РТК					
1	6	15	1								30	15	11		17								
3	Порода	Бон	Тип леса	ТЛУ	Год выруб.	К-во лней, шт/га				Д пней см	Тип выруб	Захламлен.		Старый сухой	№ ПТТ	Запись хозмероприятий							
						всего	сосны	листвен.	бер.			общая	лика			листвен.	бер.						
	С	1А	кис	С2								20	10	10									
10	№	Состав		А лет	Н м	Д см	Кл. тов.	Про исх.	Полнота	Σq	Запас м³/га	№	Состав		А лет	Н м	Д см	Кл. тов.	Про исх.	Полнота	Σq	Запас м³/га	
		коэф	порода										коэф	порода									
10	1	4	С	30	15	14			0,8		190	9	4	Д	150	30	48	2					10
10	2	2	Е	14	12							10	2	Б	70	28	32	4					
10	1	1	Д	10	12							10	2	ОС	80	29	36	4					
10	1	1	Б	18	18							10	2	Е	120	30	40	2					
10	1	1	ОС	18	18							10											
10	1	1	Олс	17	18							10											
31	К-во тлшт	Н м	А лет	Коэф	Порода	Коэф	Порода	Коэф	Порода	Оценка	Подлесок	Густота	Порода	Порода	Порода								
																32	1	кря	лиц	бер			
31											32												

МАКЕТЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СВЕДЕНИЙ

№	1	2	3	4	5	6	7	8	№	1	2	3	4	5	6	7	8
12	1	94	С		2												
12	12	98	С	12	2	22	1										

Рис. 3. Вид «Карточки таксации» при глазомерном методе таксации

ОДНОЯРУСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ (ПРИСПЕВАЮЩИЕ, СПЕЛЫЕ И ПЕРЕСТОЙНЫЕ)
Выписка таксационной характеристики прежнего лесоустройства

КАРТОЧКА ТАКСАЦИИ
№ кв **1** Лесничество **БЕНЯКОНСКОЕ**

1	№ выдела	Площадь га	Категория земель	ДП	ОЗУ	Склон		ВНУМ	Эрозия		Проектируемые мероприятия						Цел. порода						
						эксп	крут.		вид	степ	1-ое	%	№ РТК	2-ое	№ РТК	3-е		№ РТК					
1	10	10	1		6						8												
3	Порода	Бон	Тип леса	ТЛУ	Год выруб.	К-во лней, шт/га				Д пней см	Тип выруб	Захламлен.		Старый сухой	№ ПТТ	Запись хозмероприятий							
						всего	сосны	листвен.	бер.			общая	лика			листвен.	бер.						
	С	1	МШ	А2																			
10	№	Состав		А лет	Н м	Д см	Кл. тов.	Про исх.	Полнота	Σq	Запас м³/га	№	Состав		А лет	Н м	Д см	Кл. тов.	Про исх.	Полнота	Σq	Запас м³/га	
		коэф	порода										коэф	порода									
10	1	5	С	100	28	36	1		0,7		350	10											
10		5	Е	90	26	32	1				16	10											
10			Б	60	23	28	1					10											
10												10											
10												10											
10												10											
31	К-во тлшт	Н м	А лет	Коэф	Порода	Коэф	Порода	Коэф	Порода	Оценка	Подлесок	Густота	Порода	Порода	Порода								
																32	1	кря	Р				
31	5	2	15	6	Е	3	С	1	Б	1	32												

МАКЕТЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СВЕДЕНИЙ

№	1	2	3	4	5	6	7	8	№	1	2	3	4	5	6	7	8

Рис. 4. Вид «Карточки таксации» при глазомерно-измерительном методе таксации

Карточка таксации является основным полевым инвентаризационным документом, в котором фиксируются необходимые показатели лесного фонда (рис. 3, 4).

Форма и содержание карточки таксации стандартизированы и приспособлены для обработки на ЭВМ. Заполнение осуществляется в соответствии с «Рабочими указаниями по подготовке карточек таксации для обработки на персональном компьютере» (2002 г.). Карточка таксации заполняется на каждый таксационный выдел, включая категории земель, обозначаемые на планово-картографических материалах лесоустройства внемасштабными условными знаками. В

карточку таксации записываются все таксационные показатели и характеристики, определение которых обязательно для конкретной категории земель или насаждений в соответствии с требованиями указанными в «Инструкции по проведению лесоустройства государственного лесного фонда» (2002 г.).

В соответствии с установленными нормативами точности при проведении лесоустройства в лесном фонде должны применяться следующие методы таксации: глазомерно-измерительный, глазомерный или дешифровочный, т. е. метод рационального сочетания наземной таксации с камеральным дешифрированием аэрофотоснимков [2].

Процесс создания имитационной модели строения древостоев по диаметру включает выполнение следующих этапов: сбор опытных данных таксации древостоев на временных пробных площадях; статистический анализ опытных распределений числа деревьев по диаметру в древостоях; изучение взаимосвязей таксационных показателей древостоев и статистических показателей распределения деревьев по диаметру; моделирование строения древостоев по диаметру, разработка имитационной модели строения древостоев по диаметру.

Имитационная модель строения древостоев по диаметру разработана на основе исследования строения чистых одновозрастных сосновых, еловых, березовых, осиновых и черноольховых насаждений, применения статистической модели бета-распределения числа деревьев по диаметру, регрессионных моделей связи параметров модели распределения и таксационных показателей древостоя, алгоритма имитации строения и вычисления таксационных показателей древостоя. При разработке имитационной модели использовались методика, алгоритмы и программы STROENIE, K104DIAM и K104BETA проф. О. А. Атрощенко [3].

Исходными данными для моделирования распределения числа деревьев по ступеням толщины являются таксационные показатели насаждения, указанные в повыдельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» – возраст (A), средний (таксационный) диаметр (D), средняя высота древостоя (H), сумма площадей сечений (G) или относительная полнота древостоя (p), запас (M), класс бонитета ($H100$) (см. рис. 1, 2). Структурная схема имитационной модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» представлена на рис. 5.

Величина ступени толщины устанавливается в соответствии с ГОСТ. Затем проводится оценка параметров распределения числа деревьев по ступеням толщины. В зависимости от древесной породы, по регрессионным моделям связи определяется среднеарифметический диаметр древостоя, максимальный диаметр распределения числа деревьев по диаметру, размах распределения диаметров деревьев в древостое. Минимальный диаметр распределения числа деревьев по диаметру определяется через максимальный диаметр и размах распределения. По регрессионным моделям, также определяется величина среднеквадратического отклонения распределения числа деревьев по диаметру в древостое [4, 5]. Экспоненты теоретического бета-распределения вычисляются в соответствии с алгоритмом Зехрера [6]. На основании полученных параметров бета-распределения определяется чис-

ло деревьев по ступеням толщины. Далее, по данным распределения числа деревьев по ступеням толщины вычисляется средний диаметр древостоя, который сравнивается со средним диаметром, полученным по результатам таксации. Если различие в диаметре составляет более 5%, верхний предел бета-распределения увеличивается на один интервал и повторяется итерационная процедура.

Результатом работы имитационной модели является распределение числа стволов по ступеням толщины и основные таксационные показатели, полученные на основе теоретического распределения и по регрессионным моделям связи: средняя высота древостоя, видовая высота, сумма площадей сечений и, как результат, запас древостоя.

На языке программирования VBA (Visual Basic for Application) для прикладной системы Microsoft Excel (офисное программирование), входящей в пакет Microsoft Office, была написана программа «Перечет» для имитационного моделирования строения исследуемых древостоев по диаметру на основе данных ГИС «Лесные ресурсы» с целью получить распределение числа стволов по ступеням толщины и вычислить необходимые таксационные показатели в ГИС «Лесные ресурсы».

Основное назначение программы «Перечет» – представить распределение числа стволов по ступеням толщины в древостоях таким образом, чтобы центр распределения (средний (таксационный) диаметр), площадь под кривой теоретического распределения (число деревьев в древостое), сумма площадей сечений и запас древостоя совпадали с таксационными показателями повыдельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы».

Точность и надежность программы «Перечет», позволяющей моделировать строения древостоев по диаметру, зависит от точности исходных данных таксации насаждений, структурной и функциональной точности математических моделей связи показателей, логической структуры и точности вычислительных алгоритмов, заложенных в программе на ЭВМ, и практической простоты применения системы.

Для проверки точности и надежности модели строения по диаметру в сравнении с данными перечислительной таксации на 29 контрольных временных пробных площадях, на ЭВМ выполнен эксперимент с имитационной моделью. Контрольные пробные площади заложены в чистых одновозрастных сосновых, еловых, березовых, осиновых и черноольховых древостоях. Данные перечислительной таксации контрольных пробных площадей обрабатывались на ЭВМ по программе В. П. Машковского, разработанной на кафедре лесоустройства БГТУ, – CSP, с целью получения средних таксационных показателей.

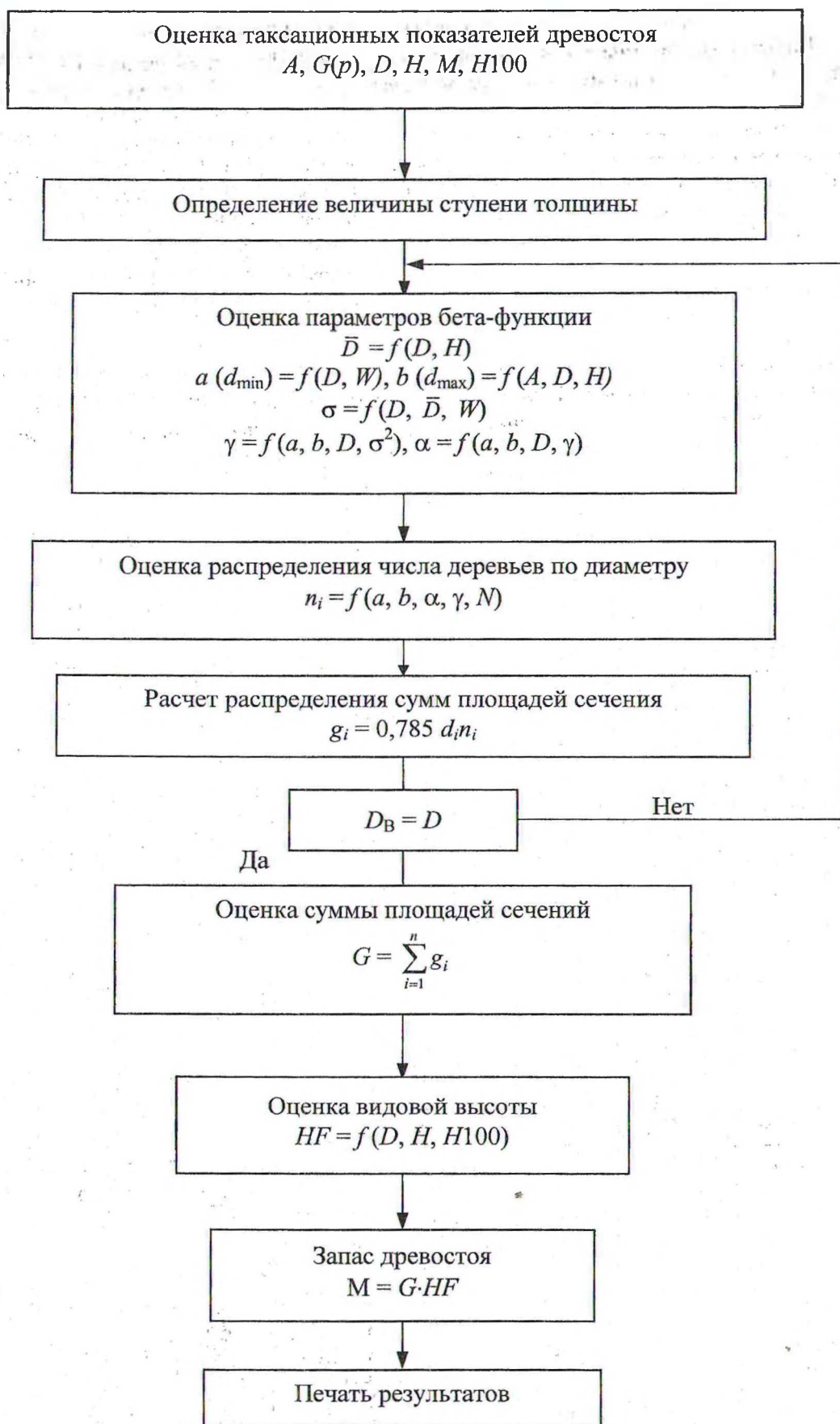


Рис. 5. Модель строения древостоев по диаметру по данным ГИС «Лесные ресурсы»

Полученные средние таксационные показатели аналогичны данным по выделительной базе данных ГИС «Лесные ресурсы». Затем на основе вычисленных таксационных показателей по программе «Перечет» выполнено моделирование строения контрольных древостоев по диаметру и вычислены таксационные показатели. Таксационные показатели контрольных пробных площадей и таксационные характеристики, полученные в результате моделирования строения древостоев по диаметру по программе

«Перечет» приведены в таб. 2 и на рис. 6–8. При проведении эксперимента проверялись ошибки вычисления среднего диаметра, суммы площадей сечений, количества стволов на 1 га и запасов древостоев. Вычислялись максимальные и минимальные абсолютные и относительные отклонения по среднему диаметру, сумме площадей сечений, количеству деревьев, запасу и среднеквадратические ошибки оценки таксационных показателей древостоев. Ошибки оценки таксационных показателей указаны в табл. 3.

Таблица 2

Таксационные показатели древостоев, полученные в результате моделирования строения древостоев по диаметру по программе «Перечет» (числитель – опытные данные, знаменатель – расчетные)

Лесхоз	Класс бонитета Тип леса	Возраст, лет	Относительная полнота	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м ² /га	Кол-во стволов, шт./га	Запас, м ³ /га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ушачский	II С. мш.	26	0,78	11,4	8,7	22,24	3708	115
					8,7	22,29	3747	124
Слуцкий	II С. мш.	37	0,74	14,3	12,1	23,15	2000	170
					12,1	23,33	2027	169
Столбцовский	III С. вер.	76	0,63	18,7	18,5	22,31	823	198
					18,5	22,17	824	201
Гродненский	III С. вер.	57	0,84	19,9	20,5	30,37	924	284
					20,5	30,28	917	290
Узденский	I С. мш.	74	0,76	25,3	23,5	30,17	697	341
					23,5	30,17	695	359
Кличевский	I С. мш.	80	0,84	26,9	27,3	34,00	580	403
					27,3	34,21	584	430
Житковичский	I С. чер.	96	0,70	28,2	31,8	28,93	365	357
					31,8	29,07	366	381
Глубокский	I Е. ор.	24	0,88	12,1	9,2	23,66	3550	138
					9,2	23,69	3562	152
Слуцкий	II Е. чер.	38	0,77	12,9	13,0	21,71	1632	153
					13,0	21,74	1637	148
Осиповичский	I ^a Е. кис.	51	0,56	21,9	17,8	22,49	909	241
					17,8	22,47	902	244
		67	0,47	27,3	25,8	21,16	406	273
					25,8	21,03	402	279
Россонский	I Е. чер.	96	0,50	29,3	29,6	22,42	327	307
					29,6	22,53	327	320
Негорельский	II Е. чер.	86	0,56	23,5	33,7	21,56	242	240
					33,7	21,68	243	251
Гродненский	I ⁿ Б. кр.	25	0,60	17,0	12,0	15,88	1408	123
					12,0	15,79	1396	121
Осиповичский	I Б. ор.	40	0,66	20,5	13,7	19,36	1310	185
					13,7	19,29	1308	173
Минский	I ^a Б. кис.	35	0,89	21,8	17,7	26,82	1086	263
					17,7	26,86	1091	254
Полоцкий	II Б. дм.	60	0,57	22,1	18,4	17,11	641	170
					18,4	17,32	651	167
Осиповичский	I ^a Б. ор.	50	0,86	24,9	22,9	27,61	670	310
					22,7	27,32	672	289
		55	0,68	26,4	26,2	22,61	419	267
					26,2	22,50	417	250
Гродненский	I Б. кр.	60	0,61	26,3	26,5	20,09	364	237
					26,5	20,15	365	224
Негорельский	I Б. кис.	65	0,77	26,9	27,8	25,62	423	309
					27,8	25,69	423	291
Лиозненский	II Олч. сн.	30	0,78	14,9	13,1	20,70	1539	157
					13,1	20,66	1532	151

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Негорельский	I Олч. пап.	35	0,77	17,4	<u>13,5</u> 13,5	<u>23,15</u> 23,09	<u>1615</u> 1608	<u>201</u> 196
		45	0,62	22,1	<u>19,0</u> 19,0	<u>22,08</u> 21,94	<u>777</u> 773	<u>230</u> 234
Осиповичский	I ^a Олч. сн.	55	0,87	26,0	<u>26,1</u> 26,1	<u>33,68</u> 33,78	<u>631</u> 631	<u>406</u> 421
		80	0,66	24,5	<u>29,3</u> 29,3	<u>24,81</u> 24,84	<u>369</u> 368	<u>284</u> 291
Россонский	I ^a Ос. кис.	35	0,75	22,0	<u>19,3</u> 19,3	<u>25,06</u> 25,13	<u>856</u> 858	<u>254</u> 254
		45	0,66	24,7	<u>21,1</u> 21,1	<u>23,23</u> 23,40	<u>666</u> 669	<u>267</u> 263
Кличевский	I ^a Ос. ос.	50	0,71	26,7	<u>27,4</u> 27,4	<u>26,18</u> 26,05	<u>442</u> 441	<u>327</u> 315

Таблица 3

Ошибки в оценке таксационных показателей древостоев, полученных при моделировании в программе «Проба»

Таксационный показатель	Абсолютные отклонения		Относительные отклонения, %		Среднеквадратическая ошибка оценки показателя, %
	+	-	+	-	
Средний диаметр (D), см	-	0,2	-	0,87	0,16
Сумма площадей сечений (G), м ² /га	0,21	0,29	1,23	1,05	0,52
Число стволов (N), шт/га	39	12	1,56	0,99	0,61
Запас древостоя (M), м ³ /га	27	21	9,42	6,77	4,55

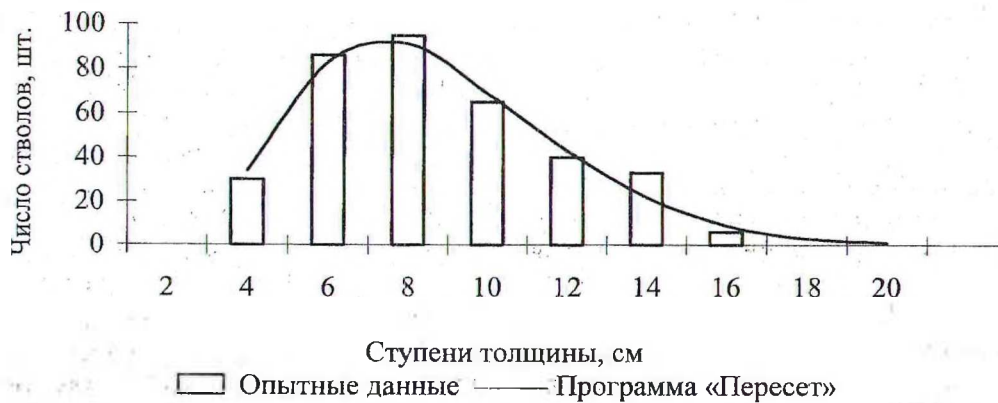


Рис. 6. Опытное и теоретическое распределения деревьев по диаметру в еловых древостоях. Глубокский лесхоз ($A = 24$ года; $H = 12,1$ м; $D = 9,2$ см; I класс бонитета, тип леса – Е. орл.; относительная полнота – 0,88)



Рис. 7. Опытное и теоретическое распределения деревьев по диаметру в черноольховых древостоях. Негорельский лесхоз ($A = 35$ года; $H = 17,4$ м; $D = 13,5$ см; I класс бонитета; тип леса – Олч. пап.; относительная полнота – 0,77)

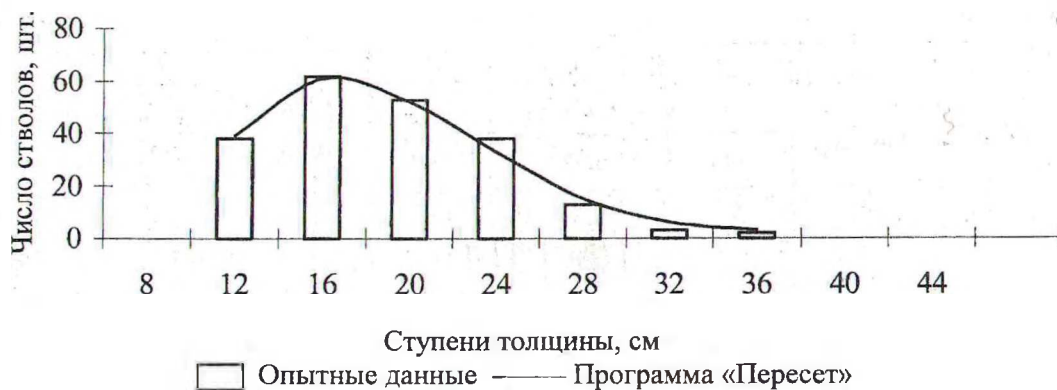


Рис. 8. Опытное и теоретическое распределения деревьев по диаметру в сосновых древостоях. Узденский лесхоз ($A = 74$ года; $H = 25,3$ м; $D = 23,5$ см; I класс бонитета; тип леса – С. мш.; относительная полнота – 0,76)

Как показывают результаты моделирования строения древостоев по диаметру на контрольных пробных площадях по программе «Пересет», ошибка определения таксационных показателей по данным теоретического распределения не превышает, %: 1,0 – при оценке среднего диаметра древостоя; 1,5 – при оценке суммы площадей сечений; 9,5 – при оценке запаса древостоя и 2,0 – при оценке количества стволов на 1 га. Среднеквадратическая ошибка оценки таксационных показателей составляет, %: среднего диаметра – 0,16, суммы площадей сечений – 0,52, количество стволов на 1 га – 0,61, запаса древостоя – 4,55.

Выводы. 1. При высокой точности определения исходных данных (измерительными или выборочными методами) разработанная система позволяет определять запас древостоя с точностью до $\pm 5\%$.

2. Имитационная модель строения древостоев по диаметру, разработанная на основе бета-распределения, имеет достаточно высокую надежность и может быть рекомендована для получения распределения числа деревьев по ступеням толщины в чистых одновозрастных древостоях для основных лесобразующих пород в ГИС «Лесные ресурсы» на основе имеющихся таксационных показателей в повидельной базе данных.

3. Разработанная имитационная модель строения древостоев по диаметру позволяет также решать практические задачи: 1) получать распределение числа деревьев по диаметру на основе таксационных показателей древостоя без перечета деревьев; 2) состав-

лять таблицы строения древостоев по диаметру в дополнении к таблицам хода роста; 3) представлять данные (перечеты и таксовую стоимость древесины) по лесосечному фонду на основе выборочных методов таксации древостоев; 4) составлять таблицы динамики товарности древостоев.

Литература

1. Багинский, В. Ф. Лесопользование в Беларуси: История, современное состояние, проблемы и перспективы / В. Ф. Багинский, Л. Д. Есимчик. – Минск: Беларус. навука, 1996 – 367 с.
2. Инструкция по проведению лесоустройства государственного лесного фонда. – Минск, 2002.
3. Атрощенко, О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02 / О. А. Атрощенко. – Киев, 1985. – 520 с.
4. Ковалевский, С. В. Моделирование строения основных древостоев по диаметру / С. В. Ковалевский // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2004. – Вып. XII. – С. 265–269.
5. Ковалевский, С. В. Моделирование строения еловых древостоев по диаметру / С. В. Ковалевский // Леса Евразии – Восточные Карпаты: материалы IV междунар. конф. молодых ученых, посвященной академику П. С. Погребняку, Москва, 27 сент.–1 окт. 2004 г. / Москов. гос. ун-т леса; редкол.: В. Г. Санаев [и др.]. – Москва, 2004. – С. 68–69.
6. Zohrer, F. The beta-distribution for best fit of stem-diameter-distributions / F. Zohrer // Third conference Advisory group for forest statisticians. – Paris, 1970. – P. 23–29.