ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 674.093:630*
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-113-127

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ В ЛЕСАХ С РАДИОАКТИВНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

***А.Н. Заикин*[1], *д-р техн. наук, доц.;* *ORCID:* 0000-0002-1831-6893**
***А.С. Торопов*[2], *д-р техн. наук, проф.;* *ORCID:* 0000-0003-4414-2505**
В.М. Меркелов*[1], *канд. техн. наук, доц.;
***В.В. Сиваков*[1], *канд. техн. наук, доц.;* *ResearcherID:* R-7264-2019,**
ORCID: 0000-0002-0175-9030*
[1]Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: Zaikin.Anatolij@yandex.ru, vmerkelov55@mail.ru, svv000@yandex.ru
[2]Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: ToropovAS@volgatech.net

В связи с техногенными авариями на объектах атомной энергетики, в том числе на Чернобыльской АЭС, часть лесов Российской Федерации подверглась радиоактивному загрязнению, что создало условия, при которых в долгосрочной перспективе невозможно обычное многоцелевое использование леса и лесных ресурсов. Эти леса представляют серьезную экологическую опасность, так как возможен перенос радионуклидов в незараженные зоны вследствие возникновения техногенных и природных пожаров. Заготовка и использование древесины из этих регионов – актуальная задача, которая обеспечивает решение экологических проблем за счет снижения возможности повторного заражения радионуклидами прилегающих территорий. Одним из выходов в данной ситуации является предлагаемая нами технология комплексной переработки загрязненной радионуклидами древесины на основе мобильных комплексов машин и оборудования, работающих непосредственно на лесосеке, с приводом от двигателей внутреннего сгорания или самоходных машин для получения «чистых» пиломатериалов. При этом возникающая необходимость минимизировать продолжительность занятости машин и оборудования может быть достигнута за счет согласованной работы лесосечных машин с мобильным оборудованием по объему перерабатываемой древесины на каждой операции. Согласование объемов выработки машин и оборудования возможно при создании и поддержании (потребление, пополнение и выработка) на определенном для конкретных условий уровне оперативных запасов. С учетом разработанных ранее моделей, предусматривающих увеличение численности и/или сменности работы машин и оборудования на отстающих операциях, определяются режимы функционирования комплекта машин в целом. Данный подход к решению проблемы позволит: обеспечить объем выработки комплекта машин и оборудования, равный объему выработки ведущего оборудования комплекта; сократить количество дней, необходимое для заготовки заданного объема древесины; снизить количество загрязняющих веществ (например, по оксиду углерода), которое двигатели самоходных машин выбрасывают в атмосферу.

Для цитирования: Заикин А.Н., Торопов А.С., Меркелов В.М., Сиваков В.В. Повышение эффективности работы машин и оборудования при заготовке древесины в лесах с радиоактивным загрязнением // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 113–127. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-113-127

Ключевые слова: радионуклиды, радиоактивное загрязнение, продольный раскрой, переработка отходов, лесосека, комплект машин, хлыст, пиломатериалы.

Введение

В связи с техногенными авариями на объектах атомной энергетики, в том числе на Чернобыльской АЭС, часть лесов Российской Федерации подверглась радиоактивному загрязнению [3, 12, 23, 26, 29], что создало условия, препятствующие обычному многоцелевому их использованию.

Эти леса представляют серьезную экологическую опасность, так как возможен перенос радионуклидов в незараженные зоны [3] вследствие возникновения пожаров из-за причин техногенного и природного характера. Использование заготовленной древесины из этих регионов является весьма актуальной задачей, решение которой обеспечит снижение риска заражения радионуклидами прилегающих территорий [2, 13, 25, 26] и будет способствовать созданию новых рабочих мест.

Согласно Методическим рекомендациям по регламентации лесохозяйственных мероприятий в лесах, загрязненных радионуклидами (Приложение 1 к приказу Рослесхоза № 81 от 16 марта 2009 г.), и Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 июня 2017 г. № 283 «Об утверждении особенностей осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов» для зон средней и низкой степени загрязнения лесов:

рекомендуемая технологическим регламентом технология лесосечных работ для лесов с плотностью загрязнения почв цезием-137 в количестве 15...40 Ku/км^2 предусматривает: заготовку на лесосеках только сортиментов; окорку их на погрузочном пункте (верхнем складе); измельчение отходов лесозаготовок на рубительных машинах; равномерное разбрасывание измельченных отходов по площади лесосеки с использованием выпускаемых машин и механизмов;

если чистовая окорка не позволяет получить древесину с требуемыми показателями по радиоактивному загрязнению, это может быть достигнуто путем обрезки верхних слоев древесины на мобильном лесопильном оборудовании в условиях лесосеки;

допускаются неравномерное разбрасывание измельченных отходов по территории лесосеки и их складирование в штабеля с оставлением на перегнивание при условии соблюдения требований пожарной безопасности.

Повышение мобильности лесопильных установок сделало возможным переработку всей, в том числе и тонкомерной, древесины и производство пиломатериалов непосредственно на месте ее заготовки – на лесосеке [1, 16, 22, 27].

Получение окоренных сортиментов и «чистой» пилопродукции в условиях лесосеки рассматривалось рядом исследователей [5–7, 17, 18, 22, 24]. Эффективный состав лесосечных машин для конкретных условий разработки

лесосек, который позволяет выполнять лесосечные работы при заданных показателях эффективности, представлен в работах [8, 11, 16, 21]. Вопросы расчета режимов работы лесосечных машин (оптимальной величины оперативных запасов древесины между смежными операциями, времени их создания, потребления, пополнения и выработки) и организации их функционирования отражены в [4, 9–11, 20], проблемы снижения негативного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы – в [5, 14, 16, 28]. В то же время авторам неизвестны научные труды, в которых бы решались вопросы согласованной работы лесосечных машин и деревообрабатывающего оборудования.

Лесозаготовительный процесс осуществляют предприятия различных форм собственности, работающие в разных природно-производственных условиях. Организация лесозаготовительного производства зависит от используемых технологических процессов, характеризующихся составом и количеством применяемых машин и оборудования, последовательностью и местом выполнения технологических и транспортно-переместительных операций.

Но независимо от типа применяемого оборудования и используемой технологии существует проблема повышения его эффективности за счет согласования работы лесосечных машин и деревообрабатывающего оборудования для получения «чистых» пиломатериалов на верхнем складе, т. е. за счет повышения объема выработки комплекта машин до объема выработки машин на ведущей операции, снижения продолжительности выполнения заданного объема работ и, как следствие, уменьшения допустимого времени пребывания людей на зараженной территории. Кроме того, актуальным является вопрос снижения техногенного воздействия лесосечных машин на окружающую среду, в частности возможного уменьшения выброса вредных веществ в атмосферу с отработавшими газами. Решению этих проблем и посвящено данное исследование.

Согласование работы лесозаготовительных машин и деревообрабатывающего оборудования, а следовательно, повышение их эффективности, достижение объема выработки комплекта машин, равного объему выработки машин на ведущей операции, уменьшение продолжительности внутрисменных простоев и продолжительности выполнения заданного объема работ, т. е. сокращения времени нахождения людей и техники в зонах радиоактивного загрязнения, позволяет получать готовую продукцию в виде «чистых» пиломатериалов при сокращении количества загрязняющих веществ, которое двигатели самоходных машин выбрасывают в атмосферу, за счет организации технологического процесса по заранее рассчитанным для конкретных условий режимам работы техники на основе разработанных нами математических моделей [4].

Объекты и методы исследования

Получение «чистых» пиломатериалов непосредственно на лесосеке предполагает выполнение ряда технологических операций – валку, трелевку, обрезку сучьев, раскряжевку и продольную распиловку, переработку отходов. Применение ручных бензомоторных инструментов нежелательно.

В целях минимизации вредного воздействия радиации на человека целесообразно использовать машинный способ заготовки, обеспечивающий снижение внутрисменных простоев оборудования за счет роста объемов выработки комплекта машин, уменьшения продолжительности работы на лесо-

секе и сокращения количества загрязняющих веществ, выбрасываемых машинами в атмосферу.

Возможно применение различных вариантов комплектов машин. Например, вариант (рис. 1, *а*) предусматривает на валке валочно-трелевочную машину, на обрезке сучьев – сучкорезно-раскряжевочную машину, для получения пиломатериалов – круглопильный станок КАНТ-2М, ленточнопильный станок Тайга-2Б и агрегат для переработки тонкомера УПФП-1М; вариант (рис. 1, *б*) имеет на валке – харвестер (Harvester), на трелевке – форвардер (Forwarder), для получения пиломатериалов – круглопильный станок КАНТ-2М и агрегат для переработки тонкомера УПФП-1М.

Предлагаемые мобильные установки для продольной распиловки работают непосредственно на лесосеке, их привод осуществляется от двигателей внутреннего сгорания или от вала отбора мощностей трактора через карданный вал [15]. При этом конкретный состав и количество оборудования зависят от объема лесозаготовок и номенклатуры вырабатываемой продукции.

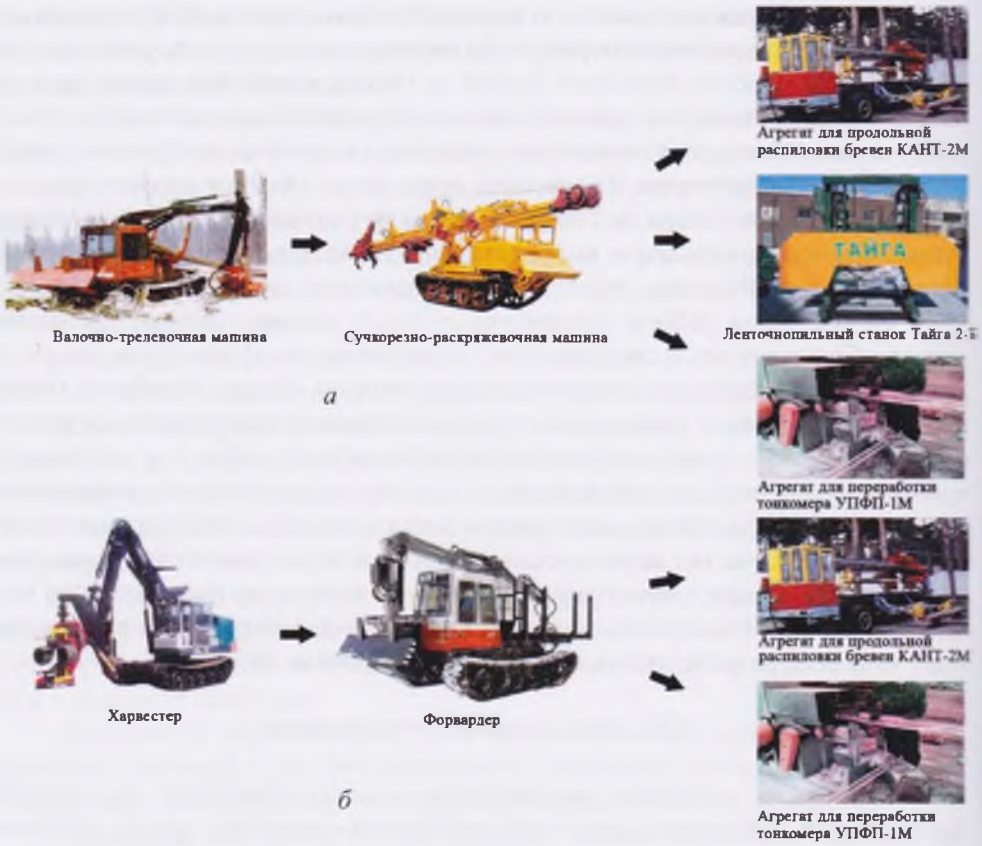

Рис. 1. Возможные варианты (*а*, *б*) комплектов машин для получения пиломатериалов на лесосеке

Fig. 1. Possible options (*а*, *б*) of machine sets for receiving sawn timber in the cutting area

В качестве силовой базы для привода рабочих механизмов оборудования УПФП-1М используется колесный трактор МТЗ-82, для агрегата КАНТ-2М – электрическая станция ЭСД-75 с дизель-электрическим агрегатом АД75-Т/400 на двухосном прицепе типа МАЗ-5207В [16].

Результаты исследования и их обсуждение

Особенность лесосечных работ заключается в последовательно-параллельном выполнении операций. Между всеми операциями создаются, потребляются, пополняются и вырабатываются оперативные запасы деревьев, хлыстов, сортиментов и др. Согласованная работа машин в комплекте может быть достигнута при условии поддержания этих запасов на определенном для конкретных условий уровне за счет увеличения численности и/или сменности работы машин на отстающих операциях. Это позволит: увеличить объем выработки комплекта машин до величины, равной объему выработки ведущей машины; уменьшить число дней работы машин, необходимое для заготовки заданного объема древесины; снизить негативное воздействие машин на лесные экосистемы [4].

Для оценки согласованности работы лесосечных машин и деревообрабатывающего оборудования нормы их выработки (табл. 1) определяли по [19].

Таблица 1

Нормы выработки оборудования в зависимости от среднего объема хлыста

Комплект машин	Средний объем хлыста $q_{хл}$, м^3	Сменная норма выработки единицы техники, м^3						
		ВТМ*	СРМ**	Harvester	Forwarder	УПФП-1М	КАНТ-2М	Тайга-2Б
а	0,27	36,00	42,00	–	–	14,00	14,00	10,00
б	0,17	–	–	48,90	62,00	10,65	44,89	–
	0,25	–	–	72,00	67,30	17,64	46,77	–
	0,30	–	–	86,00	71,30	17,75	56,13	–

*Валочно-трелевочная машина. **Сучкорезно-раскряжевочная машина.

Согласование работы машин и оборудования для рассматриваемого комплекта возможно за счет увеличения числа смен их работы на отстающих операциях. При среднем объеме хлыста $q_{хл}$ = 0,27 м^3 для схемы *а* (рис. 1) требуется повысить число смен работы ВТМ, агрегата КАНТ-2М, ленточнопильного станка Тайга-2Б и агрегата УПФП-1М. При остальных значениях $q_{хл}$ необходимо увеличить число смен работы многоцелевых машин харвестера и форвардера, а также агрегатов КАНТ-2М для продольной распиловки бревен и УПФП-1М для переработки тонкомера, но с соблюдением условия, что численность и/или сменность работы ведущей машины в комплекте остается постоянной.

Тогда для различных объемов хлыста объемы выработки оборудования на отдельных операциях с учетом роста числа смен на отстающих операциях будут иметь значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Объем выработки машин и оборудования при среднем объеме хлыста

$q_{хд}$, м^3	Операция	Марка оборудования	Объем выработки машин и оборудования, м^3			
			дополнительный Q_{di}	основной Q_i	суммарный $Q_i^{(d)}$	максимальный Q_{max}
0,17	Валка	Harvester	14,67	48,90	63,57	62,00
	Трелевка	Forwarder				
	Трелевка	Forwarder	8,98	44,89	53,87	50,00
	Продольная распиловка	КАНТ-2М				
	Трелевка	Forwarder	2,13	10,65	12,78	12,00
	Переработка тонкомера	УПФП-1М				
0,25	Валка	Harvester	13,46	67,30	80,76	72,00
	Трелевка	Forwarder				
	Трелевка	Forwarder	9,35	46,77	56,12	51,00
	Продольная распиловка	КАНТ-2М				
	Трелевка	Forwarder	3,53	17,64	21,17	21,00
	Переработка тонкомера	УПФП-1М				
0,27	Валка	ВТМ	7,20	36,00	43,20	42,00
	Обрезка сучьев – раскряжевка	СРМ	2,78	23,90	26,60	25,20
	Продольная распиловка	КАНТ-2М, Тайга-2Б				
	Переработка тонкомера	УПФП-1М	4,20	14,00	18,20	16,80
0,30	Валка	Harvester	21,39	71,30	92,69	86,00
	Трелевка	Forwarder				
	Трелевка	Forwarder	11,22	56,13	67,35	65,00
	Продольная распиловка	КАНТ-2М				
	Трелевка	Forwarder	3,55	17,75	21,30	21,00
	Переработка тонкомера	УПФП-1М				

Согласно разработанной нами методике [4], вначале определим объем запасов, продолжительность их создания (t_1), пополнения и потребления (t_2), продолжительность дополнительного времени работы машин и оборудования на отстающих операциях (t_3) за расчетный период – месяц ($T_п$). Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов режимов работы оборудования

Операция	Марка оборудования	Количество оборудования / смен, шт.	Объем запасов, м^3		Число дней работы			
			страховых	гарантийных	t_1	t_2	t_3	$T_п$
Валка	Harvester	1 / 1	180,00	202,24	4,13	1,69	16,26	20,00
Трелевка	Forwarder	1 / 1						
Трелевка	Forwarder	1 / 1	44,89	77,86	0,89	6,45	8,52	15,86
Продольная распиловка	КАНТ-2М	1 / 1						
Трелевка	Forwarder	1 / 1	10,65	18,06	0,90	5,49	9,56	18,88
Переработка тонкомера	УПФП-1М	1 / 1						

Окончание табл. 3

Операция	Марка оборудования	Количество оборудования / смен, шт.	Объем запасов, м^3		Число дней работы			
			страховых	гарантийных	t_1	t_2	t_3	$T_п$
Валка	Harvester	1 / 1	180,00	233,53	2,67	11,28	6,10	20,00
Трелевка	Forwarder	1 / 1						
Трелевка	Forwarder	1 / 1	46,77	84,75	0,92	8,98	7,42	17,32
Продольная распиловка	КАНТ-2М	1 / 1						
Трелевка	Forwarder	1 / 1	17,64	20,28	0,84	0,78	15,71	17,33
Переработка тонкомера	УПФП-1М	1 / 1						
Валка-трелевка	ВТМ	1 / 1	42,00	60,30	1,60	3,10	15,30	20,00
Обрезка сучьев - раскряжевка	СРМ	1 / 1						
Обрезка сучьев-раскряжевка	СРМ	1 / 1	23,90	35,93	0,95	9,25	8,12	18,32
Продольная распиловка	КАНТ-2М, Тайга-2Б	1 / 1						
Обрезка сучьев-раскряжевка	СРМ	1 / 1	14,20	29,35	1,75	5,80	10,80	18,35
Переработка тонкомера	УПФП-1М	1 / 1						
Валка	Harvester	1 / 1	180,00	262,33	2,50	5,60	12,30	20,40
Трелевка	Forwarder	1 / 1						
Трелевка	Forwarder	1 / 1	56,13	87,00	0,86	3,48	13,14	17,48
Продольная распиловка	КАНТ-2М	1 / 1						
Трелевка	Forwarder	1 / 1	17,75	22,32	0,85	1,40	15,23	17,48
Переработка тонкомера	УПФП-1М	1 / 1						

Число дней, на которое сокращается время разработки лесосеки в зависимости от среднего объема хлыста и объема производства, также найдем по методике [4] (табл. 4).

Таблица 4

Число дней, на которое сокращается время заготовки пиломатериалов, в зависимости от среднего объема хлыста на лесосеке и объема производства

Объем производства, тыс. м^3	Число дней при объеме хлыста $q_{хл}$, м^3			
	0,17	0,25	0,27	0,30
4	17,27	6,50	15,87	9,59
6	25,93	10,00	24,00	14,39
8	34,57	13,10	31,74	19,18
10	43,21	16,40	39,68	23,97
12	51,84	14,60	47,62	28,80

Рассчитав число дней, на которое сокращается время разработки лесосеки, по методике [5] определим снижение вредных выбросов по оксиду углерода (CO) для различных объемов хлыста и объемов производства (табл. 5).

Таблица 5

Снижение объема вредных выбросов по CO вследствие сокращения числа дней разработки лесосеки

$q_{хл}$, м^3	Марка оборудования	Количество вредных выбросов по CO для объема производства, тыс. м^3				
		4	6	8	10	12
0,17	Harvester	218,32	327,81	437,03	546,26	655,36
	Forwarder	137,09	205,83	274,42	343,00	411,51
	КАНТ-2М	161,80	242,93	323,88	404,83	485,68
	УПФП-1М	99,52	149,42	199,21	248,99	298,72
$\sum V_{BS}$		616,73	925,99	1234,54	1543,08	1851,27
0,25	Harvester	82,17	126,42	165,61	207,33	247,78
	Forwarder	51,60	79,38	103,99	130,18	155,58
	КАНТ-2М	60,90	93,69	122,73	153,65	183,63
	УПФП-1М	37,46	57,62	75,49	94,50	112,94
$\sum V_{BS}$		232,12	357,11	467,82	585,66	699,94
0,27	ВТМ	114,47	178,16	228,93	286,20	343,47
	СРМ	91,45	142,33	182,90	228,65	274,41
	КАНТ-2М	101,09	157,34	202,18	252,76	303,72
	Тайга-2Б	148,68	231,41	297,37	371,75	446,14
	УПФП-1М	91,45	142,33	182,90	228,65	274,41
$\sum V_{BS}$		547,14	851,57	1094,28	1368,02	1642,15
0,30	Harvester	121,24	181,92	242,44	303,03	364,09
	Forwarder	76,13	114,23	152,23	190,27	228,61
	КАНТ-2М	89,85	134,82	179,67	224,57	269,82
	УПФП-1М	55,26	82,92	110,51	138,12	165,96
$\sum V_{BS}$		342,48	513,54	684,85	855,99	1028,48

Примечание. $\sum V_{BS}$ – суммарное значение снижения объема вредных выбросов основными машинами по CO.

В связи с тем, что повышение объема выработки комплекта машин и оборудования достигается за счет увеличения числа смен их работы на отстающих операциях (табл. 6), вычислим количество вредных выбросов за дополнительно отработанное время с учетом объема хлыста и годового объема производства (табл. 7).

Таблица 6

Изменение числа дней работы дополнительного оборудования на отстающих операциях в зависимости от среднего объема хлыста на лесосеке и годового объема производства

$q_{хл}$, м^3	Марка оборудования	Число дней работы дополнительного оборудования для объема производства, тыс. м^3				
		4	6	8	10	12
0,17	Harvester	15,75	23,61	31,46	9,50	47,17
	КАНТ-2М	5,50	8,25	10,99	68,40	16,48
	УПФП-1М	6,14	9,196	12,25	39,31	18,37

Окончание табл. 6

$q_{хл}$, м^3	Марка оборудования	Число дней работы дополнительного оборудования для объема производства, тыс. м^3				
		4	6	8	10	12
0,25	Forwarder	3,60	5,44	7,25	9,06	10,88
	КАНТ-2М	4,41	6,62	8,82	11,03	13,24
	УПФП-1М	9,33	14,01	18,66	23,34	28,02
0,27	ЛП-17	14,52	21,65	29,00	36,30	43,55
	КАНТ-2М, Тайга-2Б	7,73	11,53	15,46	19,32	23,19
	УПФП-1М	15,45	23,10	30,90	38,63	46,35
0,30	Forwarder	10,38	15,55	20,72	25,89	31,06
	КАНТ-2М	7,38	11,06	14,74	18,42	22,10
	УПФП-1М	8,56	12,82	17,08	21,35	25,62

Таблица 7

Объем вредных выбросов по СО от дополнительно подключаемых машин в зависимости от среднего объема хлыста на лесосеке и годового объема производства

$q_{хд}$, м^3	Марка оборудования	Количество вредных выбросов по СО, кг, от дополнительных машин для объема производства, тыс. м^3				
		4	6	8	10	12
0,17	Harvester	19,91	298,48	397,72	496,96	596,32
	КАНТ-2М	44,47	77,29	88,85	111,00	133,24
	УПФП-1М	35,38	52,99	70,59	88,22	105,86
$\sum V_{BS}^{(д)}$		278,96	428,76	557,16	696,19	835,42
0,25	Forwarder	28,58	43,18	57,55	71,92	86,37
	КАНТ-2М	41,32	62,02	82,63	103,34	124,04
	УПФП-1М	53,76	80,73	107,53	134,49	161,46
$\sum V_{BS}^{(д)}$		123,66	185,94	247,71	309,75	371,87
0,27	ЛП-17	104,73	156,19	209,17	261,83	314,12
	КАНТ-2М, Тайга-2Б	49,24	73,45	98,48	123,07	147,72
	УПФП-1М	89,03	133,11	178,06	222,60	267,09
$\sum V_{BS}^{(д)}$		243,00	851,57	485,71	607,50	728,93
0,30	Forwarder	82,40	123,44	164,48	205,51	246,55
	КАНТ-2М	69,14	103,62	138,10	172,57	207,05
	УПФП-1М	49,33	73,87	98,42	123,03	147,63
$\sum V_{BS}^{(д)}$		200,86	300,93	400,99	501,12	601,24

Примечание. $\sum V_{BS}^{(д)}$ – суммарное значение объема вредных выбросов от дополнительных машин по СО.

После расчета снижения вредных выбросов по СО и нахождения выбросов от дополнительно подключаемых машин определим абсолютное уменьшение этого показателя как разницу между ними. Полученные результаты приведены в табл. 8.

Таблица 8

Абсолютное снижение объема вредных выбросов по СО с учетом работы дополнительных машин

$q_{хл}$, м^3	Количество вредных выбросов по СО, кг, для объема производства, тыс. м^3				
	4 000	6	8	10	12
0,17	337,70	497,20	677,30	846,80	1 015,80

Окончание табл. 8

$q_{хл}$, м^3	Количество вредных выбросов по CO, кг, для объема производства, тыс. м^3				
	4 000	6	8	10	12
0,25	15,60	21,90	29,40	37,00	45,90
0,27	304,10	488,80	608,50	760,50	913,20
0,30	141,60	213,00	283,80	354,80	427,20

Зная количество дней ($D_{эв}$), на которое сокращается время разработки лесосеки (сэкономленное время) в зависимости от среднего объема хлыста и запаса древесины на лесосеке, рассчитаем площадь лесных почв (S_c), сохраненных от разрушения:

$$S_c = \frac{Q_{max} D_{эв}}{g_{ср}} K_{эв},$$

где Q_{max} – максимальный объем выработки комплекта машин и оборудования, м^3; $g_{ср}$ – средний запас древесины, м^3/га; $K_{эв}$ – коэффициент использования сэкономленного времени.

В связи с тем, что выбрать значение $K_{эв}$ очень сложно, принимаем его в диапазоне от 0,1 до 1,0, тогда для среднего объема хлыста 0,27 м^3 и годового объема производства 6 тыс. м^3 площадь лесных почв, сохраненных от разрушения, S_c = 0,613...6,130 га.

Для остальных значений среднего объема хлыста и годового объема производства результаты расчетов приведены в табл. 9.

Таблица 9

Изменение площадей лесных почв, сохраненных от разрушения, в зависимости от годового объема производства и среднего объема хлыста на лесосеке (min...max)

$q_{хл}$, м^3	Площадь лесных почв, сохраненных от разрушения, га, для объема производства, тыс. м^3				
	4	6	8	10	12
0,17	0,590...5,900	0,893...8,931	1,191...11,910	1,488...14,880	1,000...17,800
0,25	0,156...1,560	0,233...2,330	0,310...3,100	0,388...3,880	0,468...4,680
0,27	0,405...4,050	0,613...6,130	0,811...8,110	1,014...10,140	1,200...12,000
0,30	0,460...4,600	0,687...6,870	0,916...9,160	1,145...11,450	1,400...14,000

Анализ данных табл. 9 показывает, что площадь лесных почв, сохраненных от разрушения, может достигать значительных размеров, в среднем от 1 до 10 га.

При разработке лесосек в летних условиях возможна компенсация простоев машин из-за затянувшихся дождей, которая обеспечит соответствующее увеличение объемов выработки машин на отдельных операциях комплектов техники. Такая организация работы позволит эксплуатировать лесозаготовительные машины в более сухой период времени, что значительно снизит вредное воздействие их на почвенный покров и износ лесозаготовительной техники.

На основании полученных данных построены графики зависимости числа рабочих дней, на которое сокращается время заготовки сортиментов (рис. 2), и абсолютного снижения количества вредных выбросов по CO от объема производства (рис. 3) при различных значениях среднего объема хлыста.

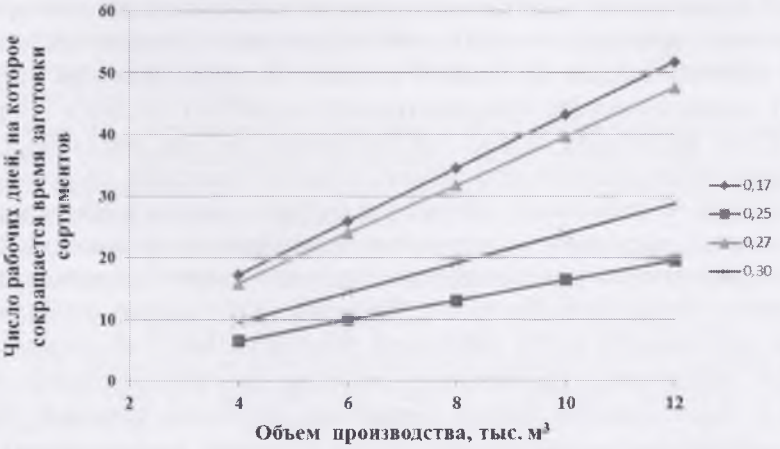

Рис. 2. Зависимость сокращения времени заготовки сортиментов от объема производства при различных значениях среднего объема хлыста

Fig. 2. The dependence of the number of working days, to which the time for shortwood logging is reduced, on the volume of production at various values of average stem volume

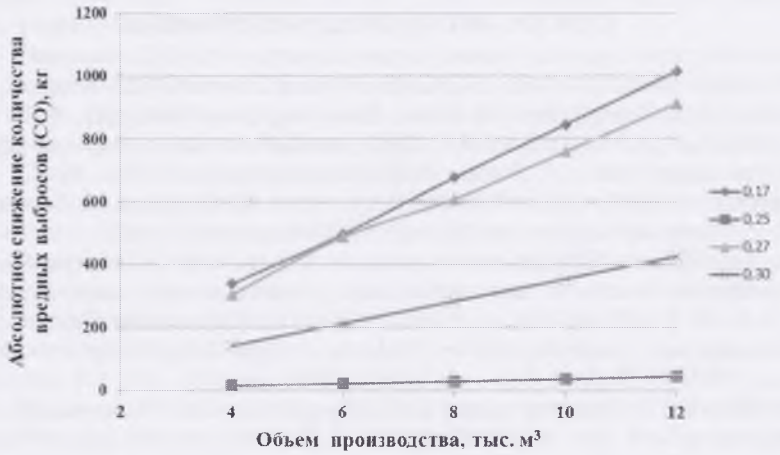

Рис. 3. Зависимость абсолютного снижения количества вредных выбросов по CO от годового объема производства при различных значениях среднего объема хлыста

Fig. 3. The dependence of the absolute reduction of hazardous emissions by CO on the annual production for various values of average stem volume

Заключение

Известно, что радиоактивно загрязненные леса представляют серьезную экологическую опасность, так как возможен перенос радионуклидов на незараженные территории вследствие возникновения пожаров по природным и техногенным причинам. В результате проведенных исследований установлено, что заготовка и использование древесины из этих регионов на основе мо-

бильных комплексов машин и оборудования, работающих непосредственно на лесосеке, с приводом от двигателей внутреннего сгорания или самоходных машин является весьма актуальной задачей. Возникающая при этом необходимость минимизировать продолжительность работы машин и оборудования может быть достигнута за счет согласованной работы лесосечных машин с мобильным оборудованием по объему перерабатываемой древесины на каждой операции. Согласование объемов выработки машин и оборудования возможно за счет создания и поддержания (потребления, пополнения и выработки) на определенном для конкретных условий уровне оперативных запасов. Для этого с учетом разработанных ранее моделей, предусматривающих увеличение численности и/или сменности работы машин и оборудования на отстающих операциях, определяются режимы функционирования комплекта машин в целом. Данный подход к решению проблемы позволит: обеспечить объем выработки комплекта машин и оборудования, равный объему выработки ведущего оборудования комплекта; сократить необходимое количество дней для заготовки заданного объема пиломатериалов (как показывают расчеты, от 6 до 17 дн. при объеме выполненных работ 4 тыс. м^3, от 15 до 52 дн. – при 12 тыс. м^3); сократить количество загрязняющих веществ, которые двигатели самоходных машин выбрасывают в атмосферу в количестве от 15 до 1015 кг в зависимости от объема выполненных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Вместо бревен везут из леса доски // Лесн. газета. 1992. 15 окт. С. 2. [Instead of Logs, Boards are Brought from the Forest. *Lesnaya gazeta*, 1992, p. 2].

2. *Гомонай М.В., Никишов В.Д.* Передвижная система машин для комплексной переработки древесины // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2006. № 6. С. 87–92. [Gomonay M.V., Nikishov V.D. The Mobile System of the Machines for Complex Conversion Wood. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2006, no. 6, pp. 87–92].

3. *Душа-Гудым С.И.* Лесные пожары на загрязненных радионуклидами территориях // Охрана и защита леса, механизация, использование леса: обзор. информ. 1993. Т. 9. С. 1–50. [Dusha-Gudym S.I. Forest Fires on Radionuclide Contaminated Territories. *Guarding and Protection of Forest, Mechanization, Using of Forest: Obzornaya informatsiya*, 1993, vol. 9, pp. 1–50].

4. *Заикин А.Н.* Моделирование режимов работы лесосечных машин // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 1. С. 71–77. [Zaikin A.N. Simulation of Logging Machines Operation Modes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 1, pp. 71–77]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/27d/27d123e35cbb74f7f17b1974f6f195da.pdf

5. *Заикин А.Н.* Моделирование процессов лесозаготовок как основа снижения негативного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2010. № 2. С. 72–77. [Zaikin A.N. Simulation of Logging Processes as Basis of Lowering Negative Impact of Forest Machines on Forest Ecosystems. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 2, pp. 72–77]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/244/244de442e67d07dd7665ef8af5c5d311.pdf

6. *Заикин А.Н., Меркелов В.М.* Технология и оборудование заготовки и переработки древесины, загрязненной радионуклидами: моногр. Брянск: БГИТА, 2012. 266 с. [Zaikin A.N., Merkelov V.M. *Technology and Equipment for Harvesting and Processing of Timber, Contaminated with Radionuclides*. Bryansk, BGITA Publ., 2012. 266 p.].

7. *Заикин А.Н., Меркелов В.М.* Технология использования древесины с территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. докл. IV Междунар. науч. экол. конф., Краснодар, 24–25 марта 2015 г. Краснодар: Кубан. госагроун-т, 2015. Ч. II. С. 573–575. [Zaikin A.N., Merkelov V.M. Technology Use Wood from the Ter-

ritories Affected by Radioactive Contamination. *Issues of Waste Reclamation of Household, Industrial and Agricultural Production: Collection of Reports of the 4th International Scientific Environmental Conference, Krasnodar, March 24–25, 2015*. Krasnodar, KubSAU Publ., 2015, part 2, pp. 573–575].

8. *Климов О.Г., Дороничева Е.Г.* О концентрации в воздухе загрязняющих веществ, выбрасываемых лесопромышленной техникой // Лесн. хоз-во. 2003. № 4. С. 48. [Klimov O.G., Doronicheva E.G. On the Air Concentration of Pollutants Emitted Forestry Equipment. *Lesnoye khozyaystvo*, 2003, no. 4, p. 48].

9. *Климушев Н.К.* Автоматизация выбора систем машин для сортиментной заготовки древесины // Рациональное использование лесных ресурсов: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения В.Е. Печенкина, 24–25 янв. 2001 г. / [Ю.А. Ширнин (отв. ред.)]. Йошкар Ола: МарГТУ, 2001. С. 54–55. [Klimushev N.K. Automation of Selection of Machine Systems for CTL Logging of Wood. *Proceedings of International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of V.E. Pechenkin*. Yoshkar-Ola, MarSTU Publ., 2001, pp. 54–55].

10. *Климушев Н.К.* Методы и модели управления запасами лесоматериалов: моногр. Ухта: Изд-во УГТУ, 2001. 76 с. [Klimushev N.K. *Methods and Models of Timber Inventory Management*: Monograph. Ukhta, USTU Publ., 2001. 76 p.].

11. *Климушев Н.К.* Методы расчета запасов лесоматериалов // Региональное использование лесных ресурсов: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения В.Е. Печенкина, 24–25 янв. 2001 г. / [Ю.А. Ширнин (отв. ред.)]. Йошкар Ола: МарГТУ, 2001. С. 190–192. [Klimushev N.K. Computation Methods of Timber Stocks. *Efficient Use of Forest Resources: Proceedings of International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of V.E. Pechenkin*. Yoshkar-Ola, MarSTU Publ., 2001, pp. 190–192].

12. *Климушев Н.К.* Оптимизация систем машин для сортиментной заготовки в условиях Республики Коми // Сб. науч. тр. УГТУ. Вып. 5. Ухта, 2002. С. 85–88. [Klimushev N.K. Optimization of Machine Systems for Assortment Logging in the Komi Republic. *Collection of Academic Papers of USTU*. Ukhta, 2002, iss. 5, pp. 85–88].

13. *Котов А.С.* Радиационная ситуация в лесах Брянской области // Безопасность окружающей среды. 2008. № 2. С. 68–72. [Kotov A.S. Radiation Situation in the Forests of Bryansk Region. *Bezopasnost' okruzhayushchey sredy*, 2008, no. 2, pp. 68–72].

14. *Мащенко Т.В.* Использование древесины в строительном комплексе в зависимости от условий произрастания на радиоактивно-загрязненных территориях. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 1999. 159 с. [Mashchenko T.V. *The Use of Wood in the Construction Sector Depending on the Conditions of Growth in Radioactive Contaminated Areas*: Cand. Agric. Sci. Diss. Bryansk, 1999. 159 p.].

15. *Меркелов В.М., Макеева А.А.* Мобильные установки для переработки древесины, загрязненной радионуклидами // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Кострома: КГТУ, 2013. С. 132–134. [Merkelov V.M., Makeyeva A.A. Mobile Units for the Wood Processing, Contaminated with Radionuclides. *Current Issues and Prospects of the Timber Industry Development: Proceedings of the 2nd International Scientific and Engineering Conference*. Kostroma, KGTU Publ., 2013, pp. 132–134].

16. Обоснование ресурсосберегающих технологий лесопромышленного комплекса, адаптированных к природным условиям Пермского края, с минимизацией затрат на лесовосстановление: отчет о НИР (промежуточный) / МарГТУ; рук. Якимович С.Б. Гос. контракт № 01.29/07 с М-вом пром-сти и природ. ресурсов Пермского края. Йошкар-Ола, 2007. 500 с. [Justification of Resource-Saving Technologies of the Timber Industry, Adapted to the Natural Conditions of Perm Krai, with Cost Minimization for Reforestation: Interim Research Report. Directed by Yakimovich S.B. *State Contract with the Ministry of Industry and Natural Resources of the Perm Krai No. 01.29/07*. Yoshkar-Ola, 2007. 500 p.].

17. *Торопов А.С., Заикин А.Н., Меркелов В.М.* Особенности переработки древесины, загрязненной радионуклидами // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 1. С. 119–128. [Toropov A.S., Zaikin A.N., Merkulov V.M. Peculiarities of Processing of Wood Polluted

by Radioactive Nuclides. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 1, pp. 119–128]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.119; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/fc9/toropov.pdf

18. *Торопов А.С., Меркелов В.М., Краснова В.Ф.* Принципы моделирования раскроя древесины, загрязненной радионуклидами // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 5. С. 7–11. [Toropov A.S., Merkelov V.M., Krasnova V.F. Modeling Principles for Cutting the Wood, Polluted by the Radionuclides. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2011, no. 5, pp. 7–11].

19. *Цыгарова М.В., Суетина Р.И.* Нормативно-справочные материалы к технико-экономическим расчетам: метод. указания. Ухта: УГТУ, 2008. 51 с. [Tsygarova M.V. *Reference Materials for Technical and Economic Assessment*. Ukhta, USTU Publ., 2008. 51 p.].

20. *Якимович С.Б.* Постановка задачи оптимального управления синтеза для совокупности технологических процессов лесозаготовок // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2005. № 6. С. 86–89. [Yakimovich C.B. Statement of the Problem of Optimum and Governing a Syntheses for Aggregates of Technological Processes of Logging. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2005, no. 6, pp. 86–89].

21. *Якимович С.Б., Володина И.Ю.* Формирование комплектов машин лесозаготовок на основе распределения состояний предмета труда по маршруту технологического процесса // Лесн. вестн. 2001. № 2. С. 128–136. [Yakimovich S.B., Volodin I.Yu. Formation of Sets of Logging Machine Based on the State Distribution of the Subject of Labor along the Technological Process Route. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2001, no. 2, pp. 128–136].

22. *Якимович С.Б., Ефимов Ю.В.* Возможности снижения удельной энергоемкости при производстве пиломатериалов на лесосеке // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. Вып. 22. С. 227–228. [Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. Possibilities for reducing the energy density in the production of sawn timber in the cutting area. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2009, iss. 22, pp. 227–228].

23. Calabrese M., Quarantotto M., Cantaluppi C., Fasson A., Bogoni P. Quality Characteristics and Radioactive Contamination of Wood Pellet Imported in Italy. *Open Journal of Applied Sciences*, 2015, vol. 5, no. 5, pp. 183–190. DOI: 10.4236/ojapps.2015.55018

24. Hus M., Košutić K., Lulić S. Radioactive Contamination of Wood and Its Products. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2001, vol. 55, iss. 2, pp. 179–186. DOI: 10.1016/S0265-931X(00)00191-0

25. McCabe L.C. Wood-Burning Incinerators ATMOSPHERIC POLLUTION. *Industrial & Engineering Chemistry*, 1952, vol. 44(4), pp. 111A–114A. DOI: 10.1021/ie50508a008

26. Panfilov A.V., Uspenskaya E.Ju. Rehabilitation of Radioactive Contaminated Forests. *Radiation Legacy of the 20th Century: Environmental Restoration*. Vienna, IAEA, 2002, pp. 329–336.

27. Smith C.B., Amiro B.D., Lewis G., MacAulay Ed., Stauber D. Environmental Assessment of Radiological Consequences for Forestry in Contaminated Areas of the Republic of Belarus. Final Report: Fire Management Mission. Vol. 5. *Report No. E41. Belarus – Forestry Sector Development Project*. Denmark, AECL, 1993. 23 p. Available at: http://documents.worldbank.org/curated/en/571081468206692053/Final-report-fire-management-mission (accessed 06.02.19).

28. Szekely J.G., Amiro B.D., Rasmussen L.R., Ford B. Environmental Assessment of Radiological Consequences for Forestry in Contaminated Areas of the Republic of Belarus. Report. Vol. 1. *Report No. E41. Belarus – Forestry Sector Development Project*. Denmark, AECL, 1994. 57 p. Available at: http://documents.worldbank.org/curated/en/955151468205155942/Report (accessed 06.02.19).

29. Zaikin A.N., Mukovnina M.V., Nikitin V.V. Scherbakov E.N. Reducing Industrial Impact on Forest Ecosystems by Improving the Organization of Harvesting Operations. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 2018, vol. 11, no. 60, pp. 69–76.

OPERATING EFFICIENCY IMPROVEMENT OF MACHINERY AND EQUIPMENT WHILE LOGGING IN FORESTS WITH RADIOACTIVE CONTAMINATION

***A.N. Zaikin*[1]**, *Doctor of.Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: 0000-0002-1831-6893*
***A.S. Toropov*[2]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ORCID: 0000-0003-4414-2505*
***B.M. Merkelov*[1]**, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof*
***V.V. Sivakov*[1]**, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: R-7264-2019, ORCID: 0000-0002-0175-9030*
[1]Bryansk State Engineering Technological University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: Zaikin.Anatolij@yandex.ru, merkelov55@mail.ru, svv000@yandex.ru
[2]Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russian Federation; e-mail: ToropovAS@mail.ru

Due to technogenic accidents at nuclear power plants, including the Chernobyl Nuclear Power Plant, part of the forests of the Russian Federation was exposed to radioactive contamination. As a result, it established the conditions under which multipurpose use of forests and forest resources is impossible over the long run. These forests pose a serious environmental hazard due to the possibility of transfer of radioactive contamination to clean areas, because of the occurrence of antropogenic and natural fires. Logging and use of wood from such regions is an urgent issue, which provides environmental problem solving by reducing the possibility of recontamination with radionuclides of surroundings. One of the solutions within the given senario is our proposed technology for the integrated processing of wood contaminated with radionuclides based on internally powered mobile packages of machinery and equipment operating directly on the cutting area or self-propelled vehicles in order to produce clear timber. Herewith, the arisen need to minimize the operating time of machines and equipment is capable of being achieved through the coordinated functioning of cutting machines with mobile equipment in terms of the volume of processed wood at each stage. Coordination of the production volumes of machines and equipment is possible through the creation and maintenance (consumption, replenishment and production) at a specific level of day-on-hand stocks for particular conditions. The operating modes of a set of machines as a whole are determined taking into account previously developed models, providing for an increase in the number and/or shift of machines and equipment functioning in logging operations. This problem solving approach will allow: to ensure the volume of production of a set of machines and equipment equal to the production volume of the leading equipment of the set; reduce the number of days required to harvest a given amount of wood; reduce the amount of pollutants (for example, carbon monoxide) that self-propelled engines emit into the atmosphere.

For citation: Zaikin A.N., Toropov A.S., Merkelov B.M., Sivakov V.V. Operating Efficiency Improvement of Machinery and Equipment while Logging in Forests with Radioactive Contamination. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 1, pp. 113–127. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-113-127

Keywords: radionuclides, contamination, longitudinal cutting, recycling, cutting area, set of machines, stem, sawn timber.

Поступила 06.02.19 / Received on February 6, 2019