

УДК 630\*658.511, 630\*658.512, 519.85,  
630\*656.073, 630\*37

UDC 630\*658.511, 630\*658.512, 519.85,  
630\*656.073, 630\*37

**АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ  
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЛЕСНОЙ  
БИОЭНЕРГЕТИКЕ: ТЕХНИКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ <sup>1</sup>**

**APPROBATION OF THE DECISION-SUPPORT  
SYSTEM FOR FOREST ENERGY:  
TECHNOLOGICAL BACKGROUND**

Герасимов Юрий Юрьевич  
д.т.н., профессор  
*Научно-исследовательский институт леса  
Финляндии, Йёнсуу, Финляндия*

Gerasimov Yury Yurievich  
Dr.Sci.Tech., professor  
*Finnish Forest Research Institute, Joensuu, Finland*

Давыдков Геннадий Анатольевич  
к.т.н., доцент

Davydkov Gennady Anatolievich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Катаров Василий Кузьмич  
к.т.н., доцент

Katarov Vasily Kuz'mich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Кильпелайнен Сергей Адольфович  
к.т.н., доцент

Kilpelyaynen Sergey Adolfovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Перский Сергей Николаевич  
к.т.н., доцент

Persky Sergey Nikolayevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Рожин Данила Владимирович  
аспирант

Rozhin Danila Vladimirovich  
postgraduate student

Селиверстов Александр Анатольевич  
к.т.н., доцент

Seliverstov Alexandr Anatolievich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Соколов Антон Павлович  
к.т.н., доцент

Sokolov Anton Pavlovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Суханов Юрий Владимирович  
ст. преподаватель

Sukhanov Yury Vladimirovich  
senior lecturer

Сюнёв Владимир Сергеевич  
д.т.н., профессор  
*Петрозаводский государственный университет,  
Петрозаводск, Россия*

Syunev Vladimir Sergeevich  
Dr.Sci.Tech., professor  
*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia*

В статье приводятся результаты апробации системы поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы в биоэнергетике

The results of testing of the decision-support system for efficient use of wood-based biomass are described in this article

Ключевые слова: ДРЕВЕСНАЯ БИОМАССА, ОТХОДЫ ЛЕСОЗАГОТОВОК, ТЕХНОЛОГИЯ

Keywords: WOOD-BASED BIOMASS, WOOD-TO-ENERGY, WOOD HARVESTING, SIMULATION

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», тема НИР «Система поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике» и в рамках проектов «Технико-экономическая и эколого-социальная оценка перспективности заготовки древесной биомассы для нужд местной энергетики с использованием логистического подхода и ГИС-технологий» и «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике», финансируемого Европейским союзом по программе приграничного сотрудничества KareliaENPI в соответствии с Программой стратегического развития Петрозаводского государственного университета на 2012-2016 г.

ЛЕСОЗАГОТОВОК, ИМИТАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Более полное использование ресурсов леса является одной из основных задач, стоящих перед лесным комплексом в современных условиях. Одним из направлений решения этой задачи является создание биоэнергетики, основанной на применении древесины в качестве топлива [1-4]. Для поддержки развития лесной биоэнергетики Петрозаводский государственный университет в сотрудничестве с НИИ леса Финляндии уже несколько лет ведет работы по созданию компьютерной системы поддержки принятия оптимальных решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике. Подробное теоретическое описание этой системы, заложенных в ее основу методик, применяемых подходах и средствах содержится в работах [5-9]. В данной статье будут описаны результаты апробации разработанной системы на примере одного лесозаготовительного предприятия, имеющего лесосырьевую базу в Республике Карелия. Для проведения исследования, непосредственно на предприятии была получена полная информация об организации работ, имеющихся производственных ресурсах, характеристиках лесосырьевой базы на планируемый период, потребителях продукции, дорожной сети и т. д.

На первом этапе работы были определены доступные объемы сырья для производства древесного топлива. Для этого использовались специально разработанные методика и программное обеспечение, работающее на базе ГИС MapInfo. В систему была введена информация о 188 участках, которые были запланированы в рубку в первом полугодии 2012 года. Суммарный объем древесины оценивался в 170 000 м<sup>3</sup>. При этом, на всех участках использовались выборочные рубки.

Программное обеспечение позволяет определить доступный к заготовке объем лесосечных отходов с учетом необходимости оставления их части на делянке по эколого-лесоводственным и технологическим причинам. Доля оставляемых лесосечных отходов, в числе прочего, сильно зависит от сезона рубки. Таким образом, в начале был определен сезон рубки для каждой делянки. Почвенно-грунтовые условия в лесах рассматриваемого предприятия позволяют работать на любой делянке в любое время года. Поэтому сезон, в котором будет вестись заготовка, на каждой из них зависит только от того, как будут распределены делянки по лесозаготовительным комплексам и от того, в каком порядке каждый комплекс будет их обходить, т. е. от заготовительного плана.

Для заготовки древесины рассматриваемое предприятие использует 6 колесных лесозаготовительных комплексов "харвестер - форвардер", использующих для повышения проходимости дополнительные гусеницы тандемных тележек. Комплексы работают круглые сутки в 2 смены, 7 дней в неделю. Достигнутая производительность комплексов, оцененная по данным предыдущего года, была разной и колебалась от 129 до 232 м<sup>3</sup> в сутки. Характеристики комплексов, включая их достигнутую производительность, дорожная сеть, средние скорости движения по разным дорогам и отдельным участкам, а также местоположение всех делянок с привязкой к дорожной сети были внесены в систему.

В разработанной системе реализован блок оптимизации лесозаготовительного плана, который позволяет оптимальным образом распределить все имеющиеся делянки по заготовительным комплексам с учетом их производительности и качественных характеристик делянок так, чтобы минимизировать транспортные издержки на перемещение комплексов между делянками [8]. В результате работы блока оптимизации лесозаготовительного плана был получен план работы комплексов на

рассматриваемый период, из которого в свою очередь определялся сезон заготовки для каждой конкретной делянки.

Далее в ГИС MapInfo была введена повыдельная схема лесосырьевой базы предприятия вместе с данными лесоустройства, а также информация по всем рассматриваемым делянкам, включая их абрис, характеристики древостоя и сезон рубки. Для этого использовались данные отвода, технологические карты, а также ведомости материально-денежной оценки (рисунок 1).

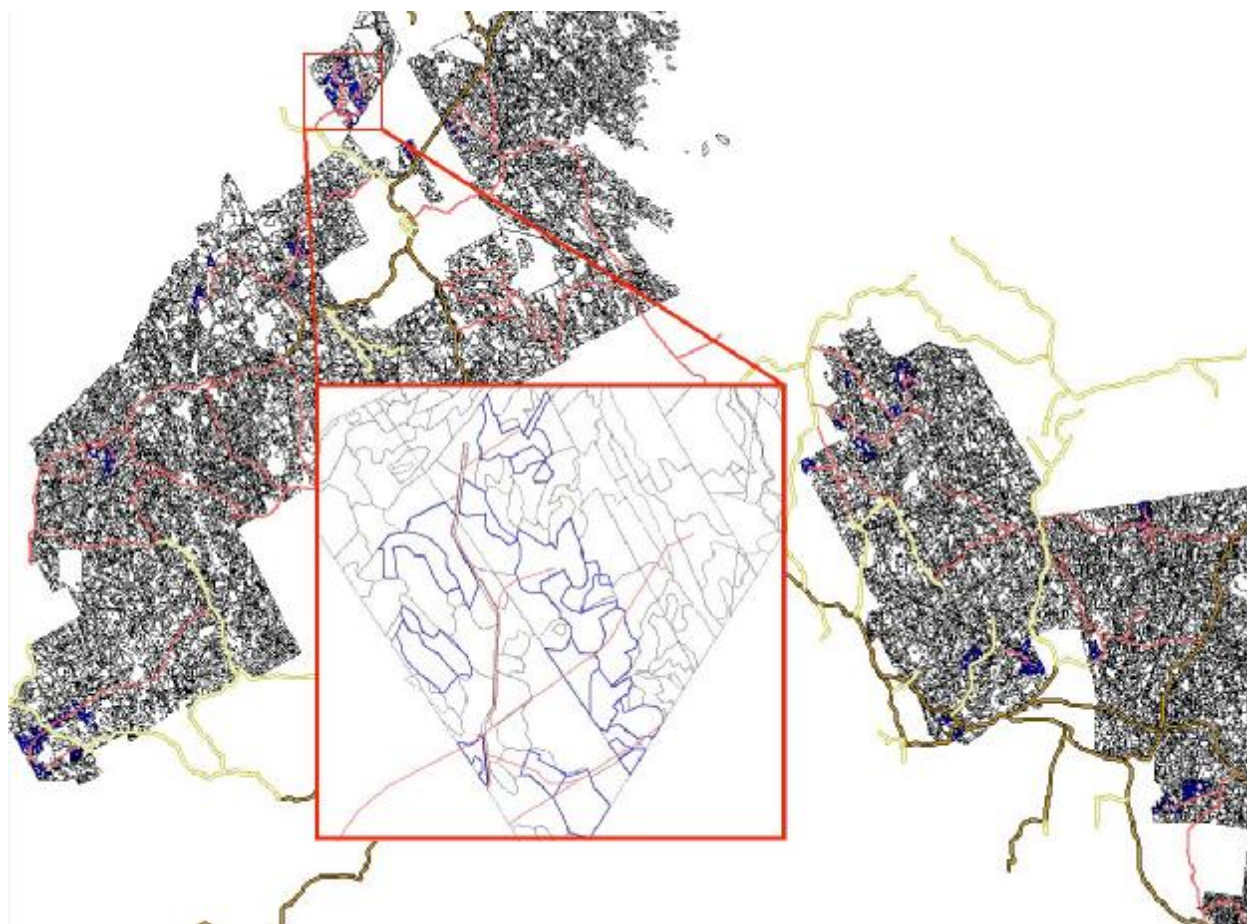


Рисунок 1 - Лесосырьевая база и делянки

По этим данным, с учетом использования тандемных тележек, системой был определен доступный к заготовке объем лесосечных отходов для каждой делянки (рисунок 2). При этом, на рис. 2, чем темнее цвет, в который окрашена делянка, тем больше на ней доступный объем

лесосечных отходов. Круговая диаграмма показывает долю доступного объема отходов в общем объеме. Как можно видеть, она существенно отличается от делянки к делянке. Это связано с различиями в лесорастительных условиях, характеристиках древостоя, сезоне рубки и т. д. Таким образом можно определить те делянки, на которых заготовка топливной древесины будет более эффективной, а также и те, которые не подходят для данного вида работ.

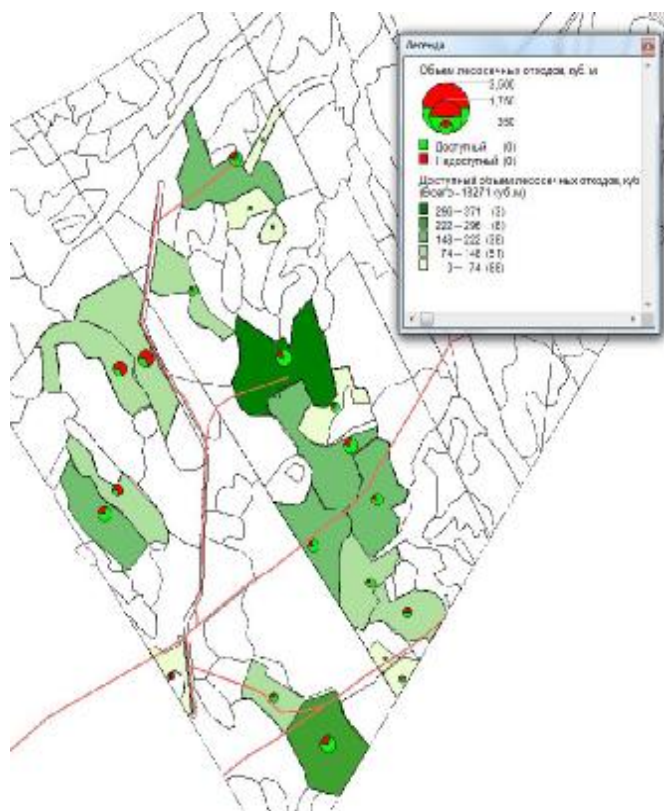


Рисунок 2 - Оценка доступного к заготовке объема лесосечных отходов на делянках

На следующем этапе для каждой из делянок системой были определены потенциальные объемы каждого производимого вида деловых сортиментов, а также дровяной древесины. При этом использовались данные предприятия по распределению объемов по видам продукции за предыдущий год.

Далее в систему были введены потребители или пункты доставки, причем их число в случае рассматриваемого предприятия оказалось достаточно большим - 13. Среди них присутствуют как конечные потребители, так и промежуточные перевалочные терминалы. Каждый потребитель принимает определенные типы сортиментов в соответствии с планом поставок. Объемы каждого вида продукции, принимаемые потребителями в каждом месяце рассматриваемого периода, были определены по фактическим данным предприятия для предыдущего года. При этом 8 пунктов в настоящее время потребляют дровяную древесину для нужд энергетики, а 5 из них потребляют только дрова, которых, по данным предприятия, не хватает, чтобы обеспечить имеющуюся потребность.

Для транспортировки древесины предприятие использует 4 автомобиля-сортиментовоза. Два большегрузных, перевозящих в среднем по 38 м<sup>3</sup>, и один меньший автомобиль, перевозящий 28 м<sup>3</sup>. Автомобили базируются в двух гаражах, находящихся в разных городах, по два в каждом. Местоположение гаражей и характеристики автомобилей были также введены в систему. Вывозка древесины ведется круглосуточно 7 дней в неделю (в 2 смены) кроме периода закрытия дорог (обычно с 15 апреля по 15 мая).

После ввода в систему всей информации был получен граф дорожной сети с привязанными к нему делянками, потребителями и гаражами, необходимый для дальнейшей работы системы (рисунок 3).

Основной целью исследования было определить вариант технологии производства древесного топлива, наиболее подходящий для условий, в которых работает рассматриваемое лесозаготовительное предприятие. Принимая во внимание имеющую место нехватку дровяной древесины, было признано целесообразным вовлечь в производство топлива также и лесосечные отходы. Для достижения поставленной цели, были выбраны

четыре достаточно распространенных варианта технологий заготовки топливной древесины и для каждого из них осуществлено имитационное моделирование с помощью компьютерной модели [10-11]. Информация по этим четырем технологиям, а также по используемому оборудованию содержится в таблице 1.

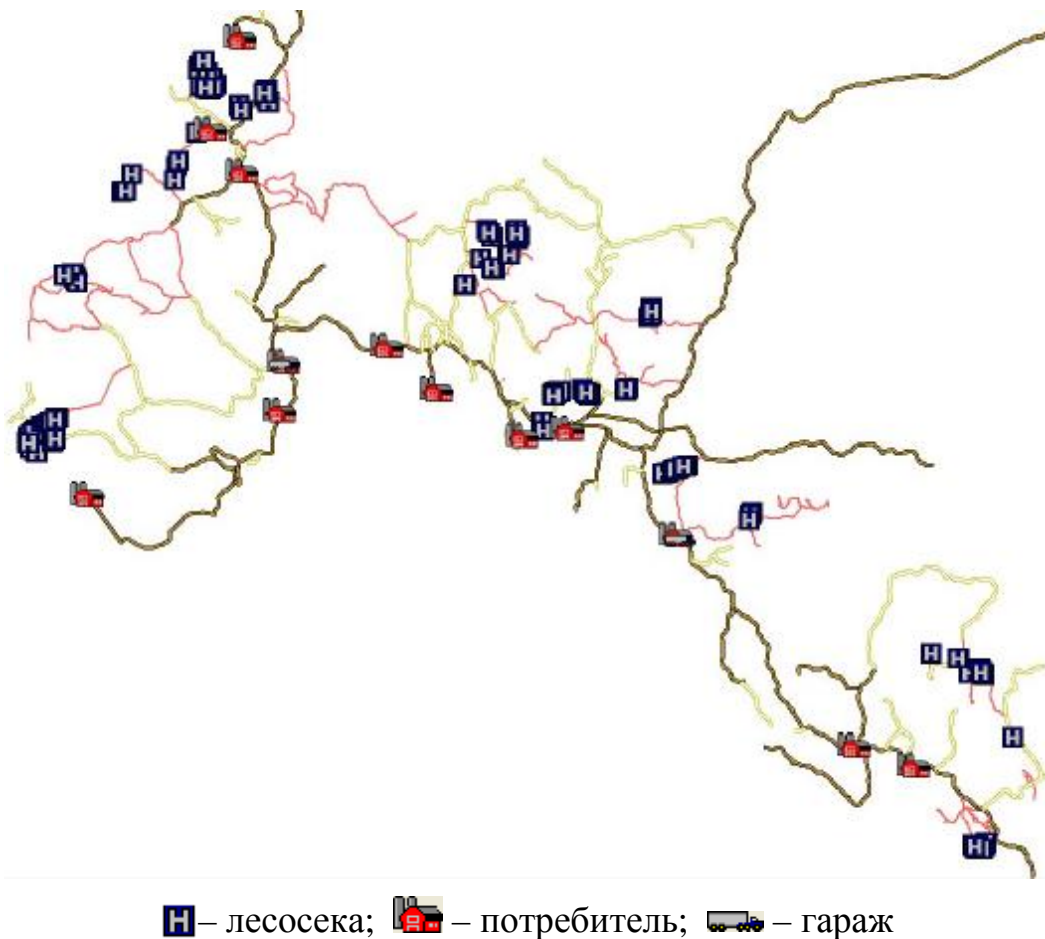


Рисунок 3 - Граф

Таблица 1 - Рассматриваемые технологии

Технология	Комплекс машин	Машина	Количество	Производительность
1. Переработка отходов	№1	Передвижная рубительная машина	1	85 насыпн. м <sup>3</sup> /ч
		Автомобиль-щеповоз	2	90 насыпн. м <sup>3</sup> /рейс
2. Переработка отходов и дров	№1	Передвижная рубительная машина	1	85 насыпн. м <sup>3</sup> /ч
		Автомобиль-щеповоз	2	90 насыпн. м <sup>3</sup> /рейс
	№2	Передвижная рубительная машина	1	85 насыпн. м <sup>3</sup> /ч
		Автомобиль-щеповоз	2	90 насыпн. м <sup>3</sup> /рейс
3. Вывозка отходов	№1	Автомобиль для перевозки лесосечных отходов	2	90 насыпн. м <sup>3</sup> /рейс
4. Пакетирование	№1	Пакетировщик лесосечных отходов	1	60 насыпн. м <sup>3</sup> /ч

Технология № 1 базируется на применении одного комплекса машин, состоящего из передвижной рубительной машины (ПРМ) производительностью 85 насыпных м<sup>3</sup> щепы в час и двух автомобилей-щеповозов вместимостью 90 насыпных м<sup>3</sup> щепы. Количество задействованных на каждой делянке автомобилей-щеповозов определяется системой в зависимости от объемов сырья и расстояния транспортировки. Для этого решается оптимизационная задача.



Для внедрения этой технологии следует перевести все 8 котельных, потребляющих в настоящее время дрова, на топливную щепу. При этом предлагается в трех крупных поселках оснастить такие котельные стационарными рубительными машинами (СРМ) и, соответственно, доставлять сюда дровяную древесину. В трех малых поселках установить модульные котельные и доставлять сюда готовую щепу. А в два города поставлять и дрова и щепу. Для моделирования работы по этой технологии, структура потребления в созданной модели была соответствующим образом изменена.

Технология № 2 использует два комплекса идентичных комплексу в технологии №1. Эта технология отличается тем, что наряду с лесосечными отходами, также и вся дровяная древесина перерабатывается ПРМ в топливную щепу прямо на делянках. Таким образом, в данном случае всем 8 потребителям доставляется из леса только готовая щепа.

Технология №3 заключается в вывозке не щепы, а насыпных лесосечных отходов для дальнейшей переработки непосредственно у потребителей. Все потребители, в этом случае, должны иметь СРМ. Используется один комплекс из двух автомобилей для перевозки лесосечных отходов вместимостью 90 насыпных м<sup>3</sup> отходов.

Технология №4 использует самоходный пакетировщик лесосечных отходов (рисунок 4), производящий пакеты, которые в дальнейшем транспортируются потребителям обычными автомобилями-сортиментовозами.



Рисунок 4 – Пакетирующая машина

Средняя производительность пакетировщика 60 насыпных м<sup>3</sup> отходов в час. В данном случае все потребители также должны иметь СРМ для переработки лесосечных отходов.

Комплексы начинают работу на делянке только после того, как на ней закончены все работы по заготовке и вывозке деловой древесины. Режим работы на заготовке и транспортировке топливной древесины - в одну смену по 12 часов. Вывозка пакетов отходов ведется круглосуточно. В период закрытия дорог комплексы по заготовке топливной древесины не работают.

Надо сказать, что во всех перечисленных технологиях также задействованы форвардеры. Их работа системой не имитируется т. к. они в целом не оказывают влияния на общие показатели. В первых трех технологиях форвардеры собирают и транспортируют лесосечные отходы на погрузочную площадку. Это выполняется либо одновременно с заготовкой деловой древесины, либо сразу по ее завершении во время продолжающейся вывозки. Таким образом, считаем, что в момент завершения вывозки все лесосечные отходы уже оттрелованы к дороге. В случае технологии, основанной на использовании пакетировщика, производительность форвардера, трелюющего пакеты к дороге, выше

производительности самого пакетировщика, поэтому форвардер не оказывает существенного влияния на производительность и общий ход процесса.

Общие результаты моделирования заготовки и вывозки деловой и дровяной древесины приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты моделирования заготовки и вывозки деловой и дровяной древесины

Технология	Период	Заготовленный объем деловой и дровяной древесины, м <sup>3</sup>	Остаток деловой и дровяной древесины в лесу, м <sup>3</sup>	Общее время работы автомобилей-сортиментовозов, ч	Общее время простоя автомобилей-сортиментовозов, ч	Перевезенный объем деловой и дровяной древесины, м <sup>3</sup>	Коэффициент использования рабочего времени на вывозке
1. Переработка отходов	1	85684.8	858	6906.7	2157.3	82288	0.762
	2	23323	24221	0	2640	0	0
	3	36149	11239	3651.3	484.7	49410	0.883
	<b>Итого</b>	<b>145156.8</b>	<b>11239</b>	<b>10558</b>	<b>2642</b>	<b>131698</b>	<b>0.800</b>
2. Переработка отходов и дров	1	85684.8	895	5966.3	3097.7	70284	0.658
	2	23323	24261	0	2640	0	0
	3	36149	7188	3550.9	585.1	45774	0.859
	<b>Итого</b>	<b>145156.8</b>	<b>7188</b>	<b>9517.2</b>	<b>3682.8</b>	<b>116058</b>	<b>0.721</b>
3. Вывозка отходов	1	85684.8	1440	6891.2	2172.8	82204	0.76
	2	23323	24482	0	2640	0	0
	3	36149	11276	3665.8	470.2	49626	0.886
	<b>Итого</b>	<b>145156.8</b>	<b>11276</b>	<b>10557</b>	<b>2643</b>	<b>131830</b>	<b>0.800</b>
4. Пакетирование	1	85684.8	3113	7685.8	1378.2	94362	0.848
	2	23323	26485	0	2640	0	0
	3	36149	16336	3709.5	426.5	51902	0.897
	<b>Итого</b>	<b>145156.8</b>	<b>16336</b>	<b>11395.3</b>	<b>1804.7</b>	<b>146264</b>	<b>0.863</b>

Рассматриваемое полугодие разделено на три периода:

- Период 1 - с начала года до закрытия дорог (с 3.01 по 14.04).
- Период 2 - период закрытия дорог (с 15.04 по 14.05).

– Период 3 - от открытия дорог до конца полугодия (с 15.05 по 30.06).

Как можно видеть из таблицы 2, в рассматриваемом периоде было заготовлено 145 157 м<sup>3</sup> деловой и дровяной древесины и эта величина не менялась от технологии к технологии, т. к. заготовительный план и характеристики комплексов на заготовке этой древесины не изменялись. Данные по остаткам деловой и дровяной древесины на погрузочных площадках в лесу отличаются для разных технологий. Их динамика показана на рисунке 5.

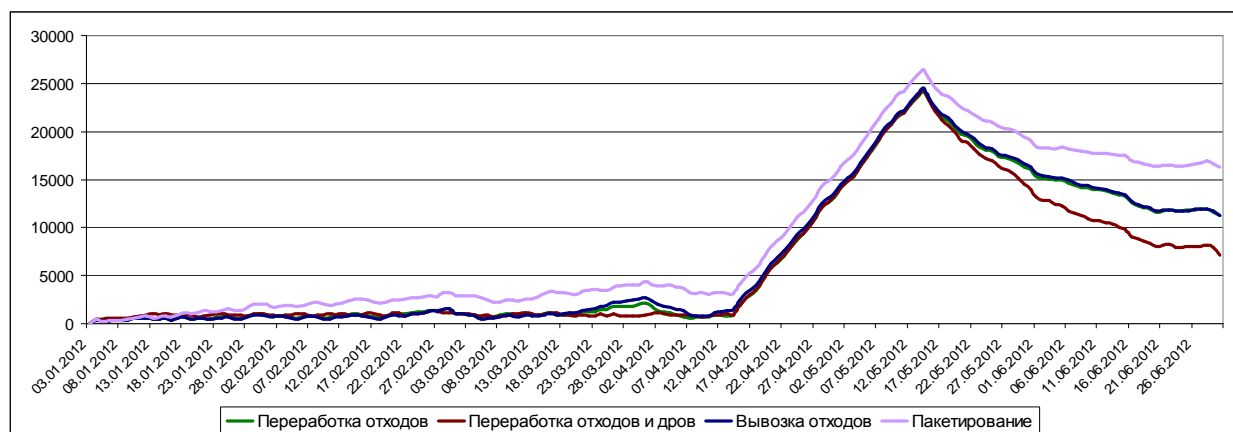


Рисунок 5 - Изменение объемов деловой и дровяной древесины, а также пакетов лесосечных отходов на погрузочных площадках в лесу, м<sup>3</sup>

Из графика (рисунок 5) видно, что кривые изменения объемов деловой и дровяной древесины для технологий №1 и №3 практически совпадают. В этих двух случаях идущая параллельно заготовка топливной древесины никак не отражается на заготовке и вывозке деловой и дровяной древесины, т. к. работа ведется только с лесосечными отходами и используются независимые производственные ресурсы.

При использовании технологии №2 остатки в целом меньше и динамика их сокращения после максимума, связанного с накоплением в

период закрытия дорог, более интенсивна. Это связано с тем, что в этом случае дровяная древесина полностью поступает в распоряжение комплексов по заготовке топливной древесины и вывозится ими из леса в виде щепы. Поэтому объем древесины, которую должны вывезти автомобили-сортиментовозы сокращается.

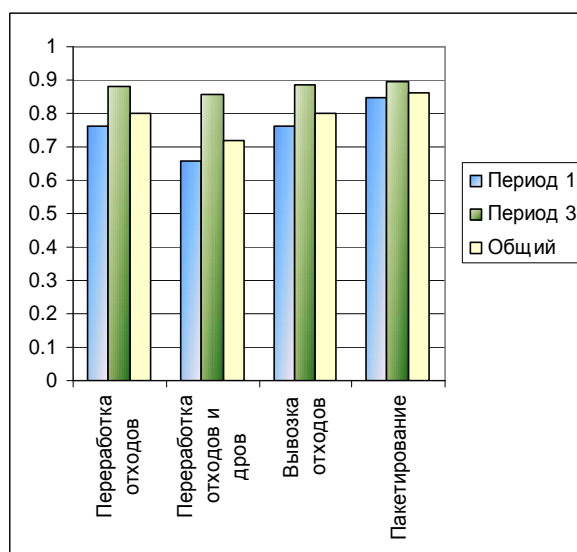
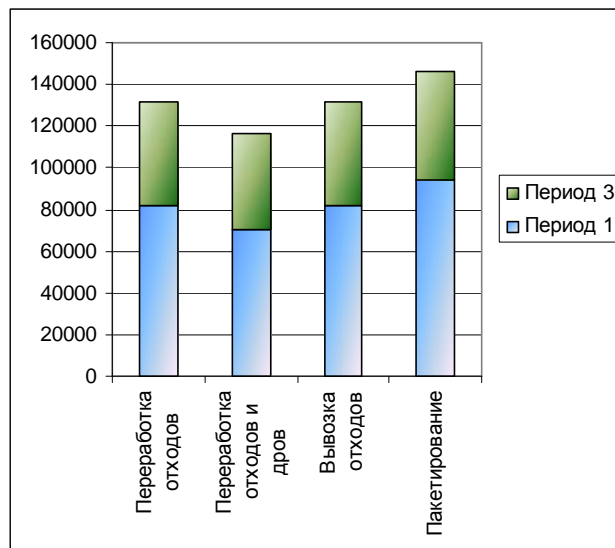
При использовании технологии №4 - ситуация обратная. На автомобили-сортиментовозы кроме деловой и дровяной древесины, накладывается обязанность вывозить также и пакеты лесосечных отходов. Поэтому остатки в этом случае растут. Растут они также и вследствие того, что здесь к объемам деловой и дровяной древесины на погрузочных площадках прибавляются объемы невывезенных пакетов лесосечных отходов.

Остановка вывозки древесины в период закрытия дорог оказывает существенное влияние на рассматриваемые процессы. И, как можно видеть из рисунка 5 и таблицы 2, через полтора месяца после открытия дорог на погрузочных площадках все еще остается избыточный объем древесины, который можно оценить в пределах от 6 до 15 тыс. м<sup>3</sup>, т. е. до 5% годовой заготовки.

Здесь необходимо отметить, что разработанная система, наряду с имитационным моделированием, оптимизирует процессы вывозки, находя наиболее эффективные транспортные планы для каждого автомобиля-сортиментовоза на каждый день [5-7]. Поэтому в реальной практике без использования этой системы, объем остатков может оказаться еще большим.

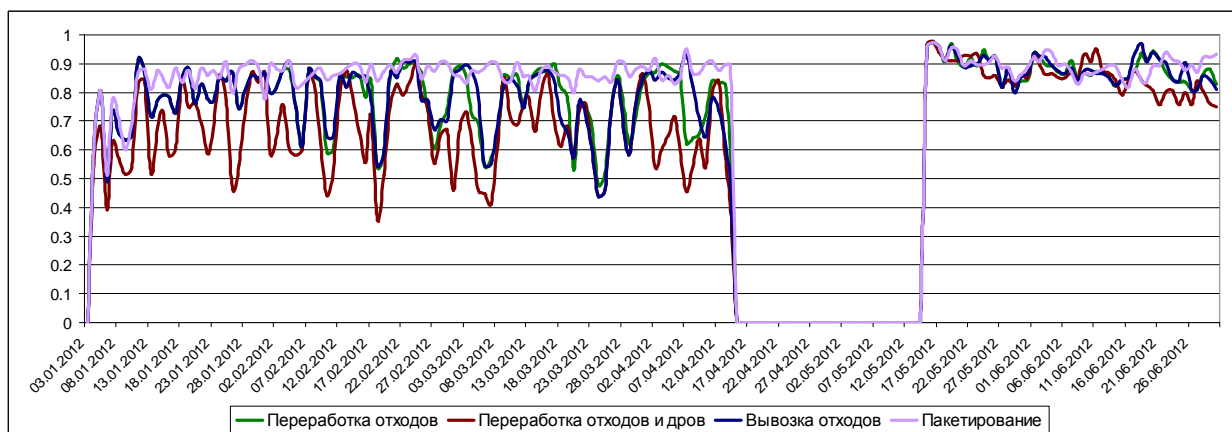
Использование различных технологий на заготовке топливной древесины также оказывает влияние и на эффективность работы автомобилей-сортиментовозов. Это лучше всего можно увидеть по изменению такого показателя, как коэффициент использования рабочего времени на вывозке (таблица 2, рисунок 6).

В целом эффективность работы автомобилей-сортиментовозов выше в третьем периоде (рисунок 6 б). Так же и колебания эффективности в третьем периоде значительно меньше (рисунок 6 в). Это связано с тем, что при наличии значительных объемов древесины одновременно на многих погрузочных площадках, легче найти такой вариант сменного задания, в котором выполняется наибольшее число рейсов и как можно полнее используется рабочее время. Вообще, значение коэффициента использования рабочего времени достаточно высокое и достигает 0,9 для технологии №4 в третьем периоде. Исключением является технология №2, где значение не такое высокое (около 0,7), вследствие меньших объемов перевозок.



а

б



в

Рисунок 6 - Показатели вывозки деловой и дровяной древесины:

а - перевезенный объем, м<sup>3</sup>; б - средний коэффициент использования рабочего времени; в - динамика изменения среднего коэффициента использования рабочего времени

Общие результаты моделирования заготовки и вывозки топливной древесины приведены в таблицах 3 и 4. В таблицах приведены результаты только для периодов 1 и 3, т. к. в период закрытия дорог комплексы по заготовке и транспортировке топливной древесины не работают.

Таблица 3 - Результаты моделирования заготовки топливной древесины

Технология	Период	Отработано дней	Доля рабочих дней	Общее время работы, ч	Коэффициент использования рабочего времени	Переработанный объем, пл. куб. м.	Объем продукции, насыпн. куб. м	Выход энергии, МВт ч
1. Переработка отходов	1	92	0.893	259	0.23	8505	18900	19620
	3	47	1	120.9	0.21	3969	8820	9194
	<b>Итого</b>	<b>139</b>	<b>0.927</b>	<b>379.9</b>	<b>0.223</b>	<b>12474</b>	<b>27720</b>	<b>28814</b>
2. Переработка отходов и дров	1	139	0.675	679.6	0.41	22315.5	49590	51649
	3	83	0.883	368.8	0.37	12109.5	26910	27879
	<b>Итого</b>	<b>222</b>	<b>0.74</b>	<b>1048.4</b>	<b>0.396</b>	<b>34425</b>	<b>76500</b>	<b>79528</b>
3. Вывозка отходов	1					8409.6	26280	19529
	3					3888	12150	9068
	<b>Итого</b>					<b>12297.6</b>	<b>38430</b>	<b>28597</b>
4. Пакетирование	1	82	0.796	230	0.23	9862	13806.8	22811
	3	46	0.979	83	0.15	3895	5453	9471
	<b>Итого</b>	<b>128</b>	<b>0.853</b>	<b>313</b>	<b>0.201</b>	<b>13757</b>	<b>19259.8</b>	<b>32282</b>

Таблица 4 - Результаты моделирования вывозки топливной древесины



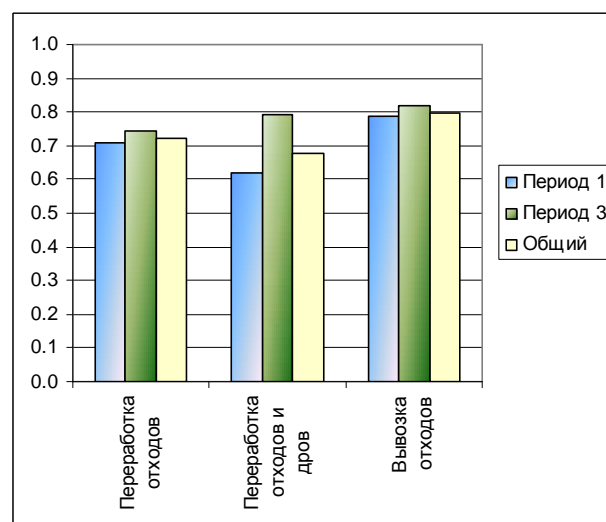
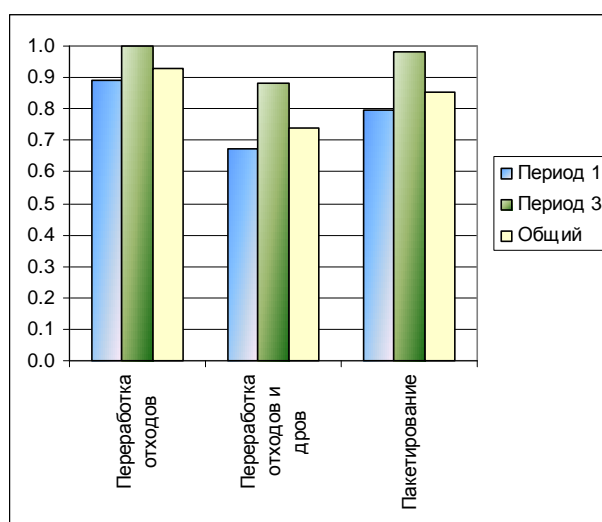
Технология	Период	Отработано дней	Доля рабочих дней	Общее время работы, ч	Коэффициент использования рабочего времени	Число рейсов	Среднее расстояние транспортировки, км	Общий пробег, км
1. Переработка отходов	1	146	0.709	779.7	0.42	210	35.9	27498
	3	70	0.745	335.6	0.38	98	28.7	12792
	<b>Итого</b>	<b>216</b>	<b>0.720</b>	<b>1115.3</b>	<b>0.406</b>	<b>308</b>	<b>33.4</b>	<b>40290</b>
2. Переработка отходов и дров	1	256	0.621	1876.5	0.59	551	34.7	60163
	3	149	0.793	937.1	0.5	299	29.3	31922
	<b>Итого</b>	<b>405</b>	<b>0.675</b>	<b>2813.6</b>	<b>0.560</b>	<b>850</b>	<b>32.7</b>	<b>92085</b>
3. Вывозка отходов	1	162	0.786	1087.1	0.53	292	22.8	35010
	3	77	0.819	469	0.48	135	26.7	15664
	<b>Итого</b>	<b>239</b>	<b>0.797</b>	<b>1556.1</b>	<b>0.513</b>	<b>427</b>	<b>30.8</b>	<b>50674</b>

В таблице 4 приведены результаты только по трем технологиям, т. к. при использовании пакетировщика, вывозка пакетов осуществляется наряду с вывозкой деловой и дровяной древесины (таблица 2).

Первые два показателя в таблицах 3 и 4 "Отработано дней" и "Доля рабочих дней" приводятся, т. к. загрузка комплексов сильно зависит от наличия делянок, на которых уже закончены заготовка и вывозка деловой и дровяной древесины. Соответственно иногда появляются периоды простоя. Распределение рабочих дней и дней в простое для всех машин комплексов на заготовке и вывозке топливной древесины по всем четырем технологиям показано на рисунке 7.



а



б

в

Рисунок 7 - Загрузка комплексов на заготовке и вывозке топливной древесины: а - распределение рабочих дней и дней в простое; б - доля дней в работе на заготовке; в - доля дней в работе на вывозке

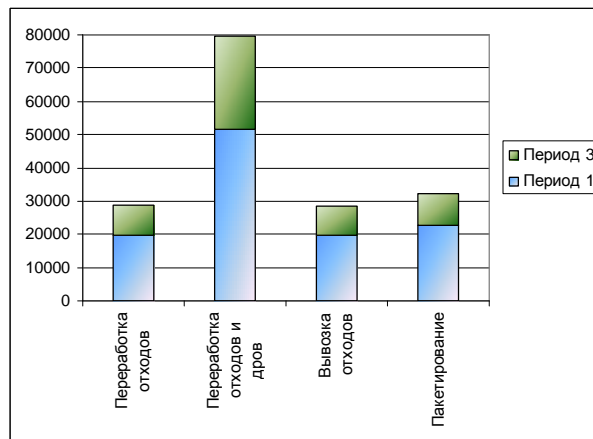
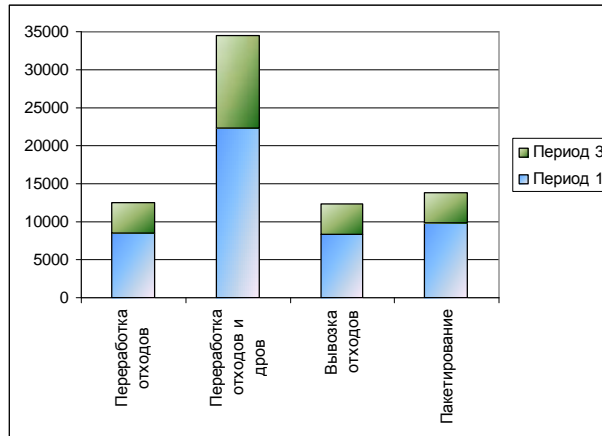
При использовании технологий №1 и №4 загрузка производственных ресурсов на заготовке достаточно высокая: рубительная машина работает

93 дня из 100, а пакетировщик - 85. В третьем периоде этот показатель еще выше и достигает 100 из 100 для первой технологии. При использовании технологии №2 загрузка мощностей на заготовке меньше: рубительные машины работают только 74 дня из 100. Это говорит о том, что эти два комплекса могут заготавливать больше при наличии свободных участков, хотя, несомненно, одним комплексом здесь обойтись нельзя.

Загрузка автомобилей несколько меньше и достигает только значения 0,8. Это связано с тем, что в случае если на участке сырья не достаточно, чтобы заполнить два автомобиля, туда направляется только один из них, а второй в этот день простаивает. Т. к. на рассматриваемом предприятии используются только выборочные рубки, то объем древесины, а также и отходов на участках в целом не велик по сравнению с предприятиями, где практикуются сплошные рубки. Таким образом, описываемая ситуация встречается довольно часто. Это хорошо видно из графика (рисунок 7 а) - вторые автомобили во всех комплексах загружены слабее.

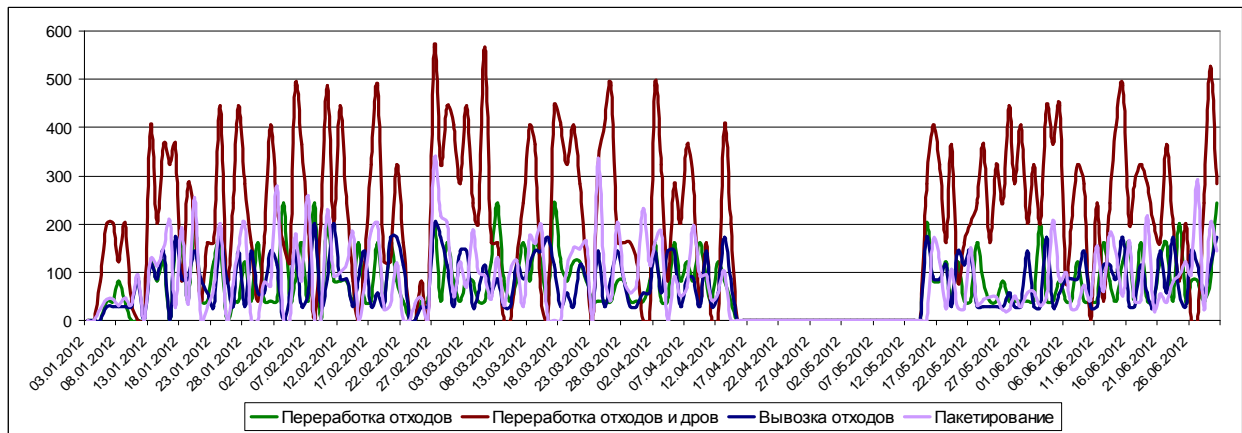
Один из основных показателей, по которым можно сравнить рассматриваемые варианты, - это объем сырья, вовлеченного в производство древесного топлива и, соответственно, количество энергии, которое может быть получено при его сжигании (рисунок 8).

Наибольший объем сырья (около 35000 м<sup>3</sup>) вовлекается в производство топливной древесины при использовании технологии №2, т. к. наряду с отходами перерабатывается и дровяная древесина. В данном случае при сжигании произведенной щепы может быть получено около 80 000 МВт ч. При использовании других технологий, результаты более чем в два раза скромнее. Однако, здесь надо вспомнить, что дровяная древесина используется в энергетических целях и в этих технологиях. Просто она не проходит через комплексы по производству топливной древесины, а вывозится непосредственно потребителям.

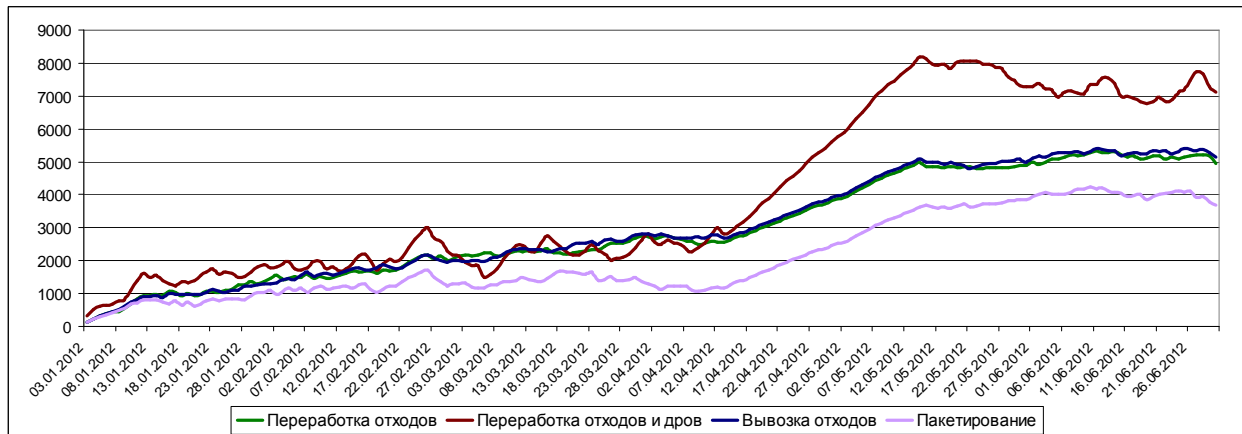


а

б



в



г

## Рисунок 8 - Степень использования запасов сырья:

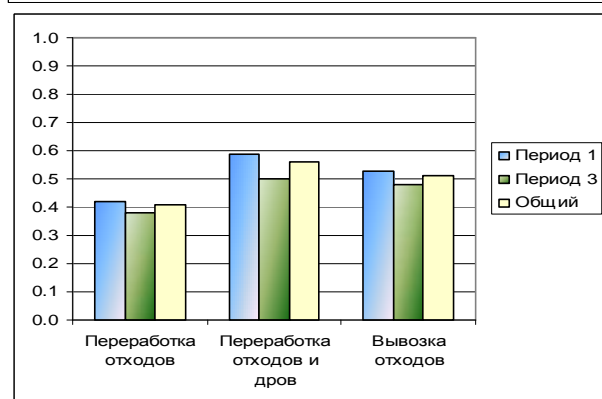
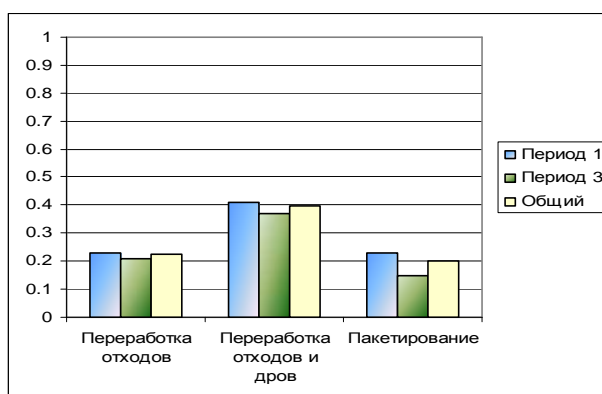
а - переработанный объем, пл. м<sup>3</sup>; б - количество энергии, которое может быть получено при сжигании данного объема, МВт ч; в - колебания переработанного объема, пл. м<sup>3</sup>; г - изменение объема сырья, находящегося на делянках, пл. м<sup>3</sup>;

Из оставшихся трех технологий несколько лучший результат показывает технология №4 за счет более полного использования имеющегося сырья. Это хорошо иллюстрирует график на рисунке 8 г. Остаток сырья на делянках постоянно растет при использовании любой технологии. Это связано с тем, что при имитационном моделировании, если на делянке объем сырья не достаточен для заполнения щеповоза, автомобиля, перевозящего лесосечные отходы или сортиментовоза, перевозящего пакеты отходов, этот объем остается на делянке. Таким образом, чем больше число делянок, на которых к данному дню завершена вся работа, тем больше суммарный объем топливного сырья остается в лесу. Т. к. щеповоз перевозит 40,5 м<sup>3</sup> в плотной мере, автомобиль для перевозки отходов – 29,0 м<sup>3</sup>, а малый сортиментовоз - только 27,1 м<sup>3</sup> пачек отходов в плотной мере, то использование имеющихся объемов в последнем случае будет наибольшим.

Свое негативное влияние, связанное с неполным использованием имеющихся ресурсов сырья, оказывает остановка работы в период закрытия дорог. Это приводит к скачкообразному росту объемов сырья в лесу, особенно при использовании технологии №2 (рисунок 8 г). Причем нормализации ситуации в рассматриваемый нами период не происходит. Возможно она наступит через 2-3 месяца интенсивной работы всех задействованных производственных ресурсов. Однако горизонт данного исследования не позволяет сказать это уверенно.

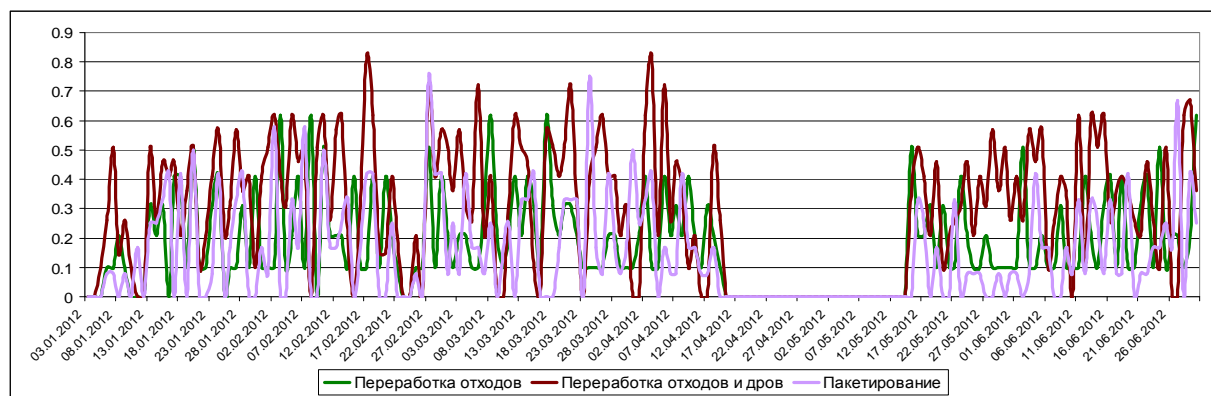
Малый объем сырья на делянках, обусловленный применением несплошных рубок не позволяет достичь высоких показателей использования оборудования внутри смены (рисунок 9).

Особенно такая ситуация характерна для рубительных машин, простой которых особенно велик при работе с одним щеповозом. При этом при работе на более крупных делянках коэффициент использования рабочего времени достигает 0,6 для технологии №1 и даже превышает 0,8 при использовании технологии №2, хотя разброс от делянки к делянке очень велик (рисунок 9 в). В данном случае повысить степень использования машин практически в два раза с 0,2 до 0,4 можно, включив в обработку также и дровяную древесину, т. е. используя технологию №2 (рисунок 9 а).

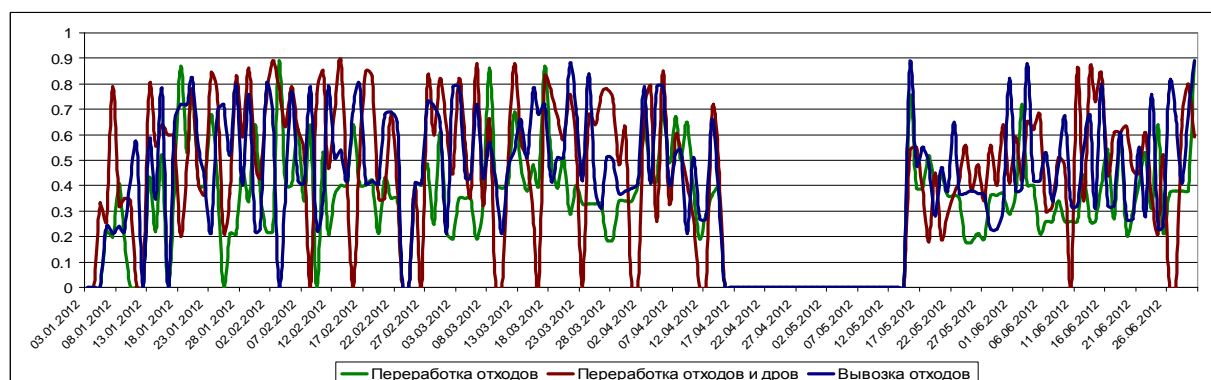


а

б



В

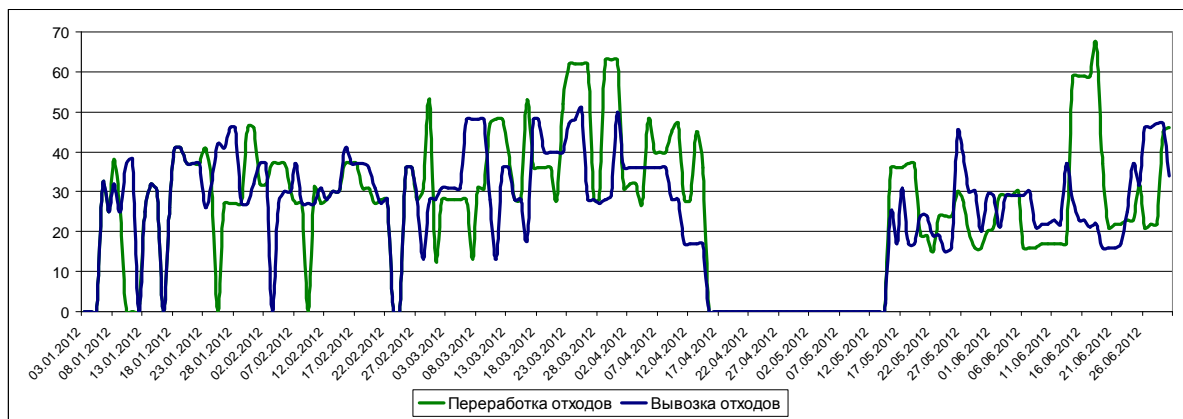


Г

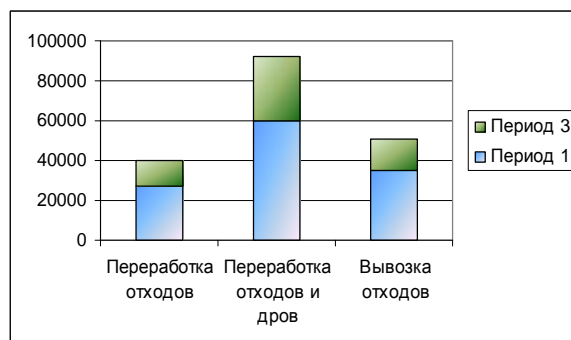
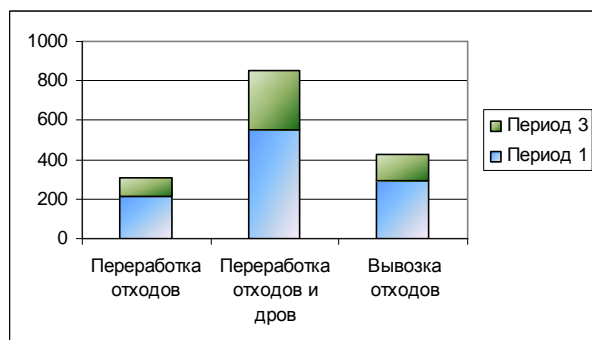
Рисунок 9 - Коэффициент использования рабочего времени: а - средние значения на заготовке топливной древесины; б - средние значения на вывозке топливной древесины; в - изменение на заготовке; г - изменение на вывозке;

Степень использования автомобилей внутри смены для всех трех технологий, где они используются, отличается не сильно и принимает значения примерно от 0,4 до 0,5 (рисунок 9 б), хотя в пиковых значениях достигает 0,9 при использовании любой из технологий (рисунок 9 г).

Значения других показателей вывозки топливной древесины проиллюстрированы на рисунке 10.

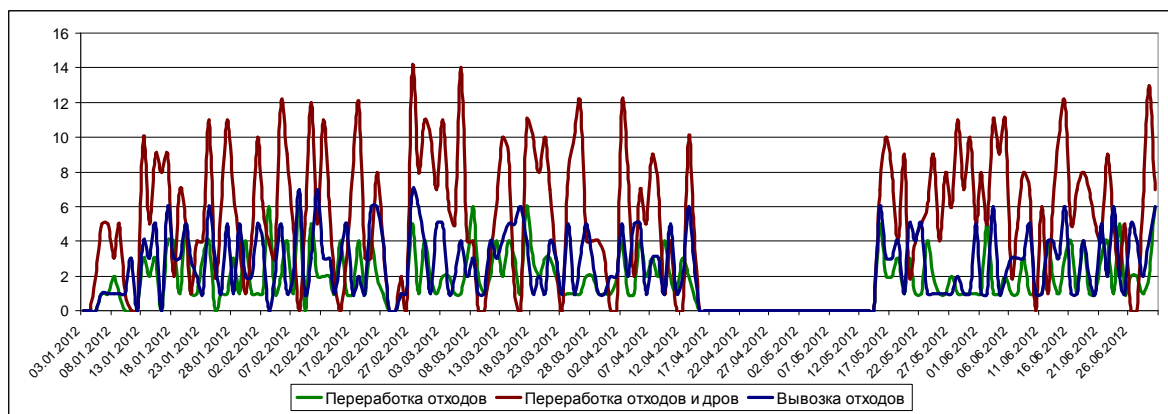


а

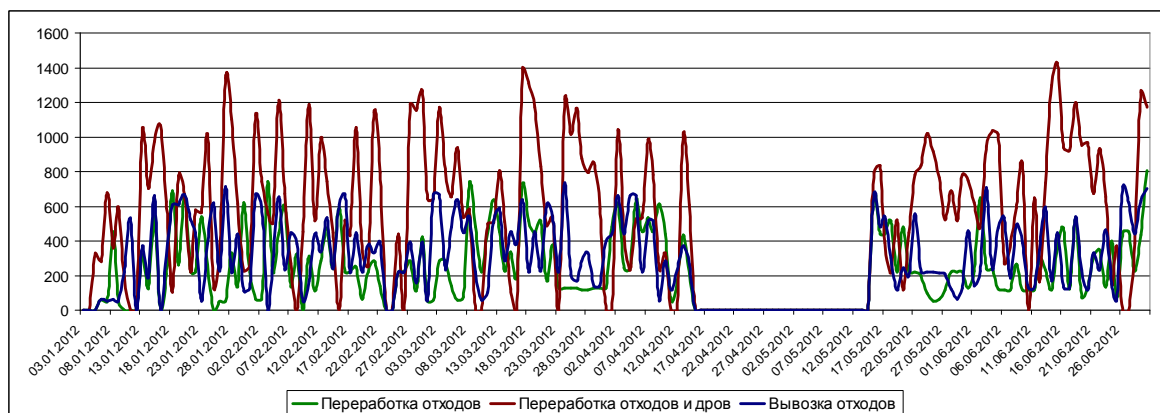


б

в



г



д

Рисунок 10 - Показатели транспортировки топливной древесины:



а - расстояние перевозки, км; б - суммарное число рейсов; в - суммарный пробег, км; г - число рейсов по дням; д - пробег по дням, км.

Среднее расстояние перевозки в условиях рассматриваемого предприятия для всех технологий составляет около 30 км (таблица 4), а в пиковых значениях не превышает 70 км. Суммарное число рейсов и суммарный пробег больше при использовании технологии №3, чем при использовании технологии №1, хотя и в том и в другом случае заготавливается примерно одинаковый объем лесосечных отходов (таблица 4, рисунок 10 б и в, таблица 3, рисунок 8 а). Это связано с тем, что щепы плотнее насыпных лесосечных отходов и ее возить в целом выгоднее.

В пиковых значениях число выполненных рейсов не превышает 6 в день, при использовании технологии №1, 14 - для технологии №2 и 7 - для технологии №3 (рисунок 10 г). Максимальный дневной пробег составляет соответственно 750 км, 1400 км и снова 750 км (рисунок 10 д).

Таким образом, получается, что для более полного использования ресурсов сырья и повышения эффективности работы автомобилей-сортиментовозов, следует применить технологию №4, для более эффективного использования техники внутри смены, следует остановиться на технологии №2, а с целью увеличения доли рабочих дней и снижения суммарного пробега автомобилей - выбрать технологию №1. Технология №3 не имеет явных преимуществ с точки зрения рассмотренных выше показателей.

### Литература

1. Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С., Соколов А. П., Селиверстов А. А., Катаров В. К., Суханов Ю. В., Рожин Д. В., Тюрлик И. И., Фирсов М. В. Рациональное использование древесины и лесосечных отходов в биоэнергетике: оценка потенциалов и технологических подходов // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – №9 (73). – С. 576-587.
2. Gerasimov Y, Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // Biomass and Bioenergy. – 2011. – 35. – P. 1655-1662.
3. Герасимов Ю. Ю., Селиверстов А. А., Суханов Ю. В., Сюнёв В. С. Основные факторы планирования производства древесного топлива из древесной биомассы. // Ученые записки ПетрГУ. – 2011. – № 8. – С. 73-76.
4. Селиверстов А. А., Сюнёв В. С., Герасимов Ю. Ю., Суханов Ю. В., Катаров В. К. Оценка эффективности производства топливной щепы на лесном терминале // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 8. – С. 25-27.
5. Gerasimov Y. Y., Sokolov A. P., Karjalainen T. GIS-based Decision-Support Program for Planning and Analyzing Short-Wood Transport in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2008. – Vol. 29, Issue 2. – P. 163-175.
6. Соколов А. П., Герасимов Ю. Ю. Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». – 2009. – № 3. – С. 78-85.
7. Соколов А. П., Герасимов Ю. Ю., Селиверстов А. А. Методика оптимизации парка автомобилей на вывозке сортиментов на основе имитационного моделирования в среде ГИС // Ученые записки ПетрГУ. – 2009. – №11(105). – С. 72-77.
8. Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П. Методика принятия решений по оптимизации лесозаготовительных планов // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – №5 (69). – С. 320-334.
9. Gerasimov, Y., Sokolov, A. & Siounev, V. Optimization of industrial and fuel wood supply chain associated with cut-to-length harvesting. // Systems. Methods. Technologies – №3 (11) – 2011. – P. 118-124.
10. Суханов Ю. В., Герасимов Ю. Ю., Селиверстов А. А., Соколов А. П. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке в сортиментах // Системы Методы Технологии. – 2011. – №4(12). – С. 101-107.
11. Суханов Ю. В., Герасимов Ю. Ю., Селиверстов А. А., Сюнёв В. С. Системы машин для производства топливной щепы из древесной биомассы по технологии заготовки деревьями // Тракторы и сельхозмашины, – 2012. – № 1. – С. 7-13.
12. Селиверстов А. А., Герасимов Ю. Ю., Суханов Ю. В., Сюнёв В. С., Катаров В. К. Оценка эффективности производства топливной щепы на лесном терминале [Evaluation of effectiveness of the wood chips production in timber terminal]. Тракторы и сельхозмашины, – 2012. – № 8: 25-27.