

УДК 630\*32

UDC 630\*32

**АДАПТИВНО-МОДУЛЬНЫЕ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ****ADAPTIVE-MODULAR MACHINE-TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR INTENSIVE FOREST USE**

Онучин Евгений Михайлович  
к.т.н., доцент  
*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия*

Onychin Evgeny Mihailovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor  
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola, Russia*

Представлен технико-технологический аспект интенсивного лесопользования с применением адаптивно-модульных технико-технологических средств, предложена общая идеализированная модель количественной оценки эффективности наличия адаптивных и модульных свойств

We presented the technical and the technological aspects of an intensive forest management with the use of adaptive modular technical and technological means and proposed the general idealized model of quantitative estimation of the efficiency and availability of the adaptive modular properties

Ключевые слова: ИНТЕНСИВНОЕ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЕ, АДАПТИВНОСТЬ, МОДУЛЬНОСТЬ, ЛЕСНЫЕ МАШИНЫ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Keywords: INTENSIVE FOREST, ADAPTABILITY, MODULARITY, FOREST EQUIPMENT, ESTIMATION OF EFFICIENCY

***Введение***

Системный кризис лесного комплекса Российской Федерации, перманентно проявляющийся на протяжении последних более чем 20 лет [1], для своего преодоления требует выстраивания новой системы лесных отношений на качественно новом как организационном, так и техническом уровне. При этом как организация лесных отношений должна соответствовать сложившейся социально-экономической ситуации в стране и на мировых рынках лесной продукции, так и применяемые в лесном комплексе технико-технологические средства должны соответствовать современным понятиям и стандартам эффективного производства лесной продукции. На технико-технологическом уровне кризис проявился в том, что при активном содействии зарубежных конкурентов, далеко не всегда добросовестных, практически кануло в Лету отечественное лесное машиностроение, при этом сформировавшиеся крупные лесопромышленные холдинги переориентировались на зарубежные как технологии лесозаготовок, так и лесную технику. Безусловно, крах отечественного лесного машиностроения был обусловлен

многими объективными причинами, при этом одной из базовых являлась смена «философии» лесопользования в ходе кардинальных реформ 90-х годов XX века.

Как отмечено в работе [2] «традиционное российское лесопользование зачастую характеризуется сплошными вырубками на обширных территориях и минимизацией текущих затрат при лесопользовании» и далее «выгода здесь и сейчас при заготовке древесины в насаждениях, сформировавшихся естественным путём, является экстенсивной формой ведения лесного хозяйства, которая по большинству параметров уступает интенсивной форме».

Процитированные тезисы, безусловно, дают определённую характеристику сложившимся лесным отношениям в России и за её пределами, главным образом в странах Северной Европы. Однако на уровне практического руководства действиями необходимо чёткое понимание того, что эффективность любых социально-экономических отношений очень сильно зависит от природно-климатических условий территории, на которой они реализуются. С учётом громадной территории России и разнообразия её природных ландшафтов для эффективного лесопользования столь же разнообразными должны быть как подходы к ведению хозяйственной деятельности в лесном комплексе, так и применяемые технико-технологические средства.

Во многих публикациях [1–3] отмечается, что если начать сравнивать эффективность лесопользования в основных ведущих лесных странах, то можно заметить, что при сходном среднем запасе древесины в лесном фонде ( $\text{м}^3 / \text{га}$ ) эффективность лесопользования значительно отличается, причём ведущее место занимают скандинавские страны (Финляндия, Швеция). В этих сравнениях правда не всегда удаётся избежать пресловутой «средней температуры тела больных по больнице», тем не менее, очевидно, что в определённых географических условиях на

значительных территориях России интенсивный подход к лесопользованию является предпочтительным. Также очевидно, что необходимыми географическими условиями при этом являются те, которые наиболее близки к условиям скандинавских стран, а именно:

развитая инфраструктура лесного комплекса (лесные дороги, расположенные рядом предприятия по переработке разнообразной древесины),

относительно высокая плотность населения,

климатические условия благоприятные для высоких приростов качественной древесины в насаждениях.

### ***Существующий технико-технологический уровень и предпосылки его развития***

Основные принципы интенсивного лесопользования во многом апробированы и даже отточены за время довольно длительного применения в скандинавских странах разнообразных технологий интенсивного ведения лесного хозяйства, целью которых является получение максимального экономического эффекта за оборот рубки. Лесными предпринимателями этих стран на практике (правда в ряде случаев при существенной помощи государства как регулятора лесных отношений) показано, что при интенсивной форме лесопользования затраты на заготовку и поставку древесины сокращаются, а качество лесного фонда, конкурентоспособность продукции лесного комплекса увеличиваются.

Такой экономический эффект достигается за счёт того, что при интенсивном подходе идёт выращивание насаждений с целевой породной и сортиментной структурой, что достигается через максимальное влияние на формирование насаждения путём проведения лесохозяйственных мероприятий в течение всего цикла лесовыращивания. Рубки ухода

проводятся с высокой интенсивностью в течение всего цикла выращивания насаждения по специальной программе: вырубаются отстающие в росте деревья, лучшие оставляются. Основой подхода является долгосрочное планирование, необходимое для выбора оптимальных параметров лесохозяйственных мероприятий. Ведь при интенсивном ведении лесного хозяйства возраст финальной рубки (оборот рубки) сокращается с 101 года до 81, а общий объем заготовки ликвидной древесины за оборот рубки возрастает с 263 до 298 м<sup>3</sup>/га, удельный съём ликвидной древесины вырастает с 2,6 до 3,7 м<sup>3</sup>/га год [2].

Приведённые цифры безусловно более чем привлекательны, однако реальность несколько прозаичнее. Так под «ликвидной древесиной» может пониматься и дорогостоящий хвойный пиловочник, так и куда менее ценный берёзовый тонкомер, едва дотягивающий до нормативов фанкряжа. Простой пересчёт на обезличенные кубометры древесины по проверенной временем советской методике даёт уже куда более скромные цифры по съёму ликвидной древесины, так как увеличение выхода на 1,1 м<sup>3</sup> / (га год) достигается главным образом за счёт заготовки именно тонкомерной (да ещё и лиственной) древесины, не пользующейся практически никаким спросом на рынках.

Тем не менее, для ряда лесных территорий России, главным образом с уже длительное время эксплуатирующимися лесами, преимущества интенсивного лесопользования очевидны, но, не смотря на это, на них неизменно сохраняется экстенсивная форма ведения лесного хозяйства, пусть и с применением современной импортной техники. Одной из основных причин сложившейся ситуации, конечно, являются недостатки существующей нормативной базы лесопользования: начиная от отсутствия стимулирования качественного ведения лесного хозяйства и экономического обоснования назначаемых лесохозяйственных мероприятий до того, что регламентируется процесс, а не результат

выполняемых лесохозяйственных мероприятий. При этом нормативы по интенсивности и повторяемости рубок ухода не обеспечивают лесоводственный и экономический эффект, а многие требования и нормативы не позволяют использовать современные технологии. Кроме нормативной базы, причинами сохранения экстенсивной формы являются отсутствие долгосрочного планирования основных экономических показателей лесопользования и прогнозирования состояния лесного фонда и низкий уровень развития лесной инфраструктуры.

В технико-технологическом аспекте принципиальным отличием методологии проектирования технологических процессов лесозаготовок и лесозаготовительных машин является необходимость учёта последствий выполнения работ в лесу на дальнейший ход развития лесной экосистемы. Если при «традиционном лесопользовании» сплошных рубок требования к экологичности машин в части неразрушающего воздействия на лесную экосистему могли быть достаточно низкими, в силу того, что сама лесная экосистема фактически уничтожалась сплошной рубкой, и нужно было лишь оставить, в общем-то, не очень значительные резервы для начала длительного процесса её естественного восстановления или искусственного восстановления путём создания лесных культур, в своих принципах максимально приближенного к естественному, но позволяющему существенно сократить оборот рубки, за счёт избегания нежелательного процесса смены лиственных и хвойных пород, то при интенсивном лесопользовании, когда лесонасаждение фактически превращается в лесную плантацию, большая часть или даже все рубки относятся к несплошным, при этом их главной целью уже является не максимально эффективная заготовка древесины и формирование нужного насаждения, требования к экологичности лесных машин, отсутствию с их стороны негативных воздействий на лесную среду становятся первостепенными. При этом также к лесозаготовительным машинам и

технологическим процессам предъявляются новые функциональные требования в частности по возможности работы в древостое под пологом леса, обработки труднодоступных деревьев.

### *Предложения*

Хороший ретроспективный анализ лесной техники и лесозаготовительных технологий, представленный в работах [4, 5] показывает, что на современном этапе необходим «революционный перелом» традиционных подходов к проектированию как лесных машин, так и технологических процессов лесозаготовок. Базой такой «революционной ситуации» является с одной стороны бурное развитие вычислительной техники, информатики, технической кибернетики, автоматизации и робототехники, а с другой – смена приоритетов лесопользования. Эта смена на техническом уровне заключается в том, что у леса появляется один хозяин – арендатор, который обязан выполнять весь комплекс как лесозаготовительных, так и лесохозяйственных работ, полный перечень, которых переваливает за две сотни. При этом содержание гигантского парка специализированных технологических машин никогда не будет экономически эффективно. При интенсивном ведении лесного хозяйства ситуации ещё более усугубляется тем, что лесосечные работы нужно вести в насаждениях разного возраста, с разной густотой и размерами деревьев, с различной интенсивностью рубки.

Обращаясь к работам [4, 5] можно проследить, как менялись со временем задачи, решаемые конструкторами при проектировании лесных машин. Изначально решалась задача повышения производительности труда рабочих на лесозаготовках путём механизации наиболее тяжёлых технологических операций. На следующем этапе осуществлялся переход к комплексной механизации лесозаготовок, полному исключению ручного труда, улучшению условий работы операторов лесных машин, с <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/19.pdf>

сопутствующим повышением их функциональности, надёжности и экономичности. Сейчас эти задачи мировым лесным машиностроением в целом решены, и дальнейшее развитие основывается на применении информационных технологий как в управлении лесозаготовительным процессом, так и в технической эксплуатации лесных машин. Сложившаяся ситуация во многом свидетельствует, что в лесном машиностроении назрела необходимость поиска принципиально новых решений, о чём в частности свидетельствует разработки по направлению шагающих лесных машин.

Одним из перспективных направлений поискового конструирования лесных машин, выводящим их на качественно новый уровень, является придание им модульных и адаптивных свойств. Возможности модульного подхода к проектированию лесосечных машин исследованы в работах [6–8], однако их авторы не выходили за пределы лесозаготовительного процесса, при этом включение в модульные структуры технологических модулей для выполнения всего комплекса лесосечных и лесохозяйственных работ позволит существенно повысить результативность модульного подхода в проектировании лесных машинно-технологических комплексов [9, 10].

Свойство адаптивности для лесной техники является относительно новым. Традиционно это понятие используется в теории автоматического управления, где под адаптивностью систем автоматического управления понимается их способность изменять свои параметры и даже структуру при изменении условий функционирования. Но ведь именно лесные машины эксплуатируются в постоянно изменяющихся природно-производственных условиях и это свойство должно стать базовым для их выхода на качественно новый уровень. Уже современные многооперационные лесозаготовительные машины, такие как харвестеры и форвардеры, имеют более двухсот встроенных конструктивных настроек,

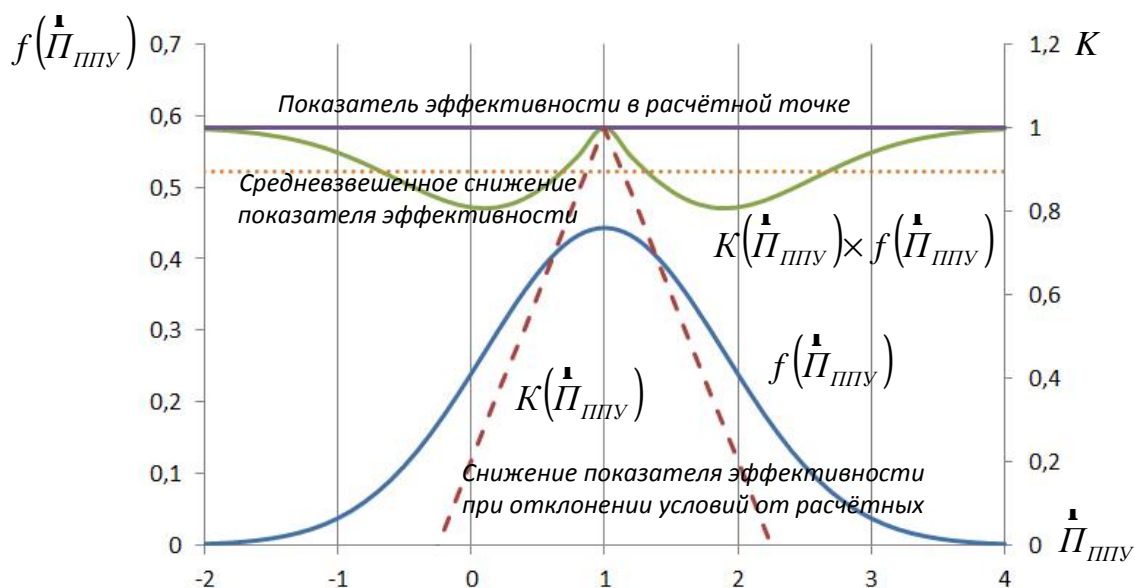
изменение которых в процессе эксплуатации под конкретные условия и оператора (адаптация) позволяет по данным John Deere на 15...20% повысить их производительность при одновременной 5...8% экономии топлива.

### ***Формальное описание, качественное и количественное сравнение***

Таким образом, эффективный адаптивно-модульный машинно-технологический комплекс для интенсивного лесопользования должен включать тягово-энергетические и технологические модули для выполнения комплекса лесосечных работ при рубках ухода и несплошных рубках леса, а также комплекса работ по лесовосстановлению и лесозащите в различных природно-производственных условиях, варьирующихся от сухих боров до сырых ельников.

Эффективность свойства адаптивности в общетеоретическом плане может быть определена исходя из следующей абстрактно-идеальной модели. В общем случае эффективность оценивается некоторым критерием  $K$ , который может быть как скалярным, так и векторным. Критерий  $K$ , применительно к машинно-технологическим комплексам для лесосечных и лесовосстановительных работ, является функцией вектора конструктивно-технологических параметров самого комплекса  $\overset{\mathbf{1}}{\Pi}_{KT}$  и вектора параметров природно-производственных условий его эксплуатации  $\overset{\mathbf{1}}{\Pi}_{ШЛУ}$ , таким образом  $K = F(\overset{\mathbf{1}}{\Pi}_{KT}, \overset{\mathbf{1}}{\Pi}_{ШЛУ})$ , при этом естественной задачей проектирования является найти такой вектор  $\overset{\mathbf{1}}{\Pi}_{KT}$ , при котором  $K \rightarrow \max$ .





**Рисунок 1 – Схема изменения эффективности машинно-технологического комплекса при случайном варьировании вектора  $\vec{\Pi}_{ППУ}$**

Как уже было отмечено, существенной особенностью лесосечно-лесовосстановительных работ является то, что вектор  $\vec{\Pi}_{ППУ}$  является случайным вектором, большинство компонент которого являются случайными величинами. Современный подход к проектированию лесной техники предполагает обоснование расчётных значений компонент этого вектора либо как средних, либо как максимальных значений соответствующих случайных величин, с последующей оптимизацией вектора  $\vec{\Pi}_{КТ}$  [7]. Естественным следствием такого подхода является то, что расчётная эффективность лесных машин не достигается в практике их эксплуатации в силу того, что реальные условия их работы отличаются от расчётных (рис. 1). В идеальном случае свойство адаптивности позволяет для каждого реализованного сочетания параметров природно-производственных условий (значения вектора  $\vec{\Pi}_{ППУ}$ ) произвести оптимизацию вектора  $\vec{\Pi}_{КТ}$ , что позволяет достичь максимума критерия  $K$

не только для расчётных условий, а во всём диапазоне варьирования вектора  $\dot{\Pi}_{ППУ}$ .

Количественная оценка уровня повышения эффективности при наличии свойств адаптивности в первом приближении может быть получена исходя из следующих допущений:

1) эффективность машины с постоянным вектором  $\dot{\Pi}_{КТ}$  уменьшается пропорционально модулю коэффициента вариации с коэффициентом  $k_{нэ}$ , эффективность машины с адаптивным вектором  $\dot{\Pi}_{КТ}$  остаётся постоянной (рис. 1);

2) составляющие вектора  $\dot{\Pi}_{ППУ}$  имеют нормальный закон распределения.

Показателем уровня повышения эффективности целесообразно принять уровень в общем случае гиперплоскости отсекающей гиперпризму того же объёма, что и фигура, образованная гиперплоскостями критерия  $K$  с постоянными и адаптивными параметрами, при этом в первом приближении эту фигуру можно считать  $N$ -мерной призмой, где  $N$  – размер вектора  $\dot{\Pi}_{ППУ}$ , из которой вычтена  $N$ -мерная пирамида. В соответствии с теорией  $N$ -мерного декартового пространства объём  $N$ -мерной пирамиды пропорционален величине  $1/N$ , откуда следует, что с ростом величины  $N$  увеличивается и эффективность свойства адаптивности пропорционально величине  $1 - 1/N$ .

Количественная оценка эффективности свойства модульности может быть получена в общем случае на базе следующих рассуждений. Дано некоторое количество технологических операций  $n_{on}$ , для выполнения каждой из которых необходимо некоторое узкоспециализированное техническое средство, способное выполнять только одну операцию.

Данное техническое средство с учётом сезонности и объёмов работ будет задействовано на выполнении данной операции некоторое время, определяемое коэффициентом технического использования  $K_{ТИ}$ . Для простоты оценочных расчётов в первом приближении можно принять, что он одинаков для всех операции, и тогда он же будет характеризовать и эффективность работы всего комплекса.

Наличие модульных свойств позволяет разделить узкоспециализированные технические средства на модули, часть из которых будет обладать в той или иной мере свойством универсальности, которое может быть количественно охарактеризовано коэффициентом

универсальности, рассчитываемым по формуле  $K_{ун} = \frac{n_{опм}}{n_{он}}$ , где  $n_{опм}$  – число операций, на которых может быть задействован данный модуль.

Рассматривая абстрактно-идеальный случай можно принять, что коэффициент универсальности зависит от числа уровней модулей  $m$ , на которое подразделяется техническое средство. При этом модули первого из этих уровней будут узкоспециализированными и соответственно иметь

$K_{ун} = \frac{1}{n_{он}}$ , а модули последнего уровня, как наиболее универсальные

будут иметь максимальный коэффициент универсальности  $K_{унmax}$ . Модули остальных уровней имеют коэффициенты универсальности равномерно

распределённые в диапазоне  $\left[ \frac{1}{n_{он}}; K_{унmax} \right]$ . Таким образом, коэффициент

универсальности модуля  $i$ -уровня может быть найден по формуле

$$K_{уни} = \frac{1}{n_{он}} + \frac{K_{унmax} - \frac{1}{n_{он}}}{(m - 1)}(i - 1)$$

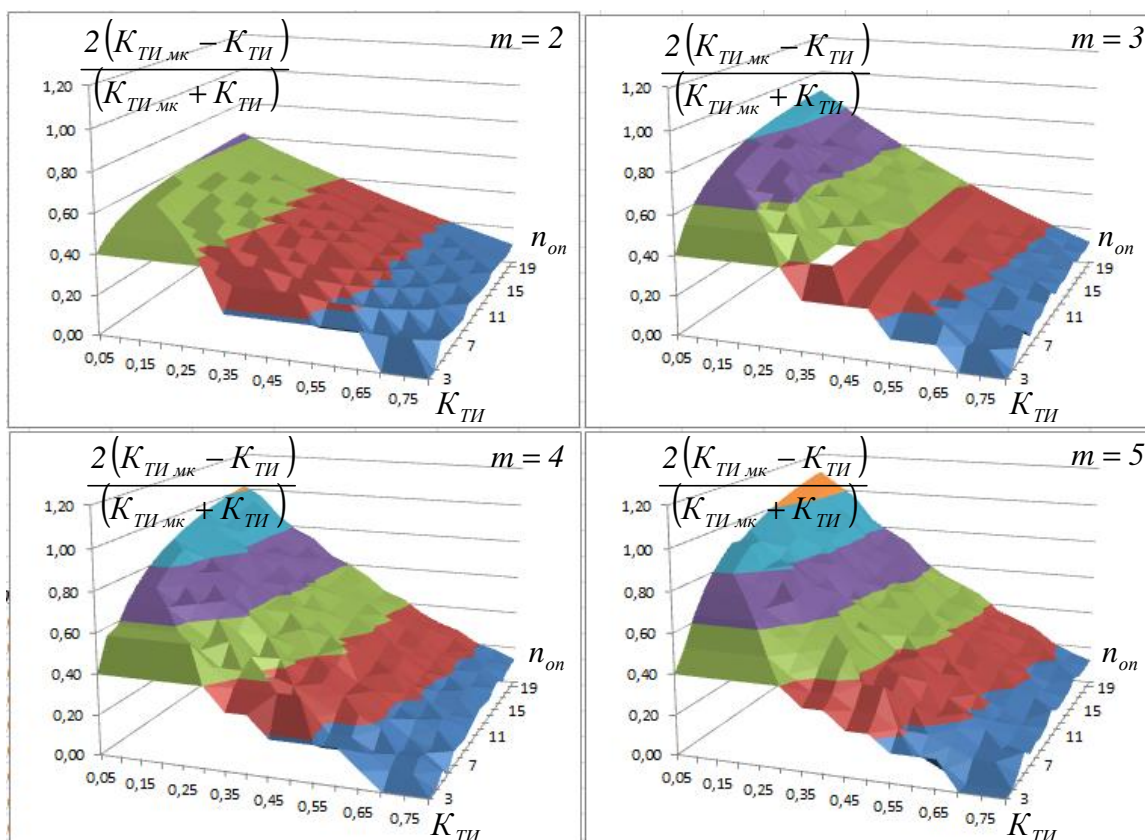
Необходимое количество модулей каждого уровня может быть найдено из следующего соотношения

$$n_{mi} = \left[ \frac{1}{K_{yui}} \right] \times \left[ K_{yui} n_{on} K_{TH} \right] + \left[ \left( 1 - \left[ \frac{1}{K_{yui}} \right] K_{yui} n_{on} K_{TH} \right) \right]$$

После определения количества модулей определить коэффициент технического использования всего комплекса можно по формуле

$$K_{TH\text{ мк}} = \frac{K_{TH} n_{on} m}{\sum_{i=1}^m n_{mi}}$$

Результаты расчёта относительного показателя эффективности  $\frac{2(K_{TH\text{ мк}} - K_{TH})}{(K_{TH\text{ мк}} + K_{TH})}$  для различного количества уровней модулей, числа операций и коэффициентов технического использования приведены на рис. 2. Анализ этих данных показывает, что наибольший эффект модульные свойства приносят при низких коэффициентах технического использования, которые как раз и наиболее характерны для средств механизации лесосечных и лесовосстановительных работ многих предприятий лесного комплекса, а рост эффективности при увеличении числа операций хоть и гораздо менее слабый в сравнении с влиянием  $K_{TH}$ , но, тем не менее, довольно существенный. При этом нужно отметить, что переход к интенсивному лесопользованию как раз и предполагает в технико-технологическом аспекте значительное увеличение видов технологических операций, осуществляемых в лесах.



**Рисунок 2 – Зависимость относительного показателя эффективности модульного комплекса от его основных параметров**

### **Выводы**

Переход в интенсивную модель позволяет в значительной степени повысить эффективность ведения лесного хозяйства, но внедрение такой модели возможно только после изменения существующих лесохозяйственных нормативов. Техничко-технологический аспект интенсивного лесопользования предполагает значительное увеличение перечня выполняемых в лесу операций, при этом наиболее перспективным направлением их эффективного машинного обеспечения являются адаптивно-модульные машинно-технологические комплексы, предложенные идеальные модели оценки эффективности адаптивных и модульных свойств позволяют выполнить её количественную оценку для конкретного перечня лесосечных и лесовосстановительных работ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по государственному контракту № 16.515.11.5053 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».*

### **Библиографический список**

1. Птичников, А. В. Интенсивное лесопользование – опыт Псковского модельного леса WWF [Текст] / А. В. Птичников, Б. Д. Романюк // Устойчивое лесопользование. – 2003. – № 1.
2. Интенсивное лесопользование [Электронный ресурс] // Промышленный вестник Карелии. – 2011. – № 98. – Режим доступа: [http://pv.karelia.ru/files/archive/98\\_21.pdf](http://pv.karelia.ru/files/archive/98_21.pdf). – 10.05.2012.
3. Герасимов, Ю.Ю. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок / Ю.Ю.Герасимов, В.С.Сюнев. – Йоенсуу: Изд-во ун-та Йоенсуу, 1998. – 178 с.
4. Александров, В. А. Механизация лесосечных работ в России [Текст / В.А.Александров. – СПб.: СПбЛТА, 2000. – 208 с.
5. Жаденов, В. С. Технология и оборудование лесозаготовок (этапы развития): Учебное пособие [Текст] / В.С. Жаденов, А.Н. Заикин, Ю.В. Шелгунов. – Брянск: БГИТА, 2002. – 592 с.
6. Анисимов, Г. М. Модульная система для гибкого лесозаготовительного производства [Текст] / Г.М.Анисимов, В.Н.Меньшиков, В.В.Акимов // Обоснование параметров и технических решений машин и оборудования лесной промышленности и лесного хозяйства: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1988. – С. 9–13.
7. Жуков, А. В. Теория лесных машин [Текст] / А.В.Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
8. Семёнов, М. Ф. Эффективность функционирования лесосечных модульных машин [Текст] / М. Ф. Семёнов. – СПб.: СПбЛТА, 1996. – 222 с.
9. Онучин, Е. М. Адаптивно-модульные технические средства для лесного комплекса [Текст] / Е. М. Онучин, В. А. Грязин // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование [Текст]. – 2011. – № 3. – С. 45–49.
10. Сидыганов, Ю. Н. Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография [Текст] / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. М. Ласточкин. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 336 с.