

УДК 630*3:630*785

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПОСТАВОК ТОВАРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

И. М. Еналеева-Бандура¹, А. Н. Баранов¹, С. А. Бровкин¹,
И. В. Григорьев², Р. Н. Ковалев^{3, 4}

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева
660037, Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

² Арктический государственный агротехнологический университет
677007, Республика Саха (Якутия), Якутск, Сергеляхское шоссе, 3/3

³ Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

⁴ Уральский государственный аграрный университет
620075, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42

E-mail: melnikov1978@inbox.ru, aleksandr-baranov-55@mail.ru, worb1@mail.ru,
silver73@inbox1.ru, kovalevrn@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 25.03.2024 г.

Проанализированы и актуализированы особенности процессов функционирования транспортно-технологической системы поставок товарной древесины и ее управления, а также основные параметры оптимизации системы управления цепями поставок товарной древесины для обеспечения эффективности процесса. Предложен многокритериальный подход к оценке эффективности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины и разработана ее математическая модель, основанная на методах линейного и динамического программирования, стохастического и экономико-математического моделирования, элементах статистического и экономического анализа. Совокупность отмеченных методов моделирования позволяет модели быть достаточно простой и надежной в практическом применении, а также адаптивной к изменяющимся внешним условиям производственной среды. Разработка представлена подробным описанием всех входящих в нее зависимостей, отмечены преимущества ее применения.

Ключевые слова: транспортно-технологический процесс, древесина, математическая модель, многокритериальная оценка эффективности процесса.

DOI: 10.15372/SJFS20240612

ВВЕДЕНИЕ

Транспортно-технологический процесс поставок товарной древесины от производителей до потребителей – один из наиболее трудоемких и фондоемких в лесной отрасли, на его долю приходится более половины совокупных затрат. Современное управление цепями поставок товарной древесины от поставщиков к потребителям включает в себя широкий спектр логистических услуг, в том числе управление взаимодействием процессов производства древесины, работы лесных складов, лесо-транспорта и потребительского спроса.

Проблемность в постановке задачи оптимизации функционирования такой сложной системы определяется, с одной стороны, многовариантностью процесса поставок товарной древесины, которая связана с применением различных видов транспорта и марок подвижного состава на вывозке древесины, разных технологий хранения и учета древесины, а также с многоассортиментностью потоков товарной древесины и разнообразием схем организации рассматриваемого процесса.

С другой стороны, отмеченная сложность задается влиянием на рассматриваемый процесс различных дестабилизирующих его функционирование внешних факторов, генерируемых производственной средой, при этом как процесс поставок товарной древесины, так и производственная среда его функционирования обладают пространственно-временной динамикой.

Очевидно, что эффективным решением указанной задачи является выработка действенного в практическом применении методологического аппарата, способствующего качественному принятию управленческих решений, направленных на обеспечение эффективности процесса поставок товарной древесины. В этой связи в научной литературе как в России, так и за рубежом, существует довольно значительное количество трудов, направленных на поиск методов, позволяющих количественно и качественно оценить параметры функционирования процесса поставок товарной древесины в целях принятия рациональных решений по управлению рассматриваемым процессом (Коняшова, 2013; Григорян, 2015; Мохирев и др., 2020; и др.). Несмотря на множественность научных работ, в данных трудах нет комплексного подхода к формированию показателей отмеченной оценки, которые позволили бы всесторонне, разнопланово и многоаспектно оценить параметры функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

Таким образом, очевидно, что существует как теоретическая, так и практическая необходимость выработки универсального, адаптивного к условиям производственной среды и доступного на практике в применении методологического аппарата комплексной оценки эффективности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под транспортно-технологическим процессом поставок товарной древесины от производителей до потребителей следует понимать сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, к которым относятся пункты заготовки древесины (пункты отправления), перевалочные пункты и терминалы (нижние склады предприятия, склады сезонного хранения, перевалочные пункты, прирельсовые склады и т. д.), потребители (пункты назначения древесины), транспортные связи между всеми пунктами отправления, перевалки, хранения и потребления (Папонов, 1997; Мохирев и др., 2020). Особенность данной системы в том, что все отмеченные элементы в основе своего функционирования носят пространственно-временной динамический характер. При этом меняются не только параметры самого процесса, но и внешняя производственная среда данного процесса. В свою очередь, данная производственная среда наряду со свойством динамичности обладает также свойством стохастичности, т. е. возможностью проявления в том числе в ее среде негативных явлений, заданных случайными величинами. Данные негативные явления, генерируемые производственной средой, оказывают дестабилизирующее воздействие на процесс поставок товарной древесины и могут быть обозначены как факторы, дестабилизирующие надежность функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесной отрасли.

Поскольку рассматриваемая производственная среда подразделяется на внутреннюю и внешнюю, то к дестабилизирующим факторам внутренней производственной среды относятся сезонность заготовок, использование различных видов транспортных средств, естественное колебание запасов лесоматериалов, большая территориальная разобщенность пунктов заготовок, широкая номенклатура видов перевозимой товарной древесины. К дестабилизирующим факторам внешней производственной среды относятся колебание цен и тарифов, зависимость от природных условий, деятельность монопольных и законотворческих структур и т. п. (рис. 1).

Очевидно, что лесозаготовительное предприятие в своей хозяйственной деятельности может использовать как один вариант формирования цепей поставок товарной древесины, например верхний лесной склад – потребитель, так и все четыре приведенных возможных вариантов.

Как было отмечено ранее, процесс поставок товарной древесины – сложная система и остается актуальной задачей обеспечения эффективности функционирования рассматриваемого процесса. Принятие управленческих решений в этих условиях должно базироваться на определении и оценке основных критериев, характеризующих функционирование процесса поставок товарной древесины в его сопряжении с факторами производственной среды. Анализ вышеотмеченных научных трудов, посвященных данной проблеме, достаточно объемный и заслуживает отдельного научного исследования, поэтому ниже обозначены лишь ее основные аспекты.

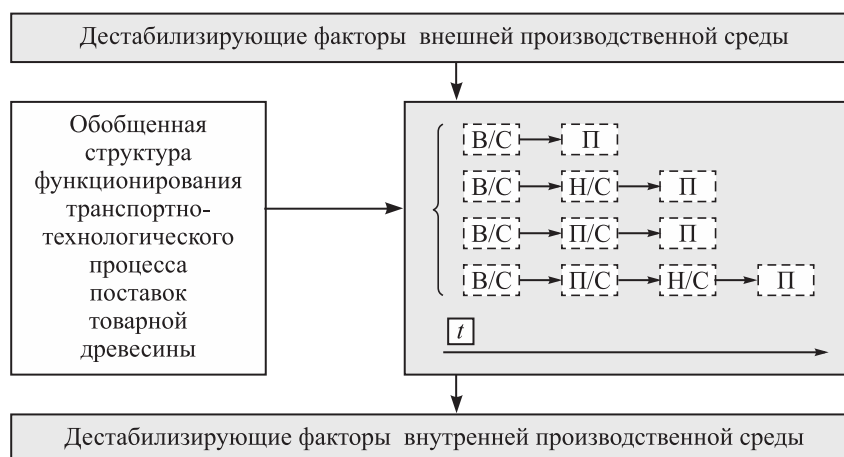


Рис. 1. Укрупненная схема функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины в производственной среде.

В/С – верхний лесной склад; П – потребители товарной древесины; Н/С – нижний лесной склад; П/С – промежуточный (сезонный) лесной склад; → транспортные связи в цепях поставок товарной древесины; t – период времени.

В основу трудов по методологическим разработкам положена оценка эффективности технологических процессов, рассматриваемая многоаспектно, т. е. наряду с технико-технологической позицией оценки он включает экономическую, экологическую и социальную составляющие (Мезенина и др., 2014; Шаин, 2017; Мохирев и др., 2020). Данный подход, по-нашему мнению, верен, поскольку направлен на сбалансированное развитие лесных территорий. При этом в отмеченных выше публикациях не уделяется внимания тому, что эффективность – далеко не единственный ключевой показатель оценки функционирования технологических процессов и поэтому не может быть достаточным для принятия качественных управленческих решений.

С учетом данного обстоятельства проведен анализ научной литературы в аспекте определения других значимых показателей оценки функционирования технологического процесса (Папонов, 1997; El-Sayed et al., 2010; Cardona-Valdes et al., 2011; Коняшова, 2013; Шурыгина, 2013; Григорян, 2015; Fahimnia et al., 2015; Movahedipour et al., 2016; Nooraie, Parast, 2016; Чижов, 2017; Аткинсон и др., 2019; Медведев и др., 2019).

Согласно специальной литературе (Чижов, 2017; и др.), одним из наиболее важных показателей функционирования технологического процесса является его результативность, т. е. соответствие уровня выполненных работ уровню запланированных результатов. Также данный показатель указывает на возможность или невозможность достижения результата функционирования процесса при заданной мере эффекта. Таким образом, сопряжение показателей эффективности и результативности позволяет более полно определить оптимальную стратегию функционирования технологического процесса на базе оценки отношения стоимости запланированных результатов к средствам, затраченным на их достижение (т. е. определения, стоит ли поставленная цель планируемых на ее достижение затрат).

Наряду с показателями эффективности и результативности, еще одним из ключевых показателей оценки качества функционирования технологического процесса является его устойчивость, т. е. некий запас надежности, который дает процессу возможность противостоять влиянию дестабилизирующих факторов (Коняшова, 2013; Григорян, 2015; Медведев и др., 2019). Одним из факторов обеспечения надежности является создание страховых запасов ресурсов, запчастей и т. п. Очевидно, что критериальная направленность целевой функции, отражающей устойчивость процесса, диаметрально противоположна подобной направленности функционала, определяющего эффективность и результативность. При этом рост объемов страховых запасов ведет к повышению затрат на их приобретение и содержание, т. е. снижается экономическая эффективность функционирования процесса, но, с другой стороны, повышается надежность его функционирования, и игнорирование данного фактора может катастрофически сказаться на всем процессе его функционирования. Из сказанного выше следует, что для разработки оптимальных планов стратегического и тактического управления транспортно-технологическим процессом поставок товарной древесины

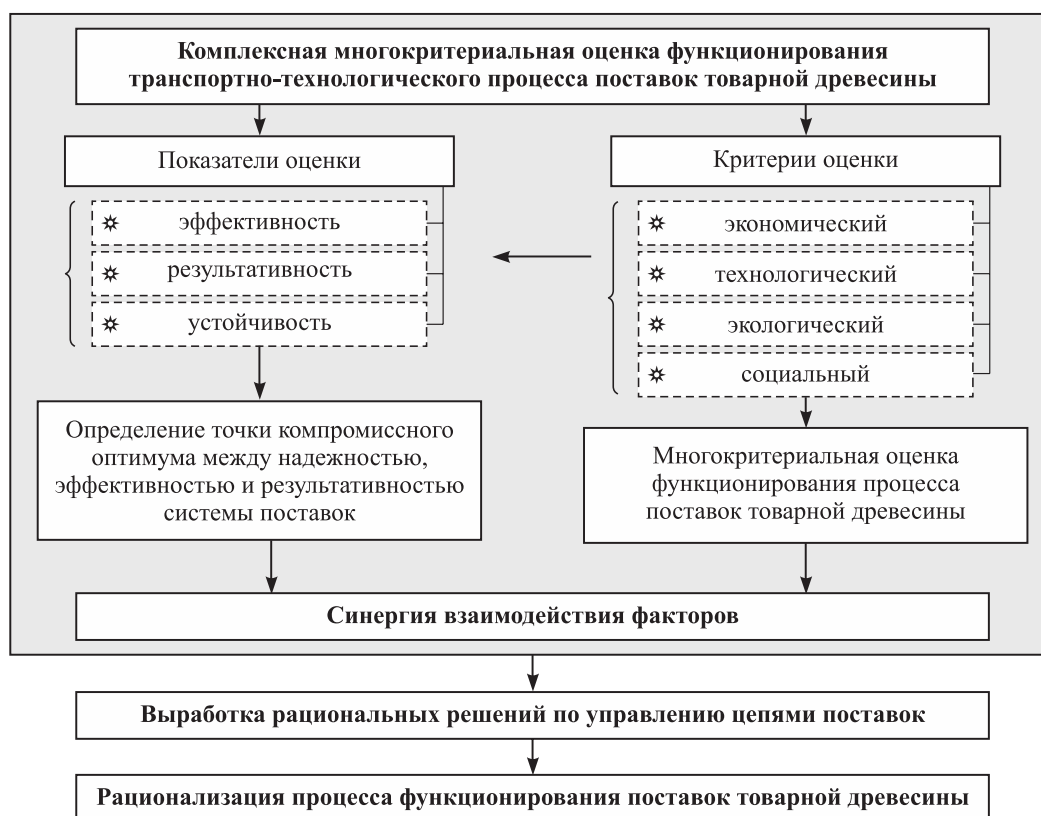


Рис. 2. Параметрическая модель комплексного многокритериального подхода к оценке функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

необходимо определить компромиссный многокритериальный оптимум между показателями эффективности, результативности и устойчивости данного процесса.

С учетом вышеизложенного нами предложен комплексный многокритериальный подход к оценке оптимальности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины в целях реализации качественных управленческих решений в аспекте обеспечения эффективности, результативности и устойчивости данного процесса. Подобный подход генерирует в себе как определение точки компромиссного оптимума между надежностью системы и необходимостью сокращения издержек на ее создание и содержание, так и всестороннюю оценку рациональности процесса функционирования поставок товарной древесины (рис. 2).

Представленная на рис. 2 параметрическая модель комплексного многокритериального подхода к оценке функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины положена в основу авторской разработки достаточно простого в применении, гибкого к условиям производственной среды и универсального методологического аппарата обеспечения качественных управленческих решений в целях повышения его эффективности, результативности и устойчивости. В основу данного аппарата положена математическая модель в ее динамической постановке с учетом факторов стохастичности производственной среды.

Ниже приведена авторская методологическая разработка, включающая в себя целевую функцию, все входящие в целевую функцию зависимости и систему ограничений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексная оценка функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины ($F_k^{тпн}$) в период времени t представляет собой целостную систему, содержащую в себе аналитически выраженную взаимосвязь и взаимозависимость основных показателей эффективности, результативности и устойчивости функционирования данного процесса на основе технико-эколого-социоэкономического критерия оптимальности их сопряжения в условиях динамики производственной среды.

Предлагаем определять указанную оценку согласно выражению

$$F_k^{\text{ТПП}} = \begin{cases} \mathcal{E}_{\text{общ}}^{\text{ТПП}}(t) = \lim_{R(t) \rightarrow 1} \sqrt[4]{\mathcal{E}_{\text{ЭК}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot \mathcal{E}_{\text{ЭЛ}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot \mathcal{E}_{\text{ТЕХ}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot \mathcal{E}_{\text{СОЦ}}^{\text{ТПП}}(t)} \\ R_{\text{общ}}^{\text{ТПП}}(t) = \lim_{\text{Пд}(t) \rightarrow 1} \sqrt[4]{R_{\text{ЭК}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot R_{\text{ЭЛ}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot R_{\text{ТЕХ}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot R_{\text{СОЦ}}^{\text{ТПП}}(t)} \rightarrow \text{opt}, \\ \mathcal{Y}_{\text{общ}}^{\text{ТПП}}(t) = \lim_{\text{Ст}(t) \rightarrow 1} \sqrt[4]{\mathcal{Y}_{\text{ЭК}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot \mathcal{Y}_{\text{ЭЛ}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot \mathcal{Y}_{\text{ТЕХ}}^{\text{ТПП}}(t) \cdot \mathcal{Y}_{\text{СОЦ}}^{\text{ТПП}}(t)} \end{cases} \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{общ}}^{\text{ТПП}}$ – обобщенный показатель эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t , $t \in [0, \dots, T]$;

$R_{\text{общ}}^{\text{ТПП}}$ – обобщенный показатель результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{Y}_{\text{общ}}^{\text{ТПП}}$ – обобщенный показатель устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

R – рентабельность функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t . Данный показатель является основным инструментом, характеризующим все виды эффекта функционирования процесса поставок товарной древесины;

Пд – продуктивность функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t . Данный показатель отражает комплексную результативность использования всех видов ресурсов (труда, капитала, технологии и пр.);

Ст – стабильность функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t . Данный показатель характеризует все виды устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины;

$\mathcal{E}_{\text{ЭК}}^{\text{ТПП}}$ – показатель экономической эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{E}_{\text{ЭЛ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель экологической эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{E}_{\text{ТЕХ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель технологической эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{E}_{\text{СОЦ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель социальной эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$R_{\text{ЭК}}^{\text{ТПП}}$ – показатель экономической результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$R_{\text{ЭЛ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель экологической результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$R_{\text{ТЕХ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель технологической результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$R_{\text{СОЦ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель социальной результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{Y}_{\text{ЭК}}^{\text{ТПП}}$ – показатель экономической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{Y}_{\text{ЭЛ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель экологической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t ;

$\mathcal{Y}_{\text{ТЕХ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель технологической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса, в период времени t ;

$\mathcal{Y}_{\text{СОЦ}}^{\text{ТПП}}$ – показатель социальной устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени t .

Далее представлен математический аппарат определения показателей, входящих в целевую функцию.

Экономическая эффективность функционирования транспортно-технологического процесса представляет собой отношение фактической прибыли от реализации товарной древесины в период

времени t к затратам, связанным с транспортировкой древесного сырья потребителю в интервал времени $[(t - 1); t]$ и определяется согласно выражению

$$\Theta_{\text{эк}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\Pi_{\text{ф}}^2 \cdot (t)^2}{(S_{\text{стр}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L S_{\text{тр}})^2 \cdot (t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $S_{\text{тр}}$ – транспортные расходы на вывозку объема l -го вида товарной древесины с i -й лесосеки на j -й склад (прирельсовый участок, потребителю), k -м типом транспорта леса, $l \in [1, \dots, L]$, $i \in [1, \dots, m]$, $j \in [1, \dots, n]$, $k \in [1, \dots, K]$ в период времени $[(t - 1); t]$, руб.;

$\Pi_{\text{ф}}$ – фактическая прибыль на момент оценки (период времени t) руб.;

$S_{\text{стр}}$ – затраты на создание лесовозных дорог, их эксплуатацию, стоимость дорожно-строительных материалов, полуфабрикатов, конструкций и изделий, транспортные расходы на доставку материалов и рабочих и прочие затраты, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией транспортной сети на территории лесного фонда в интервал времени $[(t - 1); t]$, руб. (Дороги лесные..., 2016, 2017).

Показатель экологической эффективности функционирования процесса поставки товарной древесины представляет собой отношение фактического эффекта от реализации природоохранных мероприятий (в стоимостном выражении) в интервал времени $[(t - 1); t]$ к затратам, связанным в основном со снижением негативного воздействия на лесные экосистемы строительства и эксплуатации лесовозных дорог и определяется согласно выражению

$$\Theta_{\text{эл}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(N^{\text{д}} - N^{\text{п}} + \Delta B - Z^{\text{экс}})^2 \cdot (t)^2}{S_{\text{эл}}^{\text{сум}^2} (t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $N^{\text{д}}$ и $N^{\text{п}}$ – сумма сборов, налогов и штрафов за загрязнение окружающей среды и др., выплачиваемых предприятием соответственно до и после реализации природоохранных мероприятий в интервал времени $[(t - 1); t]$, руб.;

ΔB – возможный прирост валовой выручки ввиду повышения экологичности процесса транспортировки товарной древесины после реализации природоохранных мероприятий в интервал времени $[(t - 1); t]$, руб.;

$Z^{\text{экс}}$ – эксплуатационные издержки, связанные с содержанием и обслуживанием внедряемой техники в целях реализации природоохранных мероприятий в интервал времени $[(t - 1); t]$, руб.;

$S_{\text{эл}}^{\text{сум}}$ – затраты, связанные с реализацией мероприятий по снижению негативного воздействия на лесные экосистемы от строительства и эксплуатации лесовозных дорог, руб.

Технологическая эффективность процесса поставки товарной древесины в основном определяется рациональностью использования подвижного состава. Учитывая данное обстоятельство, предлагаем вычислять указанный показатель как отношение суммарной производительности лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых на вывозке товарной древесины за машино-смену в период времени t к средней суммарной стоимости машино-смены в интервал времени $[(t - 1); t]$ согласно выражению

$$\Theta_{\text{тех}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\text{Пр}_{\text{ф}}^2 \cdot (t)^2}{C_{\text{мс}}^{\text{сум}^2} (t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где $\text{Пр}_{\text{ф}}$ – суммарная производительность лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых в процессе доставки товарной древесины потребителю за машино-смену в период времени t , руб.;

$C_{\text{мс}}^{\text{сум}}$ – средняя суммарная стоимость машино-смены в интервал времени $[(t - 1); t]$, руб. Включает в себя затраты на топливо, смазочные материалы, ремонт и техобслуживание, зарплату водителей, амортизацию и пр.

Показатель социальной эффективности процесса поставки товарной древесины рассчитывается как отношение разности между суммарными производительностями лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых в процессе поставки товарной древесины за машино-смену в пери-

оды времени t и $(t - 1)$ соответственно к расходам социального характера (затраты на человеческие ресурсы) в интервал времени $[(t - 1); t]$ согласно выражению

$$\Theta_{\text{соц}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(\text{Пр}_{\text{ф}}^t - \text{Пр}_{\text{ф}}^{(t-1)})^2 \cdot (t)^2}{S_{\text{соц}}^{\text{сум}^2} (t - 1)^2} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где $S_{\text{соц}}^{\text{сум}}$ – затраты, связанные с повышением квалификации рабочих, занятых на вывозке, улучшением условий их труда и т. п., в интервал времени $[(t - 1); t]$, руб.

Исходя из утверждения Г. Чинова (2017), что результативность функционирования технологических процессов представляет собой соответствие уровня фактически выполненных работ с уровнем запланированных результатов, нами предлагаются следующие формулы расчета составляющих обобщенного показателя результативности функционирования транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины потребителям:

а) экономическая результативность определяется как отношение фактической прибыли от реализации товарной древесины в период времени t к прибыли, планируемой в период времени $(t - 1)$, согласно выражению

$$R_{\text{эк}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\Pi_{\text{ф}}(t)}{\Pi_{\text{пл}}(t - 1)} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где $\Pi_{\text{пл}}$ – планируемая прибыль от реализации товарной древесины в период времени $(t - 1)$, руб.;

б) экологическая результативность транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины представляет собой степень реализации запланированной экологической деятельности, связанной с поставкой древесного сырья потребителям. Определять данную результативность предлагаем посредством отношения фактической суммарной величины: сборов, налогов и штрафов за загрязнение окружающей среды и др., выплачиваемых предприятием ($N^{\text{ф}}$); возможного прироста валовой выручки ввиду повышения экологичности процесса поставки товарной древесины после реализации природоохранных мероприятий ($\Delta B^{\text{ф}}$) с учетом эксплуатационных издержек, связанных с содержанием и обслуживанием внедряемой техники в целях реализации природоохранных мероприятий ($Z^{\text{эк}^{\text{ф}}}$) на момент оценки к сумме плановых значений данных показателей ($N^{\text{пл}} + \Delta B^{\text{пл}} - Z^{\text{эк}^{\text{пл}}}$) в период времени $(t - 1)$ согласно выражению

$$R_{\text{эл}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(N^{\text{ф}} + \Delta B^{\text{ф}} - Z^{\text{эк}^{\text{ф}}})(t)}{(N^{\text{пл}} + \Delta B^{\text{пл}} - Z^{\text{эк}^{\text{пл}}})(t - 1)} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

в) технологическую результативность целесообразно определять как отношение фактической суммарной производительности лесовозных автопоездов, занятых в процессе поставки товарной древесины за машино-смену в период времени t к суммарной плановой производительности лесовозов за машино-смену (Дороги лесные..., 2017) в период времени $(t - 1)$ согласно выражению

$$R_{\text{тех}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\text{Пр}_{\text{ф}}(t)}{\text{Пр}_{\text{пл}}(t - 1)} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где $\text{Пр}_{\text{пл}}$ – планируемая суммарная производительность лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых в процессе поставки товарной древесины за машино-смену в период времени $(t - 1)$, руб.;

г) показатель социальной результативности функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесного комплекса предлагаем определять по формуле средней геометрической величины, опираясь на исследования, приведенные в источниках (Чинов, 2017; Аткинсон и др., 2019; и др.), согласно выражению

$$R_{\text{соц}}^{\text{тп}}(t) = \sqrt[3]{K^{\text{ис}} \cdot K^{\text{кв}} \cdot K^{\text{мот}}}, \quad (9)$$

где $K^{\text{ис}}(t)$ – коэффициент выполняемости плановых работ; $K^{\text{кв}}(t)$ – коэффициент обеспеченности предприятия квалифицированными кадрами;

$K^{\text{мот}}(t)$ – коэффициент мотивации рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины.

Данные коэффициенты предлагаем определять посредством применения следующих выражений:

$$K^{ic}(t) = \frac{B_p^\phi(t)}{B_p^{пл}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где B_p^ϕ – средняя фактическая выработка рабочего, занятого в процессе поставки товарной древесины, в интервал времени $[(t-1); t]$, м³;

$B_p^{пл}$ – средняя плановая выработка рабочего, занятого в процессе поставки товарной древесины, в период времени $(t-1)$, м³;

$$K^{kb}(t) = \frac{Чр^{kb}}{Чр^{cc}} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где $Чр^{kb}$ – численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, имеющих квалификацию, чел.;

$Чр^{cc}$ – среднесписочная численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, чел.;

$$K^{mot}(t) = \frac{\sum_{p=1}^{Чр^{cc}} B_p^\phi}{ФОТ^{np}} \cdot 100 \%, \quad (12)$$

где $ФОТ^{np}$ – премиальный фонд оплаты труда рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины потребителям, руб.

Исходя из анализа научных исследований (Коняшова, 2013; Григорян, 2015), можно утверждать, что устойчивость функционирования транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины представляет собой способность системы адаптироваться к изменениям природно-производственной среды, т. е. это способность сохранять значения параметров процесса в определенных допустимых интервалах при воздействии на систему дестабилизирующих факторов. Учитывая данное обстоятельство, предлагаем следующие формулы расчета составляющих обобщенного показателя устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесного комплекса:

а) экономическую устойчивость отмеченного процесса предлагаем определять как отношение разности плановой прибыли от реализации товарной древесины с учетом влияния прогнозируемого значения рискообразующих факторов (эффект финансовых потерь в результате воздействия на процесс поставки товарной древесины отраслевых рисков) в период времени $(t-1)$ и фактической прибыли в период времени t к резервному капиталу, формируемому предприятием в целях обеспечения бесперебойного и ритмичного функционирования рассматриваемого процесса согласно выражению

$$Y_{эк}^{тп}(t) = \frac{(\Pi_{пл}(t-1) \cdot \prod_{d=1}^D Y_d) - \Pi_\phi(t)}{K_{рез}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (13)$$

где $K_{рез}$ – резервный капитал предприятия для обеспечения бесперебойного и ритмичного функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины в кризисных ситуациях, руб. Он формируется посредством создания страхового запаса товарной древесины, содержания сезонных (буферных) лесных складов, комплектования запаса запчастей для лесовозных автопоездов и пр.;

$\prod_{d=1}^D Y_d$ – финансовые потери в результате воздействия на процесс поставки товарной древесины отраслевых рисков – потери сортности товарной древесины, роста инфляции и цен на ГСМ, запчасти и комплектующие; деятельности законотворческих структур; колебания потребительского спроса; неравномерности производства и т. п. Перечень рискообразующих факторов (Y) и мера их воздействия на процесс поставок товарной древесины определяются экспертным путем, исходя из мнения специалистов лесной отрасли;

б) для оценки экологической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса предприятия лесной отрасли предлагаем использовать три основных индикатора – экологи-

гичность технологических процессов, соответствие эталону (лидеру отрасли) и соотношение фактических и плановых затрат на реализацию природоохранных мероприятий согласно выражению

$$Y_{\text{соц}}^{\text{ТП}}(t) = \sqrt[3]{K^{\text{ЭП}} \cdot K^{\text{ЭТ}} \cdot K^{\text{МЗ}}}, \quad (14)$$

где $K^{\text{ЭП}}(t)$ – коэффициент экологичности транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины;

$K^{\text{ЭТ}}(t)$ – коэффициент эталонности, т. е. достижение показателей экологической деятельности эталонного предприятия (лидера отрасли) в области функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины (в %);

$K^{\text{МЗ}}(t)$ – коэффициент материальных затрат, связанных с реализацией природоохранных мероприятий в аспекте функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

Данные коэффициенты определяются посредством применения следующих выражений:

$$K^{\text{ЭП}}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \left(\frac{V_r \cdot C_r}{\text{ПДК}} \right) \cdot 100 \%, \quad (15)$$

где V_r – объем выбросов в атмосферу r -го токсичного компонента в зоне тяготения лесовозных дорог, образующегося при сжигании ГСМ при эксплуатации k -го вида подвижного состава как в процессе транспортировки товарной древесины, так и в процессе строительства транспортных путей. Соответственно рассчитывать данный показатель необходимо опираясь на интенсивность движения и продолжительность работы транспорта (в м^3) в интервал времени $[(t-1); t]$;

C_r – концентрация r -го токсичного компонента, $\text{мг}/\text{м}^3$;

ПДК – предельно допустимая концентрация r -го токсичного компонента в атмосфере, $\text{мг}/\text{м}^3$;

$$K^{\text{ЭТ}}(t) = \frac{(N^{\Phi} + \Delta B^{\Phi} - Z^{\text{ЭК}^{\Phi}})(t)}{(N^{\text{Л}} + \Delta B^{\text{Л}} - Z^{\text{ЭК}^{\text{Л}}})(t)} \cdot 100 \%, \quad (16)$$

где $N^{\text{Л}}$ – суммарный сбор, налоги и штрафы за загрязнение окружающей среды и др., выплачиваемые эталонным предприятием в период времени t , руб.;

$\Delta B^{\text{Л}}$ – возможный прирост валовой выручки ввиду повышения экологичности процесса поставки товарной древесины после реализации природоохранных мероприятий эталонным предприятием в период времени t , руб.;

$Z^{\text{ЭК}^{\text{Л}}}$ – эксплуатационные издержки, связанные с содержанием и обслуживанием внедряемой техники в целях реализации природоохранных мероприятий эталонным предприятием в период времени t , руб.;

$$K^{\text{МЗ}}(t) = \frac{S_{\text{эл}}^{\text{СУМ}}(t)}{S_{\text{эл}}^{\text{СУМ}}(t-1)} \cdot 100 \%; \quad (17)$$

в) технологическую устойчивость функционирования транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины предлагаем определять как отношение фактического времени на поставку древесного сырья потребителям к планируемому времени на реализацию указанных технологических операций согласно выражению

$$Y_{\text{тех}}^{\text{ТП}}(t) = \frac{t_{\Phi}}{t_{\text{пл}}} \cdot 100 \%. \quad (18)$$

Фактические временные затраты на поставку древесного сырья потребителям предлагаем вычислять согласно выражению

$$t_{\Phi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \left(\frac{(T_c - t_{\text{пз}}) \cdot K_{\text{в}} \cdot Q_{\text{л}}}{120 \left(\frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + t_{\text{пр}} \right)} \right) \cdot \prod_{k_d=1}^K k_d, \quad (19)$$

где T_c – длительность рабочей смены, мин;

$t_{пз}$ – время на подготовительно-заключительные работы, мин;

K_B – коэффициент использования рабочего времени;

$Q_{л}$ – полезная нагрузка на подвижной состав, м³;

$l_{п}$ – среднее расстояние доставки объема l -го вида товарной древесины с i -й лесосеки на j -й склад (прирельсовый участок, потребителю), k -м типом транспорта леса, км;

$v_{п}$ – среднетехническая скорость движения подвижного состава, определяемая в зависимости от категории дорог, по которым осуществляется доставка товарной древесины, км/ч;

$t_{пр}$ – время простоя подвижного состава под погрузкой-разгрузкой, мин;

$\prod_{k_d=1}^K k_d$ – негативное воздействие на сроки поставки товарной древесины интенсивности движения, метеорологических условий, степени ровности дорожного покрытия, неисправности и нероботоспособности техники, неравномерности поставок и т. п.

Если в процессе поставки товарной древесины используются различные категории лесных дорог, требуется отдельное определение фактического времени прохождения подвижного состава по каждой из категорий дорог, затем полученные результаты подлежат суммированию;

г) для оценки социальной устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса предприятия лесной отрасли предлагаем использовать три основных индикатора – стабильность, текучесть и восполнение персонала, занятого в процессе поставки товарной древесины согласно выражению

$$Y_{соц}^{тп}(t) = \sqrt[3]{K^{СК} \cdot K^{ТК} \cdot K^{БК}}, \quad (20)$$

где $K^{СК}(t)$ – коэффициент стабильности кадров;

$K^{ТК}(t)$ – коэффициент текучести кадров;

$K^{БК}(t)$ – коэффициент восполнения кадров, занятых в процессе поставки товарной древесины.

Данные коэффициенты определяются посредством применения следующих выражений:

$$K^{СК}(t) = \frac{Чр^{оп}}{Чр^{сс}} \cdot 100 \%, \quad (21)$$

где $Чр^{оп}$ – численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, отработавших полный период (в основном данный период составляет более 3 лет) в интервал времени $[(t-1); t]$, чел.;

$$K^{ТК}(t) = \frac{Чр^B}{Чр^{сс}} \cdot 100 \%, \quad (22)$$

где $Чр^B$ – численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, уволившихся с предприятия в интервал времени $[(t-1); t]$, чел.;

$$K^{БК}(t) = \frac{Чр^п}{Чр^B} \cdot 100 \%, \quad (23)$$

где $Чр^п$ – численность рабочих, принятых на предприятия в целях реализации работ, связанных с поставкой товарной древесины, в интервал времени $[(t-1); t]$, чел.

Приведенная выше математическая модель реализуется при следующих ограничениях:

– соответствие техническим требованиям (ГОСТ 31507-2012) относительно допустимых скоростей подвижного состава;

– естественное снижение среднетехнических скоростей лесовозных автопоездов

$$\prod_{k_d=1}^K k_d \geq 0; \quad (24)$$

– рациональность расстояния поставки товарной древесины. Эффективное плечо поставки товарной древесины не должно превышать доступное с экономической точки зрения расстояние доставки:

$$l_{п} \leq L_{дост}; \quad (25)$$

– естественная неотрицательность грузопотоков, запасов и кадров:

$$\begin{aligned} Q_{л} &\geq 0; \quad t = 0, \dots, T; \quad k = 1, \dots, K, \\ l &= 1, \dots, L, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n, \\ Чр^в, Чр^{кв}, Чр^{св}, Чр^п, Чр^{оп} &\geq 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Математическая модель дает возможность поиска точки компромиссного оптимума между эффективностью, результативностью и устойчивостью процесса при оценке оптимальности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая математическая модель позволяет оценить эффективность, результативность и устойчивость функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины на многокритериальной основе:

– выполнить расчеты изменения уровня устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины при воздействии на данный процесс внешних и внутренних дестабилизирующих факторов;

– рассчитать соотношение общих плановых и фактических затрат, связанных с реализацией процесса поставок товарной древесины;

– всесторонне оценить соотношение планируемых результатов хозяйственной деятельности в процессе поставок товарной древесины и затрат, связанных с получением данных результатов;

– определить оптимальный уровень страховых запасов товарной древесины и других материальных ресурсов для обеспечения устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины;

– выявить точку компромиссного оптимума между запасом надежности процесса поставки и оптимизационными мероприятиями, направленными на снижение как финансовых, так и временных затрат, связанных с поставкой товарной древесины;

– дать количественную оценку качественным критериям оптимальности.

Разработанная модель позволяет адаптивно управлять процессом поставок в различных вариантах сопряжения технологических аспектов и природно-климатических условий производственной среды. В целом представленная методология достаточно универсальна, информативна и удобна в практическом применении. Она позволяет на многокритериальной основе обеспечить качественное принятие управленческих решений, направленных на достижение эффективности, результативности и устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины в условиях динамики и стохастичности производственной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аткинсон Э. А., Банкер Р. Д., Каплан Р. С., Янг М. С. Управленческий учет. СПб.: Диалектика, 2019. С. 564–565.
- ГОСТ 31507-2012 Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 51 с.
- Григорян Е. С. Классификация видов устойчивости предприятия // Концепт. 2015. № 3. 6 с.
- Дороги лесные. Правила проектирования и строительства. Свод правил СП 288.1325800.2016. М.: Минстрой России, 2016. 111 с.
- Дороги лесные. Правила эксплуатации. Свод правил СП 318.1325800.2017. М.: Минстрой России, 2017. 82 с.
- Коняшова А. В. Показатели оценки функциональных составляющих экономической устойчивости развития предприятия // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 8 (299). С. 123–128.
- Медведев С. О., Мохирев А. П., Мохирева И. Х., Гудень Т. С. Комплексный подход к оценке деятельности лесопромышленных предприятий // Фундамент. иссл. 2019. № 12. С. 104–108.
- Мезенина О. Б., Камалова О. Ф., Сахончик О. А. Формирование системы показателей оценки эффективности использования земель лесного комплекса // Леса России и хоз-во в них. 2014. № 4 (51). С. 60–67.
- Мохирев А. П., Герасимова М. М., Позднякова М. О. Анализ структуры затрат на транспортировку древесины и их сезонной динамики // Лесотех. журн. 2020. № 2. С. 123–133.
- Папонов Н. Н. Стадийное повышение эксплуатационно-экологического уровня лесовозных автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж: Воронеж. гос. лесотех. акад., 1997. 15 с.

- Чижев Г. Командообразование. Результативность и эффективность работы менеджеров. 2017. <https://ppt-online.org/689651>
- Шаин В. А. Повышение эффективности международных перевозок древесины: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск: Петрозаводск. гос. ун-т, 2017. 158 с.
- Шурыгина О. В. Экологические затраты как экономическая и учетная категории // Вестн. СибГАДА. 2013. Вып. 4 (32). С. 171–178.
- Cardona-Valdes Y., Alvarez A., Ozdemir D. A bi-objective supply chain design problem with uncertainty // Transport. Res. Part C: Emerg. Technol. 2011. V. 19. Iss. 5. P. 821–832.
- El-Sayed M., Afa N., El-Kharbotly A. A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk // Comput. Industr. Engineer. 2010. V. 58. Iss. 3. P. 423–431.
- Fahimnia B., Sarkis J., Davarzani H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis // Int. J. Product. Econ. 2015. V. 162. P. 101–114.
- Movahedipour M., Yang M., Zeng J., Wu X., Salam S. Optimization in supply chain management, the current state and future directions: A systematic review and bibliometric analysis // J. Industr. Engineer. Manag. 2016. V. 9. N. 4. P. 933–963.
- Nooraie S. V., Parast M. M. Mitigating supply chain disruptions through the assessment of trade-offs among risks, costs and investments in capabilities // Int. J. Product. Econ. 2016. V. 171. Part 1. P. 8–21.

TOWARDS ASSESSING THE EFFICIENCY OF MANAGING THE COMMERCIAL TIMBER SUPPLY SYSTEM

I. M. Enaleeva-Bandura¹, A. N. Baranov¹, S. A. Brovkin¹, I. V. Grigoriev², R. N. Kovalev^{3, 4}

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
Prospekt Krasnoyarskiy rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation

² Arctic State Agrotechnological University
Sergelyakhskoe shosse, 3/3, Yakutsk, Republic of Sakha, 677007 Russian Federation

³ Ural State Forest Engineering University
Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

⁴ Ural State Agrarian University
Karl Liebknecht Str., 42, Yekaterinburg, 620075 Russian Federation

E-mail: melnikov1978@inbox.ru, aleksandr-baranov-55@mail.ru, worb1@mail.ru, silver73@inbox.ru, kovalevrn@m.usfeu.ru

The article analyzes and updates the features of the functioning of the transport and technological system for the supply of commercial wood and supply chain management, and identifies the main parameters for optimizing the supply chain management system for commercial wood to ensure the efficiency of the process. A multi-criteria approach to assessing the efficiency of the transport and technological process of supplying commercial timber is proposed due to the inconsistency of the main indicators that determine its effectiveness. A mathematical model has been developed for a complex multi-criteria assessment of the efficiency of the transport and technological process of supplying commercial wood, based on: methods of linear and dynamic programming, stochastic and economic-mathematical modeling, elements of statistical and economic analysis. The combination of the mentioned modeling methods allows the model to be quite simple and reliable in practical application, as well as adaptive to the changing external conditions of the production environment. The methodological development is presented with a detailed description of all the dependencies included in it, and the advantages of its application are noted.

Keywords: *transport and technological process, wood, mathematical model, multi-criteria assessment of process efficiency.*

How to cite: *Enaleeva-Bandura I. M., Baranov A. N., Brovkin S. A., Grigoriev I. V., Kovalev R. N. Towards assessing the efficiency of managing the commercial timber supply system // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 101–112 (in Russian with English abstract and references).*