

С.М. Базаров, Ю.И. Беленький, А.Н. Соловьев

**ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОЦЕССОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Введение. Повышение производительности труда в лесной отрасли зависит от того, насколько научные основы теории самоорганизующихся систем, кибернетики, многофакторного анализа, оптимального управления, вариационных принципов, математической и экономической статистики, современных навигационных систем и др. используются при формировании технологий, контроле и управлении сложными, глубоко интегрируемыми процессами в производственном пространстве-времени.

Базовым представлением лесной отрасли народного хозяйства является система – единая функционально связанная пространственно-временная структура сложных технологических процессов производства и перемещения древесины от мест ее произрастания до потребителей продукции предприятий.

Тактика и стратегия повышения производительности труда в данной отрасли связаны с необходимостью оптимизации многоступенчатых процессов в целом как единых глубоко интегрированных структур в совместном функциональном пространстве-времени.

Дифференцированный подход к оптимизации отдельных процессов является необходимым, но недостаточным условием устойчивого развития отрасли в целом; его необходимо сочетать с интегрированной технико-экономической эффективностью.

Принципы представления технической эффективности лесозаготовительного производства в функциональном пространстве-времени лесосеки [Базаров и др., 2014] естественным образом проецируются на последующие лесотранспорт, лесопромышленные и деревоперерабатывающие предприятия и т. д., чтобы раскрыть технико-экономическую динамическую картину состояния отрасли в целом и решить проблему повышения ее производительности труда как важной составляющей народного хозяйства.

Последовательно выполняемые операции производства и перемещения лесоматериалов на лесосеке, транспорте и лесопромышленном предпри-

ятии образуют единую динамическую, многоступенчатую, функционально связанную пространственно-временную структуру, нацеленную на оптимальное выполнение своей целевой функции – устойчивое гармоническое развитие в сложных условиях динамического рынка народного хозяйства.

Лесное машиностроение на рынке представлено широким спектром машин, механизмов и оборудования лесозаготовки–транспорта–переработки: бензиномоторные пилы, валочные и валочно-пакетирующие машины, трелевочные трактора, многооперационные машины, сортиментовозы, процессоры, рубительные машины для измельчения вторичного сырья, лесовозные автомобили, круглопильные станки, лесопильные рамы и др.

Поэтому при формировании технологий особую важность приобретает принцип согласованности последовательно выполняемых производственных операций с возможным исключением межоперационного складирования продукции, простоя техники и т. д.

Методика и результаты исследования. Рациональное планирование, организацию, управление и контроль процессов производства и передвижения материальных потоков и сопутствующих финансовых, юридических, информационных и др. от первичного сырья до конечного потребителя, формулирует логистика. В лесной отрасли логистика формируется как суперпозиция двух подлогистик: лесопромышленной (от древесного сырья до потребителей) и лесовоспроизводимой (от потребителей до воспроизводства леса).

Поэтому в лесной отрасли основной логистики становится принцип цикличности производства, переработки и воспроизводства древесины леса.

В естествознании присутствует представление внешнего пространства-времени и внутреннего (функционального) пространства-времени: первое является внешним измерителем процессов, оно входит в процессы общей параметрической формой; второе становится функциональной составляющей процессов (сколько процессов, столько функциональных времен-пространств) и представляется функцией (функционалом).

Исследование сложных производственных систем следует рассматривать как суперпозицию их поведения во внешнем и внутреннем пространстве-времени. Измерителями динамических процессов во внешнем пространстве-времени, в котором выполняются технологические операции, являются приборы времени (астрономического) и длины (геометрической).

Внутреннее пространство-время производственных процессов становится функциональным измерителем единиц продуктов производства, пе-

ремещения, ресурсов и др., обладая свойством аддитивности, в нем становится возможным формулировать наиболее информативные критерии эффективности системы в целом.

Следует отметить, что внешнее и внутреннее (функциональное) пространство-время являются сопряженными и дополняющими друг друга, образуя единое пространство-время технологических процессов.

Принцип быстродействия в функциональном пространстве-времени сложного производственного процесса формулируется как необходимость максимальной синхронизации последовательно выполняемых операций, минимального времени перехода от одной операции к другой, минимального значения дисперсии статистических колебаний параметров состояния выполняемых операций и др.

Понятие «система» является базовым в народном хозяйстве, ее динамическое развитие определяется способностью раскрытия картины представления пространства-времени, в котором выполняются процессы, и принципа гармонизации.

В производственно-экономических системах на основе астрономического времени приняты следующие единицы измерений:

- предметов труда – м³/ч, м²/ч, шт./ч и др.,
 - перемещения – м/с, км/ч,
 - мощности – кВт·ч/ч,
 - финансов – руб./ч,
- и др.

Здесь в знаменателе единицы измерений – внешний параметр по отношению к процессу – единица астрономического времени, общая для всех структур, составляющих систему, а числитель (предмет труда, энергии, финансы и др.) – функционален и определяется статистическим детерминизмом выполнения производственных процессов во внешнем времени.

Система (в математическом представлении) становится системой, когда в ней выполняется групповая операция, т. е. она состоит из двух симметричных подгрупп, связанных групповой операцией, и единицы группы. Группа в системе – это носитель ее гармонии, т. е. целостности в суперпозиции свойств противоположных элементов.

Продукция в производственных и финансово-экономических системах выражается в рациональных числах (Q). Известно, что отличные от нуля рациональные числа образуют группу по умножению:

$$q \in Q/0, \quad q q^{-1} = 1.$$

Поэтому продукцию системы на единице внешнего времени (предмет труда/ч, руб./ч и др.) можно рассматривать как полугруппу группы и построить ей в соответствие симметричную (по отношению к групповой операции) полугруппу $q \rightarrow q^{-1}$.

Это означает, что единицам измерения во внешнем пространстве-времени в системе с представленной групповой операцией соответствуют симметричные единицы: ч/м³, ч/м², ч/шт. и др.; с/м, ч/км; ч/кВт·ч; ч/руб. и др.

Здесь время характеризует время производства единицы труда, перемещения, производства энергии, финансовых затрат и др. в системе, оно зависит от процесса и становится его функциональной составляющей.

Единицы измерения во внешнем (астрономическом) и внутреннем (функциональном) временах являются симметричными относительно данной групповой операции: (м³/ч) (ч/м³) = 1; (м²/ч) (ч/м²) = 1, (м/ч) (ч/м) = 1, (кВт·ч/ч) (ч/кВт·ч) = 1; (руб./ч) (ч/руб.) = 1 и др.

Хотя внешнее время и внутреннее время в производственных процессах измеряются в одних единицах, у них различная информационная нагрузка: первое определяет единицу времени, которое не зависит от хода протекания процесса, а второе является следствием его выполнения.

Системы в народном хозяйстве работают в суперпозиции внешнего (астрономического) времени и внутреннего (функционального) времени, последнее должно дополнять первое (и наоборот), выстраивая гармоничное (целостностное) развитие, поэтому анализ их эффективности должен выполняться одновременно в мультипликативно сопряженных временах.

С рассматриваемых позиций становится возможным эффективный технико-экономический анализ лесопромышленного и деревоперерабатывающего производств как единой динамической системы лесной отрасли (от сырья до потребителя и обратно) и выстраивать тактику и стратегию устойчивого гармоничного развития.

При переходе от внешнего пространства-времени технологического процесса к функциональному пространству-времени происходит отображение представления критериев оптимизации: экстремальным интегральным функционалам операций производства и перемещения во внешнем пространстве-времени ставится в соответствие суммирование функционального времени всех выполняемых операций.

В функциональном технологическом пространстве-времени принцип максимума производства и энергосбережения формулируется как высокая степень синхронизация функционального времени производства единиц продукции, перемещения и энергии в последовательно выполняемых операциях.

Специфика производства и перемещения лесоматериальных и финансовых потоков приводит к необходимости формулирования своих наиболее информативных системно-динамических критериев эффективности процессов в функциональном пространстве-времени: производительности, мощности, технологической скорости, себестоимости и их удельных характеристик как для отдельных операций, так и для системы в целом.

Множество критериев образуют многомерное функциональное пространство, векторы которого характеризуют технико-экономическую эффективность лесопромышленного производства в целом.

Производительность. Обобщенная формула производительности лесозаготовительных машин, механизмов, оборудования и лесовозных автомобилей имеет вид [1]

$$\Pi = V_x / t_x, \quad (1)$$

где V_x – средний объем хлыста, определяемый по таксационным характеристикам лесосеки; t_x – время выполнения технологической операции.

Согласно формуле (1) средний объем хлыста становится постоянным параметром (инвариантом) всего непрерывного технологического цикла производства лесоматериалов и их перемещения как на лесосеке, так и при последующих транспортировке и переработке в лесопромышленном предприятии.

Производительность цикла последовательно выполняемых операций комплексом равна

$$\Pi_c = V_x / \sum t_{xi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2)$$

здесь n – число последовательно выполняемых операций.

При непрерывном процессе производства эффективная производительность технологии равна

$$\Pi_{\text{сн}} = n V_x / \xi_x \sum t_{xi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3)$$

где $\xi_x \geq 1$ – характеризует стохастичность производственного процесса.

Из (1) следует функциональное время производства хлыста

$$t_x = V_x / \Pi \quad (4)$$

и суммарное время цикла производственных операций

$$T = \sum t_{xi} = V_x \sum (1 / \Pi_i) = V_x \sum \tau_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (5)$$

Здесь функциональное время производства единицы объема в технологической операции

$$\tau_i = 1 / \Pi_i. \quad (6)$$

Производительность цикла выполняемых операций

$$\Pi_{\text{ци}} = 1 / \sum \tau_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

и при непрерывном производстве

$$\Pi_{\text{ци}} = n / \xi_x \sum \tau_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (8)$$

Таким образом, статистически детерминированная сумма функциональных времен производства единицы объема в операциях технологического процесса характеризует производительность системы.

Эффективность производительности процесса в целом следует оценивать коэффициентом

$$K_{\text{п}} = \Pi_{\text{ци}} / \sum \Pi_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (9)$$

Мощность. Согласно исследованиям [1] эффективную мощность комплекса машин последовательного производства необходимо определять формулой

$$N_c = 1 / \xi_M \sum \tau_{mi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

и комплекса

$$N_c = n^2 / \xi_M \sum \tau_{mi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (10)$$

где $\tau_{mi} = N_i^{-1}$ – функциональное время затраты единицы энергии в i -й операции; N_i – мощность, представленная как энергия в единицу времени.

Энергетическую эффективность процесса можно оценивать коэффициентом

$$K_{\text{м}} = N_c / \sum N_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (11)$$

Технологическая скорость. Средний объем хлыста можно записать в виде

$$V_x = S_x L_x, \quad (12)$$

где S_x – площадь поперечного сечения хлыста, осредненная по его длине L_x .

Согласно (1) и (12) длина хлыста наряду со средним объемом хлыста является также инвариантным параметром в технологическом процессе.

Поэтому можно ввести представление технологической скорости производства и перемещения выполняемых операций как кинематического параметра в функциональном пространстве производственного процесса:

$$U_x = L_x / t_x = \Pi_x / S_x. \quad (12, a)$$

Обратная величина технологической скорости производства (перемещения)

$$t_x = 1 / U_x \quad (13)$$

является функциональным параметром состояния технологической операции, который определяет время производства (перемещения) единицы длины лесопродукции на технологическом пути.

Суммарное функциональное время технологического цикла производства (перемещения) единицы длины равно

$$T_x = \sum t_{xj}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (14)$$

где n – число операций в технологическом процессе.

При непрерывном процессе функциональное время производства единицы длины определяется с учетом стохастичности процесса

$$T_x^* = \xi_{\text{к}} T_x / n. \quad (15)$$

Технологическая скорость дискретных циклов равна

$$U_{\text{ц}} = 1 / T_x. \quad (16)$$

При непрерывном производстве на лесосеке технологическая скорость процесса равна

$$U = 1 / T_x^* = U_{\text{ц}} n. \quad (17)$$

Эффективность технологической скорости производственного процесса можно оценить коэффициентом

$$K_{\text{к}} = U / \sum U_{xi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (18)$$

Себестоимость. Функциональное время себестоимости выполняемой технологической операции определяет время выполнения технологической операции при затрате финансовой единицы

$$c_i = 1 / C_i, \quad (19)$$

где C_i – стоимость операции в единицу времени.

Суммарное функциональное время реализации производства (перемещения) системой равно

$$c_{\text{е}} = \sum c_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (20)$$

Функциональное время выполнения технологических операций в системе

$$c = c_{\text{е}} / n, \quad (21)$$

тогда себестоимость процесса в функциональном финансовом времени

$$C_{\text{ф}} = n / c. \quad (22)$$

Финансовую эффективность системы в целом следует оценивать коэффициентом

$$K_{\Phi} = C_{\Phi} / \sum C_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (23)$$

Удельные характеристики:

- удельная производительность $p = P_{\text{сн}} / N_c$,
- удельная скорость $v = U / N_c$,
- удельная себестоимость $c_{\Phi} = C_{\Phi} / N_c$.

Выводы. В результате системного анализа технико-экономической эффективности процессов в лесопромышленном производстве сформулировано функциональное (внутреннее) пространство-время производства, перемещения и финансовых затрат, размерность которого составляют построенные основные безразмерные критерии эффективности: производительности, мощности, технологической скорости и финансовых затрат.

Поэтому обобщенную технико-экономическую эффективность лесопромышленных процессов можно характеризовать длиной вектора в четырехмерном функциональном пространстве, построенном на функциональном пространстве-времени производственных операций:

$$E = (K_{\text{п}}^2 + K_{\text{м}}^2 + K_{\text{к}}^2 + K_{\text{ф}}^2)^{1/2}. \quad (24)$$

При многовариантности формирования лесопромышленных технологий выполненные исследования, дополненные методами нечеткой логики, могут служить основой решения задачи их оптимального построения.

Библиографический список

Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Системно-синергетический анализ технологий лесозаготовительного производства. СПб.: Изд-во СПбГЛУ, 2014. 92 с.

Bibliography

Bazarov S.M., Belenkiy Yu.I., Soloviev A.N. Systemno-synergeticheskiy analys technology lesosagotovitel'nogo proizvodstva. SPb., 2014. 92 p. (Rus)

Материал поступил в редакцию 02.06.2016 г.

Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Основы системного анализа технико-экономической эффективности процессов лесопромышленного производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 216. С. 112–122. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.112-122

Представление работы комплексов лесной техники как динамической системы, связанной функциональным временем производства, является необходимым условием устойчивого развития отрасли. Внешнее (физическое) время и внутреннее (функциональное) время в многоступенчатых процессах являются сопряженными и дополняющими друг друга, образуя единое время производственных процессов: первое является одновременным в подсистемах системы, его ход не зависит от протекания процессов; второе становится функциональной составляющей предметов труда (сколько процессов – производственных, транспортных, информационных, финансовых и др., столько функционального времени) подсистем системы. Процессы параметризуются в физическом времени, а их производственная связанность – в функциональном. Важным свойством функционального времени является его аддитивность, что позволяет последовательно исследовать эффективность выполняемых операций. Благодаря групповой операции связанности представленного времени, становится возможным исследовать эффективность работы лесотехнических комплексов как глубоко интегрированных структур, связанных принципом сочетания целостности и аналитичности (гармонии): целостность выстраивается в функциональном времени, а аналитичность – в физическом. Принцип быстрогодействия в функциональном пространстве-времени сложного производственного процесса представлен в аналитической форме и формулируется как необходимость максимальной синхронизации выполняемых операций, минимального времени перехода между ними, минимального значения дисперсии статистических колебаний параметров состояния. Одними из основных представительных параметров состояния производственной системы являются: производительность, мощность, технологическая скорость и себестоимость, определяемые в функциональном пространстве-времени процессов; они несут наибольшую информативность о ее технико-экономической эффективности. Для обобщенного представления эффективности вводятся коэффициенты – как отношение параметров состояния, определяемых в функциональном времени, к их значению во внешнем (физическом) времени; по их числу строится четырехмерное обобщенное функциональное пространство, длина вектора в котором является количественной оценкой многофакторной эффективности лесопромышленных процессов.

Ключевые слова: функциональное время-пространство, оптимизация, гармония, производительность, синхронизация.

Bazarov S.M., Belenkiy Yu.I., Soloviev A.N. Fundamentals of analysis technical and economic efficiency process timber production. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoy Akademii*, 2016, is. 216, pp. 112–122 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.112-122

Representation of work of complexes of forest equipment as the dynamic system connected by functional time of production is a necessary condition of a sustainable development of branch. External (physical) and internal (functional) times in multistage processes are interfaced and supplementing each other, forming uniform time of productions: the first is simultaneous in subsystems of system, its course doesn't depend on course of processes; the second becomes a functional component of objects of the labor (how many processes: production, transport, information, financial, etc.,-there are so much functional times) subsystems of system. Processes are parameterized in physical time, and their production coherence in the functional. Important property of functional time is its additivity that consecutive research of efficiency of the carried-out operations allows. Thanks to group operation of coherence of the presented times, becomes possible to investigate overall performance of timber complexes as deeply integrated structures, the connected principle of a combination of integrity and analyticity (harmony): integrity is built in functional time, and analyticity in the physical. The principle of speed in functional space time of difficult production is presented in an analytical form and the minimum value of dispersion of statistical fluctuations of parameters of a state is formulated as need of the maximum synchronization of the carried-out operations, the minimum time of transition between them. One of the key representative parameters of a condition of a production system are: productivity, power, technological speed and prime cost defined in functional space time of processes they bear the greatest informational content about its technical and economic efficiency. For a general concept of efficiency coefficients as the relation of the parameters of a state determined in functional time to their value in external (physical) time are entered; on their number the 4-dimensional generalized functional space vector length in which is a quantitative assessment of multiple-factor efficiency of timber industry processes is under construction.

Key words: functional time-space, optimization, harmony, productivity, sync.

БАЗАРОВ Сергей Михайлович – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: s.bazarow@yandex.ru

BAZAROV Sergey M. – DSc (Technical), Professor of «Technology of logging industries» department, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: s.bazarow@yandex.ru

БЕЛЕНЬКИЙ Юрий Иванович – ректор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: klp.by@mail.ru

BELENKIY Yuriy I. – DSc (Technical), Professor of «Technology of logging industries» department, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: klp.by@mail.ru.

СОЛОВЬЕВ Александр Николаевич – заведующий кафедрой «Геодезия, землеустройство и кадастры» Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, кандидат технических наук, доцент.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: spb.soloviev@mail.ru

SOLOVIEV Alexandr N. – PhD (Technical), associate professor, head of «Geodesy and civil engineering» department, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: spb.soloviev@mail.ru.