

## Системная связность многооперационных процессов в лесном комплексе

Ю.И. Беленький<sup>1а</sup>, В.А. Иванов<sup>2б</sup>, В.А. Соколова<sup>1с</sup>, А.В. Попова<sup>1д</sup>

<sup>1</sup> Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup> 2000zalom@gmail.com, <sup>б</sup> Ivanovva55@mail.ru, <sup>с</sup> sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>д</sup> popova@spask.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4170-3664>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0009-0001-7516-7636>

Статья поступила 04.10.2024, принята 11.11.2024

*Для оптимизации лесопромышленной логистики необходимо проводить системный анализ всего процесса производства, начиная с вырубki древесины в лесу и заканчивая доставкой готовой продукции потребителям. Важными аспектами являются обеспечение эффективного управления потоками материалов, оптимизация транспортных маршрутов, сокращение времени и затрат на перевозки, а также минимизация потерь и поврежденных материалов в процессе перемещения. Оптимизация функционирования этой системы в производственном пространстве – времени ассоциируется с выполнением основных принципов логистики. Для оптимизации производства и перемещения лесопромышленных потоков необходимо учитывать различные аспекты, такие как лесорубка, транспортировка, производство и переработка древесины, а также управление лесными ресурсами и охрана окружающей среды. Использование системного анализа позволяет учитывать все эти аспекты и разрабатывать комплексные стратегии управления лесопромышленными потоками, которые будут сбалансированными и оптимальными с точки зрения достижения поставленных целей и задач. В работе проведено исследование, которое формулирует критерии эффективности лесопромышленных логистических материальных и энергетических потоков в целом: технологическая производительность и мощность в функциональном пространстве – времени связности производственного процесса. Представленные формулы раскрывают взаимосвязь и взаимозависимость функционального времени и функционального пространства в логистическом материальном потоке (производство, перемещение и складирование) технологического лесопромышленного производства. При эффективном решении задачи управления логистическими потоками следует различать внешнее пространство – время, в которых они протекают, и внутреннее функциональное пространство – время связности. Каждому специфическому потоку соответствует своя функциональная связность технологических операций. Это означает, сколько логистических потоков (материальных, энергетических, финансовых, информационных и др.) сопровождают перемещения продуктов производства и потребления в народно-хозяйственном пространстве – времени, столько видов функциональной связности (многомерность) формируется в логистической системе как единой целостной структуре. В этой связи построение наиболее информативных критериев функциональной связности, позволяющих ставить и решать задачу оптимизации, является актуальным.*

**Ключевые слова:** время; перемещение; функциональность; поток; мощность; производительность; себестоимость.

## Systemic connectivity of multi-operational processes in the forestry complex

Yu.I. Belenkii<sup>1а</sup>, V.A. Ivanov<sup>2б</sup>, V.A. Sokolova<sup>1с</sup>, A.V. Popova<sup>1д</sup>

<sup>1</sup> Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4, Ivan Chernykh St., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup> 2000zalom@gmail.com, <sup>б</sup> Ivanovva55@mail.ru, <sup>с</sup> sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>д</sup> popova@spask.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4170-3664>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0009-0001-7516-7636>

Received 04.10.2024, accepted 11.11.2024

*To optimize forestry logistics, it is necessary to conduct a systematic analysis of the entire production process, starting from cutting down wood in the forest and ending with the delivery of finished products to consumers. An important aspect is to ensure the effective management of material flows, optimization of transport routes, reducing transportation time and costs, as well as minimizing losses and damage to materials during the movement process. Optimizing the functioning of this system in production space-time is associated with the implementation of the basic principles of logistics. To optimize the production and movement of forest products, various aspects must be taken into account, such as logging, transportation, wood production and processing, as well as forest management and environmental protection. The use of system analysis makes it possible to take into account all these aspects and develop comprehensive strategies for managing timber flows that will be balanced and optimal in terms of achieving set goals and objectives. The work carried out a study that formulates criteria for the effectiveness of forestry logistics material and energy flows in general: technological productivity and power in the functional space-time connectivity of the production process. The presented formulas reveal the relationship and*

*interdependence of functional time and functional space in the logistics material flow (production, movement and warehousing) of technical and technological forestry production. When effectively solving the problem of managing logistics flows, one should distinguish between the external space-time in which they flow and the internal functional space-time of connectivity. Each specific flow has its own functional connectivity of technological operations. This means how many logistics flows (material, energy, financial, information, etc.) accompany the movement of production and consumption products in national economic space-time, how many types of functional connectivity (multidimensionality) are formed in the logistics system as a single integral structure. In this connection, the construction of the most informative criteria for functional connectivity, which allows one to pose and solve the optimization problem, is relevant.*

**Keywords:** time; movement; functionality; flow; power; productivity; cost.

**Введение.** Логистика в лесной отрасли играет важную роль, так как она обеспечивает эффективную организацию производства, складирования, транспортировки и распределения лесоматериалов. Применение принципов логистики позволяет минимизировать издержки, оптимизировать процессы и повысить качество продукции [1; 2].

С использованием методов системного анализа и математической статистики возможно проводить анализ эффективности производства, прогнозировать спрос на продукцию, оптимизировать запасы и контролировать качество продукции. Также применение современных технологий, таких как системы автоматизации и управления, позволяет улучшить производственные процессы и сделать их более надежными.

Таким образом, использование научных подходов и современных технологий в лесной отрасли способствует устойчивому развитию отрасли, повышению производительности труда и конкурентоспособности предприятий на мировом рынке.

Логистика включает в себя такие процессы, как закупка, хранение, перевозка, обработка, упаковка и распределение товаров. Ее основная цель — обеспечить эффективное функционирование цепочки поставок и минимизировать издержки на каждом этапе процесса производства и доставки продукции. Логистика является важным аспектом успешной деятельности любой компании и оказывает значительное влияние на ее конкурентоспособность на рынке.

Военная логистика, например, занимается организацией снабжения вооруженных сил во время боевых действий, их техническим и медицинским обеспечением, поддержанием боеспособности и мобильности войск. Бизнес-логистика включает в себя управление потоком материальных, информационных и финансовых ресурсов в рамках коммерческой деятельности предприятия.

Транспортная логистика фокусируется на оптимизации транспортных процессов, выборе оптимальных маршрутов и транспортных средств для доставки грузов. Информационная логистика ориентирована на управление информационными потоками в рамках организации, обеспечение оперативной передачи и анализа данных для принятия управленческих решений.

Экологическая логистика занимается уменьшением негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду, эффективным использованием ресурсов и снижением экологического следа. Каждая из этих областей логистики имеет свои особенности, но строится на общих принципах оптимизации процессов, управления рисками и обеспечения устойчивого развития [3–8].

Логистика в лесопромышленном комплексе играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития отрасли. Ее правильная организация позволяет оптимизировать процессы и ресурсы, сокращать издержки, повышать качество продукции и обеспечивать устойчивость всей системы.

С учетом специфики лесопромышленного комплекса, где основными ресурсами являются леса и древесина, логистика играет особенно важную роль в обеспечении устойчивости использования этих ресурсов. Это включает в себя эффективную транспортировку лесоматериалов, оптимизацию производственных процессов, управление запасами и складированием сырья и готовой продукции, а также контроль над процессами обработки и производства.

Таким образом, развитие логистики в лесопромышленном комплексе напрямую связано с обеспечением устойчивого использования лесных ресурсов, повышением эффективности производственных процессов и созданием условий для экономического и экологического развития отрасли в целом.

**Методы исследования.** При «системном подходе» подчеркивается необходимость рассматривать логистику как динамическую многоступенчатую структуру в ее целостности и взаимной связности всех элементов. Задачей системного анализа становится построение математической модели единой функциональной связности всех логистических потоков и критериев оптимизации.

Для оптимизации производства и перемещения лесопромышленных потоков необходимо учитывать следующие аспекты:

1. Сбалансированное производство. Необходимо учитывать не только объемы производства, но и его качество, а также эффективность использования ресурсов. Для этого важно оптимизировать процессы производства и выбирать подходящие технологии.

2. Логистика. Эффективное перемещение лесопромышленной продукции требует хорошо спланированной и организованной логистики. Необходимо учитывать различные виды транспорта, складские хранилища, промежуточные точки и т. д.

3. Информационная поддержка. Важно иметь доступ к актуальным данным о состоянии лесопромышленных потоков, чтобы принимать обоснованные решения. Использование современных информационных технологий позволяет эффективно управлять производством и логистикой.

4. Безопасность и надежность. При производстве и перемещении лесопромышленной продукции необходимо соблюдать стандарты безопасности и обеспечивать надежность всех этапов процесса. Это важно как для защиты окру-

жающей среды, так и для обеспечения безопасности работников.

5. Управление рисками. При производстве и перемещении лесопромышленных потоков необходимо учитывать различные риски, связанные с природными явлениями, техническими сбоями, изменениями законодательства и т. д. Управление рисками помогает минимизировать потенциальные угрозы и обеспечивать стабильность производства.

При построении математической модели связности системы следует различать параметры состояния ее элементов во внешнем пространстве – времени и пара-

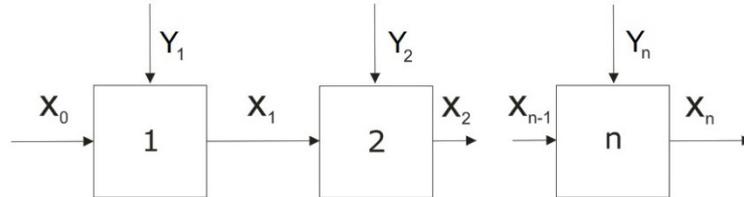


Рис. Простой многоступенчатый процесс:  $X_{n-1}$  — операция производства предыдущей степени;  $X_n$  — операция производства ступени;  $Y_n$  — управление в ступени

Производственному процессу в технологическом пространстве-времени ступени можно поставить в соответствие общее функциональное представление зависимости объема древесины от времени и перемещения:

$$V_i = f_i(t, x) \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

где  $V_i$  — объем лесоматериала в операции;  $t$  — время выполнения операции;  $x$  — пространственное перемещение при выполнении операции;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  — номер операции в системе производства.

Из (1) следует, что эффективность многоступенчатого процесса определяется его ходом во времени  $df_i/dt$  и производственном перемещении  $df_i/dx$ .

С позиции системного анализа формулируются наиболее информативные критерии эффективности логистических потоков — материальных (производительность), энергетических (мощность), финансовых (себестоимость) и информационных (информация).

**Производительность.** Операционная производительность может быть увеличена за счет оптимизации процессов, обучения персонала, использования новых технологий и оборудования. Увеличение производительности позволяет повысить эффективность производства, снизить затраты на производство и увеличить прибыльность предприятия. Производительность операции также может зависеть от различных факторов, таких как качество сырья, квалификация персонала, состояние оборудования, условия труда и др. Поэтому для повышения производительности необходимо учитывать все эти аспекты и проводить комплексные мероприятия по их оптимизации. Таким образом, производительность операции играет важную роль в эффективности производства и является ключевым параметром для достижения поставленных целей и задач предприятия.

При непрерывном характере выполнения операции она рассматривается как скорость производства (перемещения):

$$dV_i / dt = \Pi_i, \quad (2)$$

метры состояния в целом, формируемые в едином функциональном пространстве – времени. Принцип гармонии (целостность) системы реализуется на основе теории групп (полугрупп).

**Результаты исследования.** Представление лесопромышленного производства в виде простого многоступенчатого процесса показано на рисунке [1].

Предметом труда в лесопромышленном производстве является лесоматериал, каждая производственная ступень является суперпозицией технологических и переместительных (складирование) операций.

а при дискретном определяется по формуле:

$$\Delta V / \Delta t, \quad (2a)$$

здесь  $\Delta V$  — объем обрабатываемого (перемещаемого) лесоматериала за время  $\Delta t$ .

Из формулы (2a) видно, что если операция занимает определенное количество времени, то производительность операции будет обратно пропорциональна этому времени.

Увеличивая время выполнения операции, мы уменьшаем производительность, а сокращая время выполнения операции, увеличиваем производительность. Это основополагающий принцип работы многих процессов и систем как в технической, так и в человеческой деятельности [9; 10].

Данная производная отражает скорость производства определенного объема материала в системе производства. Она позволяет оценить эффективность процесса производства и управлять временем, необходимым для выполнения определенных операций. Важно учитывать, что время производства может изменяться в зависимости от конкретных условий и задач, поэтому необходимо постоянно анализировать и оптимизировать процессы производства с позиции функционального времени производства (перемещения) единицы продукции:

$$dt / dV_i = 1 / \Pi_i = q_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

здесь  $q_i$  — функциональное время операции в  $i$ -й ступени.

Производительность операции (2) и ее функциональное время (3), образуют мультипликативную по умножению группу:

$$\Pi_i q_i = 1, \quad (4)$$

где  $\Pi_i$  — производительность;  $q_i$  — функциональное время.

Функциональные времена операций образуют аддитивную полугруппу по сложению, связывающую все

процессы производства в единую интеграционно-временную структуру:

$$Q = q_1 + q_2 + \dots \quad (5)$$

Производная:

$$dV_i / dx = \Pi_{xi}, \quad (6)$$

как своего рода пространственная производительность определяет эффективность использования технологического пространства для производства, перемещения или складирования лесоматериала. Этот параметр позволяет оценить, как много древесины можно получить или переместить за определенное время и на каком расстоянии она будет распределена в пространстве. Увеличение пространственной производительности операции позволяет увеличить объем производства при заданных условиях технологического пространства, что приводит к повышению эффективности производства лесоматериалов [11–13].

Пространственная производительность операции позволяет учитывать количество и качество перемещений материалов, что важно для оптимизации производственных процессов и улучшения производительности:

$$dt / dV_x = 1 / \Pi_{xi} = q_{xi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Пространственная производительность операции и ее функциональное пространство образуют мультипликативную по умножению группу:

$$\Pi_{xi} q_{xi} = 1. \quad (8)$$

здесь  $\Pi_{xi}$  — пространственная производительность;  $q_{xi}$  — функциональное пространство.

Функциональные пространства операций образуют аддитивную полугруппу по сложению, связывающую все процессы производства в единую пространственно-интеграционную структуру:

$$Q_x = q_{x1} + q_{x2} + \dots \quad (9)$$

Таким образом, внешнему технологическому времени:

$$T = t_1 + t_2 + \dots \quad (10)$$

где  $t_i$  — время операции, характеризующее технические параметры состояния в операции; ему ставится в соответствие внутреннее функционально-временное:

$$Q_x = q_1 + q_2 + \dots \quad (11)$$

или в отображении:

$$t : T \rightarrow Q.$$

На основании (11) производительность системы в ее функциональном времени связности равна:

$$\Pi_{fi} = n / \sum_{i=1}^n q_i, \quad (11a)$$

здесь  $n$  — число ступеней.

Формулы (11) и (11a) позволяют сформулировать коэффициент эффективности материального многоступенчатого логистического потока в связанном технологическом времени:

$$K_n = \Pi_{fi} / \sum_i^n \Pi_i, \quad (11b)$$

где  $\Pi_i$  — производительность в технологическом вре-

мени как аналог КПД в машиностроении.

Это относится и к связи внешнего технологического пространства:

$$X = x_1 + x_2 + \dots \quad (12)$$

характеризующего перемещения в операциях, с внутренним функциональным пространством связности:

$$Q_x = q_{x1} + q_{x2} + \dots \quad (12a)$$

или в отображении:

$$x : X \rightarrow Q_x. \quad (13)$$

На основании (12a) производительность системы в ее функциональной пространственной связности равна:

$$\Pi_{fx} = n / \sum_{i=1}^n q_{xi}, \quad (13a)$$

здесь  $n$  — число ступеней.

По аналогии с представлением формулы (11b) можно ввести коэффициент эффективности материального многоступенчатого логистического потока в связанном технологическом пространстве:

$$K_{nx} = \Pi_{fx} / \sum_i^n \Pi_{xi}. \quad (13b)$$

Здесь  $\Pi_x$  определяется формулой (6).

Рассмотрим связь между сформулированными производительностями (временной и пространственной):

$$dV / dx = (dV / dx)(dx / dt), \quad (14)$$

или:

$$\Pi = \Pi_x v, \quad (15)$$

где  $v = dx/dt$  — скорость перемещения.

В свою очередь, связи функционального времени с функциональным пространством соответствует представление:

$$q = q_x \tau, \quad (16)$$

или:

$$q_x = qv, \quad (16a)$$

где  $\tau = dt/dv$  — функциональное время перемещения.

Для простого многоступенчатого процесса производства (см. рис.) временная производительность определяется формулой:

$$\Pi = \left( \sum q_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (17)$$

или:

$$\Pi = \left( \sum q_{xi} \tau_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (17a)$$

или:

$$\Pi = \left( \sum \tau_i / \Pi_{xi} \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (17b)$$

и система во времени производит лесоматериалов:

$$\Pi = \int \Pi dt. \quad (17c)$$

В свою очередь, пространственной производительности соответствует формула:

$$\Pi_x = \left( \sum q_{xi} \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (18)$$

или:

$$\Pi_x = \left( \sum q_i v \tau_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (18a)$$

или:

$$P = \left( \sum v_i / P_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (18b)$$

и система производства лесоматериалов:

$$V = \int P_x \, dx. \quad (18c)$$

Представленные формулы раскрывают взаимосвязь и взаимозависимость функционального времени и функционального пространства в логистическом материальном потоке (производство, перемещение и складирование) технико-технологического лесопромышленного производства [14; 15].

**Мощность.** Аналогичные представления сформулируем для энергетического потока лесопромышленной логистики. Запишем функциональность:

$$E_i = f_i(t, x) \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

где  $E_i$  — энергия выполнения операции;  $t$  — время выполнения операции;  $x$  — перемещение при выполнении операции;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  — номер операции в системе производства.

Техническая мощность операции может быть константной, если количество энергии, затрачиваемой на операцию, остается постоянным. Однако в большинстве случаев она будет переменной, так как энергия, затрачиваемая на процесс, может меняться в зависимости от условий работающей системы [16].

Таким образом, производная играет важную роль в определении технической мощности операции, позволяя оценить энергетические потребности и эффективность процесса:

$$dE_i / dt = N_i, \quad (20)$$

где  $N$  — техническая мощность операции.

Иными словами, чем выше техническая мощность операции, тем быстрее происходит затрата энергии на данную операцию. Это позволяет оценить эффективность работы системы и оптимизировать процессы, анализируя энергетическое функциональное время:

$$dt / dE_i = 1 / N_i = m_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (21)$$

где  $m_i$  — энергетическое функциональное время.

Внешнему технологическому времени операции ставится в соответствие сопряженное внутреннее функциональное энергетическое время связности производства [17].

Техническая мощность — это величина, которая показывает скорость работы устройства или системы. Она определяется как количество энергии, которое устройство потребляет или производит за единицу времени. Мультипликативная по умножению группа — это математическое понятие, которое обозначает множество элементов, на котором определена операция умножения, и выполняются следующие свойства: ассоциативность, существование нейтрального элемента и обратного элемента. В данном случае мощность и функциональное энергетическое время образуют мультипликативную группу, так как умножение этих величин является закономерным, и выполняются вышеописанные свойства [18–21]. Таким образом, техническая

мощность и функциональное энергетическое время образуют мультипликативную по умножению группу, что означает их взаимосвязь и зависимость друг от друга при оценке работы устройств и систем:

$$Nm = 1. \quad (22)$$

Здесь  $N$  — мощность;  $m$  — энергетическое функциональное время.

Энергетические времена операций могут быть использованы для оптимизации производственных процессов, например, для улучшения производительности или снижения потребления энергии. Также они могут быть полезны для планирования производства и оценки эффективности работы предприятия [22; 23].

Таким образом, аддитивная полугруппа функциональных энергетических времен операций играет важную роль в организации и управлении производственными процессами, обеспечивая их эффективное и энергосберегающее функционирование:

$$M = m_1 + m_2 + \dots \quad (23)$$

Производная:

$$dE_i / dx = N_{xi}, \quad (24)$$

характеризует затрату энергии на единицу расстояния перемещения и позволяет оценить эффективность использования ресурсов и оптимизировать процессы производства. Чем выше производная, тем более эффективно используются ресурсы и меньше затрачивается энергии на единицу перемещения в пространстве.

Таким образом, производная является важным инструментом для анализа и управления производственными процессами, позволяя повысить их эффективность и улучшить конкурентоспособность продукции.

Пространственной мощности соответствует мультипликативно двойственная по умножению величина функционального энергетического пространства:

$$dt / E_{xi} = 1 / N_{xi} = m_{xi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (25)$$

где  $n$  — число ступеней.

Внешнему технологическому пространству перемещения в операции ставится в соответствие сопряженное внутреннее функциональное энергетическое пространство связного производства.

Пространственная мощность операции и ее функциональное энергетическое пространство образуют мультипликативную по умножению группу:

$$N_{xi} m_{xi} = 1. \quad (26)$$

Здесь  $N_x$  определяется формулой (20), а  $m_x$  — формулой (25).

Функциональные энергетические пространства операций образуют аддитивную полугруппу по сложению, связывающую все процессы производства в единую пространственно-интеграционную структуру:

$$M_x = m_{x1} + m_{x2} + \dots \quad (27)$$

Таким образом, внешнему технологическому пространству:

$$T = t_1 + t_2 + \dots$$

характеризующему параметры состояния операции, ставится в соответствие внутреннее функционально энергетическое время:

$$t : T \rightarrow M.$$

Это относится и к связи внешнего технологического пространства с внутренним функциональным энергетическим пространством:

$$x : X \rightarrow M_x$$

На основании представлений формул (11b) и (13b) можно сразу записать коэффициент энергетической эффективности многоступенчатого логистического потока в связанном технологическом времени:

$$K_N = n / M \sum_i^n N_i, \quad (27a)$$

здесь  $n$  — число ступеней, и коэффициент энергетической эффективности многоступенчатого логистического потока в связанном технологическом пространстве:

$$K_{N_x} = n / M_x \sum_i^n N_{x_i}, \quad (27b)$$

здесь  $n$  — число ступеней.

Рассмотрим связь между сформулированными мощностями (временной и пространственной):

$$dE / dt = (dE / dx)(dx / dt), \quad (28)$$

или:

$$N = N_x v. \quad (29)$$

В свою очередь, связи функционального энергетического времени с функциональным энергетическим пространством соответствует представление:

$$m = m_x \tau, \quad (30)$$

или:

$$m_x = mv,$$

Для простого многоступенчатого процесса производства (см. рис.) суммарное энергетическое время определяется формулой:

$$M = \sum m_i, i = 1, 2, \dots \quad (31)$$

Тогда мощность:

$$N = \left( \sum m_{xi} \tau_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots$$

или:

$$N = \left( \sum \tau_i / N_{xi} \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots$$

и энергия:

$$E = \int N dt.$$

В свою очередь, пространственной мощности соответствует формула:

$$N_x = \left( \sum m_{xi} \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (32)$$

или:

$$N_x = \left( \sum m_i v_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots$$

или:

$$P = \left( \sum v_i / N_i \right)^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots$$

Представленные формулы раскрывают взаимную связь и взаимозависимость функционального энергетического времени и функционального энергетического пространства в логистическом энергетическом потоке (производство, перемещение и складирование) технико-технологического лесопромышленного производства.

**Себестоимость.** Выполнение операций в логистическом пространстве – времени обуславливается их финансовым сопровождением:

$$C_i = f_i(t, x), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (33)$$

где  $C_i$  — финансы, обеспечивающие ход  $i$ -й операции.

На основании (33) определяется скорость финансирования:

$$c_i = dC_i / dt, \quad (34)$$

которая характеризует стоимость единицы времени выполнения операции в системе.

С групповых представлений системного анализа скорости финансирования операции соответствует функциональное время проведения логистической операции, приходящееся на одну финансовую единицу:

$$s_i = dt / dC_i = 1 / c_i. \quad (35)$$

Для простого многоступенчатого логистического потока суммарное функциональное время себестоимости равно:

$$S = \sum s_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (36)$$

и среднее время, которое обеспечивается одной финансовой единицей:

$$S_c = S / n. \quad (37)$$

становится эффективным параметром, характеризующим степень финансовой синхронизации в целом.

Себестоимость многоступенчатого функционально связанного логистического потока в единицу времени определяется формулой:

$$c = 1 / S_c, \quad (38)$$

на основании которой также становится возможным определять коэффициент финансовой эффективности с системных позиций:

$$k_c = c / \sum c_i, \quad I = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (39)$$

и давать сравнительную оценку финансовой эффективности потоков на основании количественных показателей.

**Информация.** Логистические потоки производства и перемещения предметов труда в технологическом пространстве – времени сопровождаются сопутствующей информацией:

$$I_i = f(t, x), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (40)$$

где  $I_i$  — объем информации выполнения операции;  $t$  — время выполнения операции;  $x$  — пространственное перемещение при выполнении операции;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  — номер операции в системе производства.

Скорости производства информации:

$$i = dI_i / dt \quad (41)$$

соответствует функциональное время связности информации:

$$j = 1 / I_i, \quad (42)$$

которая характеризует время производства единицы информации.

Для простого многоступенчатого логистического потока суммарное функциональное время, приходящееся на единицу информации, равно:

$$J = \sum j_i, \quad I = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (43)$$

и среднее время, которое приходится на производство единицы информации в системе:

$$J_c = J / n \quad (44)$$

становится эффективным параметром, характеризующим степень синхронизации в целом и определяющим производство информации в едином функциональном информационном времени:

#### Литература

1. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Основы системного анализа производственных процессов. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 60 с.
2. Гуров С.В. Теория системного анализа и принятия решения. СПб.: СПбГЛТУ, 2008. 144 с.
3. Промышленная логистика / под ред. А.А. Колобова. М.: МГТУ, 1997. 204 с.
4. Проценко О.П., Проценко И.О. Логистика и управление цепями поставок - взгляд в будущее. М.: ДЕЛО, 2012. 192 с.
5. Салминен Э.О., Борозна А.А., Тюрин Н.А. Лесопромышленная логистика. СПб.: СПбЛТА, 2001. 188 с.
6. Семенов А.И. Предпринимательская логистика. СПб.: Политехника, 1997. 349 с.
7. Смехов А.А. Основы транспортной логистики. М.: Транспорт, 1995. 112 с.
8. Стаханов Д.В., Стаханов В.Н. Таможенная логистика. М.: ПРИОР, 2000. 96 с.
9. Faure R., Kaufmann A., Denis-Papin M. Mathematiques nouvelles. Paris, 1964. 272 p.
10. Fried E. Abstrakt algebra. Budapest, 1972. 260 p.
11. Прохоров В.Б. Эксплуатация машин в лесозаготовительной промышленности. М.: Лесная пром-ть, 1978. 304 с.
12. Кочегаров И.Г. Теоретические исследования технологии лесосечных работ: дис. ... д-ра техн. наук. Л.: ЛТА, 1973. 416 с.
13. Меньшиков В.Н. Основы технологии заготовки леса. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 249 с.
14. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М.: Финансы и статистика, 1995. 384 с.
15. Гасс С. Линейное программирование: методы и приложения. М.: Наука, 1961. 303 с.
16. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976. 392 с.
17. Петровский В.С. Оптимальная раскряжка лесоматериалов. М.: Лесная пром-сть, 1989. 288 с.
18. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Залесов С.В., Мехренцев А.В. Сортиментная заготовка древесины. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 140 с.
19. Brokmeier H., Strunk M. Struktur und Geschäftsfelder niedersächsischer Forstunternehmen. Forst und Technik, 2008. P. 24-27.
20. Drewes D. Bestandesvorbereitung in der hochmechanisierten Holzernte. Forsttechnik, 2010. 12 p.
21. Drushka K., Orushka K., Konttinen H. Tracks in the Forest: The Evolution of Logging Machinery. Helsinki, Timberjack Group, 1997. 254 p.
22. Fleischer M. Geschichte der Holzernte in Handarbeit. Germany, Projekte-Verlag Cornelius, 2009. 212 p.
23. Kokkarinen J. Koneellinen puunkorjuu - Hallitusti hyvään tulokseen. Helsinki, Metsäteho Oy, 2013. 91 p.

$$I_c = I / J_c. \quad (45)$$

На основании (40) и (45) коэффициент информационной эффективности системы равен:

$$K_I = I_c / \sum_{i=1}^n I_i, \quad (46)$$

где  $n$  — число ступеней.

**Заключение.** Выполненное исследование формулирует критерии эффективности лесопромышленных, материальных, энергетических, финансовых и информационных потоков в их системной цельности: производительность, мощность, себестоимость, информационность в функциональном пространстве времени единой связанности операций лесопромышленной логистики как системы.

#### References

1. Bazarov S.M., Belen'kij Yu.I., Solov'ev A.N. Fundamentals of system analysis of production processes. SPb.: SPbGLTU, 2018. 60 p.
2. Gurov S.V. Theory of system analysis and decision making. SPb.: SPbGLTU, 2008. 144 p.
3. Industrial logistics / pod red. A.A. Kolobova. M.: MGТУ, 1997. 204 p.
4. Procenko O.P., Procenko I.O. Logistics and supply chain management - a look into the future. M.: DELO, 2012. 192 p.
5. Salminen E.O., Borozna A.A., Tyurin N.A. Forestry logistics. SPb.: SPbLTA, 2001. 188 p.
6. Semenenko A.I. Entrepreneurial logistics. SPb.: Politekhnikа, 1997. 349 p.
7. Smekhov A.A. Fundamentals of transport logistics. M.: Transport, 1995. 112 p.
8. Stahanov D.V., Stahanov V.N. Customs logistics. M.: PRIOR, 2000. 96 p.
9. Faure R., Kaufmann A., Denis-Papin M. Mathematiques nouvelles. Paris, 1964. 272 p.
10. Fried E. Abstrakt algebra. Budapest, 1972. 260 p.
11. Prohorov V.B. Machine operation in the logging industry. M.: Lesnaya prom-t', 1978. 304 p.
12. Kochegarov I.G. Theoretical studies of logging technologies: dis. ... d-ra tekhn. nauk. L.: LTA, 1973. 416 p.
13. Men'shikov V.N. The basis of forest harvesting technology. L.: Izd-vo LGU, 1987. 249 p.
14. Tyurin Yu.N., Makarov A.A. Analysis of data on a computer. M.: Finansi i statistika, 1995. 384 p.
15. Gass S. Linear programming: methods and applications. M.: Nauka, 1961. 303 p.
16. Pontryagin L.S. Mathematical theory of optimal processes. M.: Nauka, 1976. 392 p.
17. Petrovskij V.S. Optimum cutting of wood materials. M.: Lesnaya prom-st', 1989. 288 p.
18. Azarenok V.A., Gerc E.F., Zalesov S.V., Mekhrencev A.V. Assortment of timber logging. Ekaterinburg: UGLTU, 2015. 140 p.
19. Brokmeier H., Strunk M. Struktur und Geschäftsfelder niedersächsischer Forstunternehmen. Forst und Technik, 2008. P. 24-27.
20. Drewes D. Bestandesvorbereitung in der hochmechanisierten Holzernte. Forsttechnik, 2010. 12 p.
21. Drushka K., Orushka K., Konttinen H. Tracks in the Forest: The Evolution of Logging Machinery. Helsinki, Timberjack Group, 1997. 254 p.
22. Fleischer M. Geschichte der Holzernte in Handarbeit. Germany, Projekte-Verlag Cornelius, 2009. 212 p.
23. Kokkarinen J. Koneellinen puunkorjuu - Hallitusti hyvään tulokseen. Helsinki, Metsäteho Oy, 2013. 91 p.