

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 630*372

**Ю.И. Беленький, В.Д. Валяжонков,
С.А. Демидов, Фам Нгок Линь**

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЖИМОВ ТРЕЛЕВКИ ЛЕСА

**Yu.I. Belenky, V.D. Valyazhonkov,
S.A. Demidov, Pham Ngoc Linh**

PROBABILISTIC AND STATISTICAL EVALUATION OF LOGGING MODES

Беленький Ю.И. – д-р техн. наук, проф., ректор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: belenkiy.y@kirlp.com

Валяжонков В.Д. – канд. техн. наук, доц. каф. лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

Демидов С.А. – асп. каф. лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: serge309@yandex.ru

Фам Нгок Линь – асп. каф. лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: linhpham110@gmail.com

Belenky Yu.I. – Dr. Techn. Sci., Prof., Rector, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: belenkiy.y@kirlp.com

Valyazhonkov V.D. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Forest Mechanical Engineering, Service and Repair, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

Demidov S.A. – Post-Graduate Student, Chair of Forest Mechanical Engineering, Service and Repair, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: serge309@yandex.ru

Pham Ngoc Linh – Post-Graduate Student, Chair of Forest Mechanical Engineering, Service and Repair, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: linhpham110@gmail.com

Трелевка древесины тяговыми средствами относится к стохастическим технологическим процессам (ТП). Основной их чертой является вероятностный характер протекания явлений со случайной изменчивостью параметров, что хорошо отражают режимы выполнения как отдельных операций, так и в целом процесса. На изменчивость режимов ТП трелевки оказывает влияние большое количе-

ство факторов. Прежде всего, это факторы природно-производственных условий, организационно-технологических и конструктивных особенностей технических средств, уровня профессионализма персонала, эргономики и др. Создана методика вероятностно-статистической оценки режимов выполнения процесса трелевки леса. С использованием вероятностно-статистического подхода разработа-

ны математические модели, позволяющие установить затраты времени и энергии, отражающие режимы выполнения операций технологического цикла трелевки сортиментов колесным сортиментоподборщиком. С использованием разработанной методики экспериментально получены численные вероятностно-статистические характеристики параметров затрат времени и энергии на выполнение отдельных операций и в целом процесса трелевки сортиментов при сплошной рубке леса. Наибольшие расходы времени и энергии приходятся на выполнение операций погрузочно-разгрузочных работ. Они соответственно составляют 73,3 и 70,6 % затрат технологического цикла. Предложенную методику можно применять как при прогнозировании рациональных технологических решений, так и при практической оценке эффективного использования выбранного процесса трелевки сортиментов колесным сортиментоподборщиком. Реализацию методики апробировали на примере работы колесного сортиментоподборщика среднего класса с колесной схемой 8К8 на трелевке леса при сплошной его рубке по узкопосечной технологии. Сортиментоподборщик имеет грузоподъемность 14 500 кг при собственной массе 15 000 кг и мощности силовой установки 205 кВт.

Ключевые слова: трелевка древесины, стохастический характер параметров цикла трелевки, затраты энергии и времени цикла трелевки.

Timber hauling traction refers to stochastic technological processes (TP). Its main feature is probabilistic nature of course phenomena with random variability of parameters reflecting the modes of execution of individual operations and overall process. The variability of TP modes skidding is influenced by many factors. First of all they are factors of natural-production conditions, organizational-technological and design features of technical equipment, personnel's professionalism, ergonomics, etc. The technique of probabilistic and statistical assessment of the modes of performance of the process of wood skidding was created. Using probabilistic and statistical approach mathematical models allowing establishing expenses of time and energy, reflecting the modes of performance of operations of production cycle of skidding of assortments by wheel loader were developed. Numerical probabilistic and statistical characteristics of pa-

rameters of time and energy expenses on the performance of separate operations and in general the process of skidding of assortments were experimentally received using developed the technique of continuous wood cutting. The greatest expenses of time and energy fall on the performance of operations of loading and unloading. They make 73.3 and 70.6 % of production cycle expenses respectively. Offered technique can be applied both for forecasting rational technological decisions and practical assessment of effective use of chosen process of skidding assortments by wheel assortment collector. The realization of the technique was approved on the example of the work of wheel assortment collector of middle class with the wheel scheme of 8K8 on wood skidding under continuous cutting via narrow-gap technology. Wheeled wood assortment pick-up has payload capacity of 14500 kg at the weight of 15000 kg and power capacity of 205 kW.

Keywords: timber hauling, stochastic nature of cycle parameters of hauling, energy and cycle time of skidding expenses.

Введение. Трелевка древесины тяговыми средствами относится к стохастическим технологическим процессам (ТП). Ее основной чертой является вероятностный характер протекания явлений со случайной изменчивостью параметров, что хорошо отражают режимы выполнения как отдельных операций, так и в целом процесса. На изменчивость режимов ТП трелевки оказывает влияние большое количество факторов. Прежде всего, это факторы природно-производственных условий, организационно-технологических и конструктивных особенностей технических средств, уровня профессионализма персонала, эргономики и др.

Основой суждения о режимах протекания процессов, подобных трелевке древесины, являются затраты времени и энергии, которые относятся к невозможным ресурсам. Основной объем их количественного и качественного изменения напрямую зависит от протекания нагрузочно-скоростных режимов, реализуемых трелевочной машиной.

Цель исследования: разработать методику вероятностно-статистической оценки режимов выполнения процесса трелевки леса.

Задачи исследования:

– с использованием вероятностно-статистического подхода разработать математические модели, позволяющие установить затраты времени и энергии, отражающих режимы

выполнения операций технологического цикла трелевки сортиментов колесным сортименто-подборщиком;

– с применением разработанной методики экспериментально получить численные вероятностно-статистические характеристики параметров затрат времени и энергии на выполнение отдельных операций и в целом процесса трелевки сортиментов при сплошной рубке леса.

Объект исследования: колесный сортиментоподборщик, работающий в комплексе с харвестером.

Методика исследования: вероятностно-статистическая оценка режимов выполнения процесса трелевки леса.

Трелевку древесины осуществляют с помощью многооперационных трелевочных машин. По применяемому технологическому оборудованию данная техника выпускается двух типов. Это машины с чокерным и бесчокерным трелевочным оборудованием. Чокерные машины используются на механизированных процессах, где задействован ручной труд, бесчокерные – на механизированных.

Структурная схема технологического цикла трелевки является многоуровневой [1]. Первым уровнем развития процесса является цикл, занимающий вершину структуры. Вторым уровнем – фазы цикла, отражающие отдельные виды работ. Третий уровень приходится на стадии выполнения отдельных видов работ фаз. Четвертым уровнем являются операции. Данный уровень представляет собой в целом технологический процесс.

Процесс трелевки древесины имеет вероятностный характер появления событий. При этом значения параметров операций характеризуются случайными величинами. Их числовыми характеристиками являются математическое ожидание $m(X)$ и среднее квадратическое отклонение σ_x . Математическое ожидание в теории вероятности соответствует понятию среднего значения при достаточно большом количестве случайных значений. Среднее квадратическое отклонение является характеристикой рассеивания значений случайной величины около ее математического ожидания.

Наиболее полной характеристикой случайной величины является закон ее распределения, отражающий всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значе-

ниями случайной величины и соответствующими вероятностями.

Вероятности появления затрат времени P_{ti} и энергии $P_{эi}$ i -х операций определяются по следующим соотношениям:

$$P_{ti} = m(t_i) / m(T) \quad \text{и} \quad P_{эi} = m(\varepsilon_i) / m(\varepsilon),$$

где $m(t_i)$ и $m(\varepsilon_i)$ – математические ожидания затрат соответственно времени и энергии i -й операции, $m(T)$ и $m(\varepsilon)$ – математические ожидания затрат соответственно времени и энергии цикла технологического процесса.

Используя приведенные выражения, преобразуем балансы распределения количественных затрат времени и энергии в вероятностные распределения. Преобразование выполним при работе машины в рамках выполнения цикла ТП следующим образом:

$$\frac{m(t_1) + m(t_2) + m(t_3) + \dots + m(t_{n-1}) + m(t_n)}{m(T_{ц})} = P_{t1} + P_{t2} + P_{t3} + \dots + P_{t(n-1)} + P_{tn} = \sum_{t=1}^n P_t, \quad (1)$$

$$\frac{m(\varepsilon_1) + m(\varepsilon_2) + m(\varepsilon_3) + \dots + m(\varepsilon_{n-1}) + m(\varepsilon_n)}{m(\varepsilon_{ц})} = P_{э1} + P_{э2} + P_{э3} + \dots + P_{э(n-1)} + P_{эn} = \sum_{э=1}^n P_{э}. \quad (2)$$

В данных преобразованиях выражения

$$m(t_1) + m(t_2) + m(t_3) + \dots + m(t_{n-1}) + m(t_n), \quad (3)$$

$$m(\varepsilon_1) + m(\varepsilon_2) + m(\varepsilon_3) + \dots + m(\varepsilon_{n-1}) + m(\varepsilon_n), \quad (4)$$

$$P_{t1} + P_{t2} + P_{t3} + \dots + P_{t(n-1)} + P_{tn}, \quad (5)$$

$$P_{э1} + P_{э2} + P_{э3} + \dots + P_{э(n-1)} + P_{эn} \quad (6)$$

представляют собой суммы значений затрат времени и энергии отдельных операций замкнутого цикла ТП и вероятностей их появления.

$m(T_{ц})$ и $m(\varepsilon_{ц})$, $\sum_{t=1}^n P_t$ и $\sum_{э=1}^n P_{э}$ являются затратами времени и энергии одного цикла технологического процесса и суммой вероятностей его выполнения.

Аналогично с помощью изложенного подхода можно составить выражения, подобные (3)–(6),

для затрат времени и энергии фаз цикла и их стадий и вероятностей их появления.

В целом данная методика открывает возможности построить математические модели распределения потоков затрат времени и энергии цикла, фаз, стадий, видов работ, выполняемых машиной и её технологическим оборудованием, а также их вероятностей.

Результаты исследования. Реализацию методики рассмотрим на примере работы колесного сортиментоподборщика (КСП) среднего класса с колесной схемой 8К8 на трелевке леса при сплошной его рубке по узкопосечной технологии. Сортиментоподборщик имеет грузоподъемность 14 500 кг при собственной массе 15 000 кг и мощности 205 кВт.

Для выявления распределения потока цикловых затрат времени и энергии на трелевку сортиментов по операциям технологического процесса на основе приведенной методики были разработаны математические модели вероятностно-статистической оценки:

$$m(T_{Ц}) = \sum_{i=1}^n m(t_c^{np}) + \sum_{i=1}^n m(t_{xM}^{nz}) + \sum_{i=1}^n m(t_{zМ}^{nz}) + m(t_{нб}^{nx}) + m(t_{мб}^{nx}) + m(t_{нб}^{zx}) + m(t_{мб}^{zx}) + \sum_{i=1}^n m(t_{xM}^p) + \sum_{i=1}^n m(t_{xM}^p) + m(t_{ц}^3) + m(t_{ц}^{mo}), \quad (7)$$

$$m(\mathcal{E}_{Ц}) = \sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_c^{np}) + \sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{xM}^{nz}) + \sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{zМ}^{nz}) + m(\mathcal{E}_{нб}^{nx}) + m(\mathcal{E}_{мб}^{nx}) + m(\mathcal{E}_{нб}^{zx}) + m(\mathcal{E}_{мб}^{zx}) + \sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{xM}^p) + \sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{xM}^p) + m(\mathcal{E}_{ц}^3) + m(\mathcal{E}_{ц}^{mo}), \quad (8)$$

$$P_{ЦЦ} = \sum_{i=1}^n p_{ic}^{np} + \sum_{i=1}^n p_{ixM}^{nz} + \sum_{i=1}^n p_{izМ}^{nz} + p_{инн}^{nx} + p_{лмм}^{nx} + p_{инн}^{zx} + p_{лмм}^{zx} + \sum_{i=1}^n p_{ixx}^p + \sum_{i=1}^n p_{ixx}^p + p_{цц}^3 + p_{цц}^{mo}, \quad (9)$$

$$P_{ЭЦ} = \sum_{i=1}^n p_{эc}^{np} + \sum_{i=1}^n p_{эxM}^{nz} + \sum_{i=1}^n p_{эzМ}^{nz} + p_{энб}^{nx} + p_{эмб}^{nx} + p_{энб}^{zx} + p_{эмб}^{zx} + \sum_{i=1}^n p_{эxM}^p + \sum_{i=1}^n p_{эxM}^p + p_{эц}^3 + p_{эц}^{mo}. \quad (10)$$

Наименование каждого члена модели и их численные значения представлены в таблице. Операции, обозначенные $\sum_{i=1}^n X_i$, имеют многоцикловое исполнение.

Исходя из требуемой точности опыта, для выявления распределения потока цикловых затрат времени и энергии на трелевку сортиментов по операциям ТП, хронометражные наблюдения проводились в производственных условиях средней тайги северо-запада России. Объем трелеваемой пачки не превышал 17,4–18,2 м³. Стаж работы оператора составлял 4,5 года. Породный состав насаждения лесосеки составлял 4ЕЗСЗБ. Древозостой относится к спелому возрасту с запасом древесины 340 м³/га и имеет еловый подрост в количестве 2 500 шт/га. Почвенно-грунтовые условия земель лесной площади охарактеризованы исходя из их несущей способности при взаимодействии с движителями лесных машин. Согласно общепринятой типизации природно-производственных условий лесозаготовительных районов ЦНИИМЭ [2], она состоит на 80 % из почвогрунтов второй категории и на 20 % – третьей.

Длина магистрального трелевочного волокна колебалась в диапазоне 90–250 м, пасечного волокна – не превышала 55 м. Для защиты ездовой поверхности и повышения проходимости машины волокна покрывались подушкой из порубочных остатков толщиной 5,0–7,0 см. Скоростной режим составил при грузовом ходе 4,0–5,0 км/ч и холостом – 4,5–6,0 км/ч. Для получения достоверности рассматриваемых параметров выполнена статистическая обработка их цифровой информации. Распределение вероятностей затрат рассматриваемых ресурсов на выполнение операций технологического цикла трелевки сортиментов КСП представлены диаграммами на рисунке 1. Они представлены в виде значений вероятностно-статистических параметров затрат времени и энергии, отражающих режимы выполнения операций технологического цикла трелевки сортиментов колесным сортиментоподборщиком. Минимальный объем выборки наблюдений был принят 60–75. Он получен при критерии Стьюдента, равном 1,96; коэффициенте вариации – 20 % и точности – 5 %. Результаты статистической обработки приведены в таблице.

Значение вероятностно-статистических параметров затрат времени и энергии выполнения операций технологического цикла трелевки сортиментов колесным сортиментоподборщиком

Технические данные

Операция процесса	Значение вероятностно-статистических показателей									
	Время, мин					Энергия, кВт·ч				
	Обозначение	$m(\bar{T})$	$\frac{m(T), \text{min/max}}$	$m(\sigma_T)$	P_T	Обозначение	$m(\bar{\mathcal{E}})$	$\frac{m(\mathcal{E}), \text{min/max}}$	$m(\sigma_{\mathcal{E}})$	$P_{\mathcal{E}}$
Переезды при сборе сортиментов	$\sum_{i=1}^n m(t_c^{np})$	0,30	$\frac{0,25}{0,35}$	0,025	0,01	$\sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_c^{np})$	0,71	$\frac{0,59}{0,83}$	0,05	0,005
Холостой ход манипулятора при погрузке	$\sum_{i=1}^n m(t_{xM}^{nz})$	5,00	$\frac{3,38}{6,22}$	0,61	0,14	$\sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{xM}^{nz})$	5,25	$\frac{4,15}{7,32}$	0,55	0,08
Грузовой ход манипулятора при погрузке	$\sum_{i=1}^n m(t_{zM}^{nz})$	10,33	$\frac{8,53}{14,13}$	1,98	0,30	$\sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{zM}^{nz})$	24,62	$\frac{15,92}{33,62}$	4,50	0,36
Порожний ход машины по пасечному волоку	$m(t_{нс}^{nx})$	0,66	$\frac{0,44}{0,88}$	0,11	0,02	$m(\mathcal{E}_{нс}^{nx})$	1,11	$\frac{0,73}{1,49}$	0,19	0,02
Порожний ход машины по магистральному волоку	$m(t_{мс}^{nx})$	3,08	$\frac{2,14}{4,02}$	0,47	0,09	$m(\mathcal{E}_{мс}^{nx})$	5,03	$\frac{3,76}{6,47}$	0,72	0,07
Грузовой ход машины по пасечному волоку	$m(t_{нс}^{cx})$	0,50	$\frac{0,34}{0,66}$	0,08	0,01	$m(\mathcal{E}_{нс}^{cx})$	1,40	$\frac{1,05}{1,80}$	0,20	0,02
Грузовой ход машины по магистральному волоку	$m(t_{мс}^{cx})$	3,27	$\frac{2,25}{4,29}$	0,51	0,09	$m(\mathcal{E}_{мс}^{cx})$	9,99	$\frac{4,67}{15,31}$	2,66	0,15
Холостой ход манипулятора при разгрузке	$\sum_{i=1}^n m(t_{xM}^p)$	3,78	$\frac{2,90}{4,29}$	0,44	0,11	$\sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{xM}^p)$	3,91	$\frac{3,13}{4,69}$	0,39	0,06
Грузовой ход манипулятора при разгрузке	$\sum_{i=1}^n m(t_{zM}^p)$	6,54	$\frac{4,56}{8,32}$	0,89	0,19	$\sum_{i=1}^n m(\mathcal{E}_{zM}^p)$	13,95	$\frac{10,85}{17,35}$	1,70	0,21
Сохранение экологии	$m(t_y^э)$	0,53	$\frac{0,43}{0,53}$	0,05	0,01	$m(\mathcal{E}_y^э)$	0,69	$\frac{0,57}{0,81}$	0,07	0,01
Техническое обслуживание машины	$m(t_y^{mo})$	0,98	$\frac{0,78}{1,18}$	0,10	0,03	$m(\mathcal{E}_y^{mo})$	0,95	$\frac{0,79}{1,09}$	0,07	0,015
Суммарные цикловые затраты	$m(T_{ц})$	34,97	23,41/46,53	5,78	1,0	$m(\mathcal{E}_{ц})$	67,61	46,23/90,8	10,64	1,0

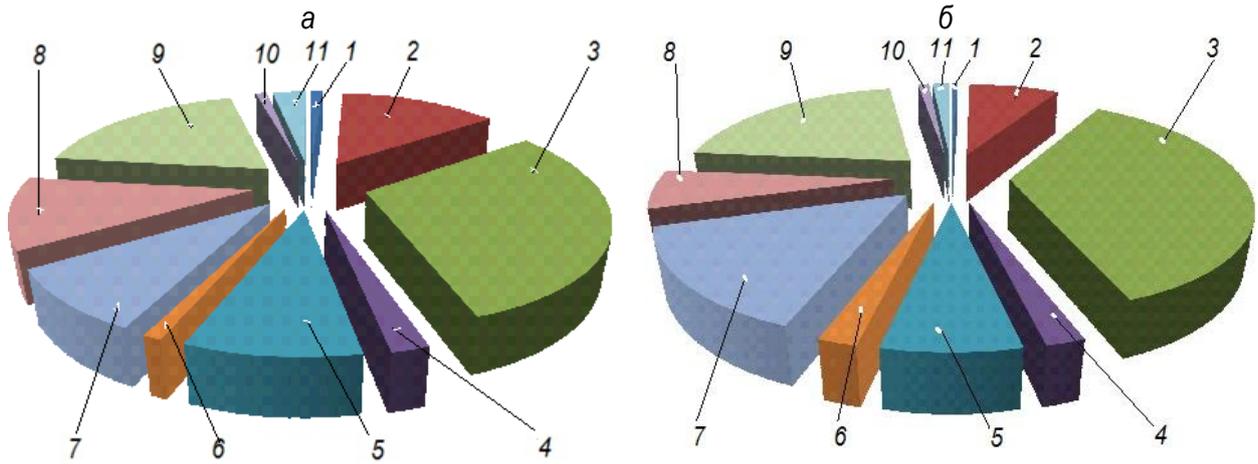


Рис. 1. Распределение вероятностей затрат времени (а) и энергии (б) на выполнение операций технологического цикла трелевки сортиментов колесным сортиментоподборщиком: 1 – переезды при сборе сортиментов; 2, 3 – холостой и грузовой ход манипулятора при погрузке; 4, 5 – порожний ход машины по пасечному и магистральному волоку; 6, 7 – грузовой ход машины по пасечному и магистральному волоку; 8, 9 – холостой и грузовой ход манипулятора при разгрузке; 10 – сохранение экологии; 11 – техническое обслуживание машины

Результаты статистической обработки данных эксперимента показали, что значения критерия χ^2 (*Chi-Square*) и его уровень значимости p для всех параметров равны 3,68–20,37 и 0,07–0,17. Учитывая, что p превышает 0,05, можно утверждать, что распределение выборок параметров не отличается от нормального распределения. В качестве примера на рисунке 2 представлено графическое изображение нормального распределения затрат времени на выполнение КСП операции грузового хода по

магистральному волоку. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с применением программы компьютерного обеспечения Statistica 7.

Полученные экспериментальные данные показывают, что наибольшие затраты времени и энергии при трелевке сортиментов приходятся на операции грузового хода манипулятора при выполнении стадий погрузки и разгрузки древесины.

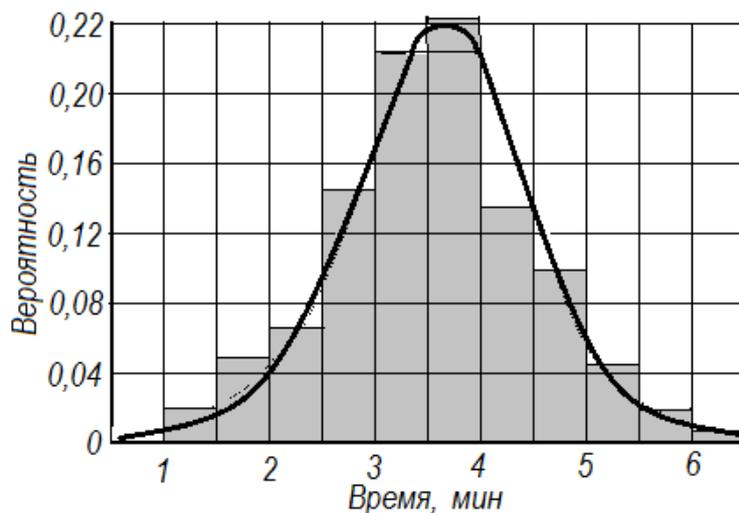


Рис. 2. Нормальное распределение затрат времени на выполнение сортиментоподборщиком операции грузового хода по магистральному волоку

Они соответственно составляют $\sum_{i=1}^n m(t_{2M}^{nz})$
 $= 10,33$ мин и $\sum_{i=1}^n m(\varepsilon_{2M}^{nz}) = 24,62$ кВт·ч при
 погрузке и $\sum_{i=1}^n m(t_{2M}^p) = 6,54$ мин и
 $\sum_{i=1}^n m(\varepsilon_{2M}^p) = 13,95$ кВт·ч при разгрузке. Веро-
 ятности появления суммарных затрат при вы-
 полнении данных операций составляет: на
 погрузке по времени $r_{гм}^{Тпр} = 0,30$; энергии $r_{гм}^{\varepsilon пр} = 0,36$ и разгрузке соответственно $r_{гм}^{Тр} = 0,19$ и
 $r_{гм}^{\varepsilon р} = 0,21$.

В целом на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые манипулятором в среднем за цикл приходится 25,65 мин времени, 47,73 кВт·ч энергии. Это 73,3 и 70,6 % затрат цикла. Максимально они могут достигать 33,0 мин и 64,0 кВт·ч. Данный уровень затрат объясняется многоцикловым исполнением рассматриваемых стадий работ. При погрузке количество циклов составило в среднем $n_{nz} = 37-41$ и при разгрузке $n_p = 32-36$.

На фазу трелевки сортиментов, осуществляемую КСП, расходуется в среднем 7,51 мин времени и 17,53 кВт·ч энергии, т. е. 21,5 и 25,9 % затрат на выполнения ТП, и максимально – 9,85 мин и 27,05 кВт·ч. На трелевку сортиментов расходуется времени и энергии соответственно в 3,4 и 2,7 раза меньше, чем на погрузочно-разгрузочные работы.

Проведенный анализ расхода затрат времени и энергии на реализацию основных фаз технологического цикла трелевки указывает на необходимость проведения мероприятий по снижению данных затрат.

Выводы:

- создана методика вероятностно-статистической оценки режимов выполнения процесса трелевки леса;
- с использованием вероятностно-статистического подхода разработаны математические модели, позволяющие установить затраты времени и энергии, отражающих режимы выполнения операций технологического цикла

трелевки сортиментов колесным сортименто-подборщиком;

- с использованием разработанной методики экспериментально получены численные вероятностно-статистические характеристики параметров затрат времени и энергии на выполнение отдельных операций и в целом процесса трелевки сортиментов при сплошной рубке леса;

- наибольшие расходы времени и энергии приходится на выполнение операций погрузочно-разгрузочных работ. Они соответственно составляют 73,3 и 70,6 % затрат технологического цикла;

- предложенную методику можно применять как при прогнозировании рациональных технологических решений, так и при практической оценке эффективного использования выбранного процесса трелевки сортиментов колесным сортиментоподборщиком.

Литература

1. *Валяжонков В.Д., Демидов С.А., Фам Нгюк Линь.* Структурное построение технологических процессов лесосечных работ // Изв. СПбГЛТУ. – 2017. – Вып. 219. – С. 112–116.
2. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов / Центральный науч.-исслед. и проектно-конструкторский ин-т механизации и энергетики лесн. пром. – Химки, 1986. – 23 с.

Literatura

1. *Valjzhonkov V.D., Demidov S.A., Fam Ngok Lin'.* Strukturnoe postroenie tehnologicheskikh proces-sov lesosechnyh rabot // Izv. SPbGLTU. – 2017. – Vyp. 219. – S. 112–116.
2. Tipizacija prirodno-proizvodstvennyh uslovij lesozagotovitel'nyh rajonov / Central'nyj nauch.-issled. i proektno-konstruktorskiy in-t mehanizacii i jenergetiki lesn. prom. – Himki, 1986. – 23 s.