

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

УДК 630*36

А.В. Андронов, И.А. Зверев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЗНАЧЕНИЕ СМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ МАШИН

Введение. В настоящее время применение хлыстовой технологии лесозаготовки сохраняет уверенные позиции как в России, так и во всем мире. Так, по состоянию на 2013 г. по хлыстовой технологии в России заготавливается примерно 26% от всего объема рубок в лесном комплексе [Большаков, 2015]. Наиболее распространенной системой машин для осуществления заготовки древесины в хлыстах являются валочно-пакетирующая машина (ВПМ), трелевочный трактор и сучкорезная машина. Главной машиной в данном комплексе является ВПМ. В настоящее время доля зарубежных машин на рынке техники в России стабильно растет, очевидно, что конструктивные особенности отечественных и зарубежных машин имеют различия. Так современные ВПМ оснащаются накопителем, позволяющим производить последовательную обработку нескольких деревьев, без пакетирования отдельно каждого дерева; в качестве режущего инструмента, вместо цепной пилы, используются круглые пилы, позволяющие спиливать даже крупные деревья менее чем за одну секунду. Данные нововведения в конструкции ВПМ приводят к необходимости исследования главных параметров математического описания основной характеристики любой ВПМ – сменной производительности.

Цель исследования. Определить основные параметры для проведения расчета сменной производительности современных, зарубежных ВПМ, путем их математического описания и статистического анализа.

Объект исследования. Гусеничная валочно-пакетирующая машина (ВПМ) в общем виде состоит из трех частей. Первая часть – гусеничная ходовая система, состоящая из гусеничной ленты и в зависимости от комплектации может оснащаться грунтозацепами (одинарный, двойной, тройной), улучшающими сцепление гусениц с грунтом, опорных и поддерживающих катков. Вторая часть – полноповоротная платформа и система

выравнивания платформы, которая позволяет регулировать углы наклона вперед-назад и из стороны в сторону. Третья часть – смонтированная на платформе рама машины, состоящая из силовой установки, кабины оператора и гидроманипулятора с захватно-срезающим устройством. Для математического описания сменной производительности ВПМ необходимыми и достаточными характеристиками считаются скорость движения машины по лесосеке, диаметр пильного диска и его частота вращения, углы поворота и скорость поворота платформы, а также максимальный и минимальный вылет гидроманипулятора. Описанные выше характеристики для наиболее распространенных моделей ВПМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики наиболее распространенных моделей ВПМ, необходимые для проведения расчета сменной производительности
Technical characteristics of the most common feller-bunchers models required for the calculation of shift productivity

Компания	Модель	Скорость движения, м/с	Диаметр пильного диска, м	Частота вращения пильного диска, об/с	Макс. угол поворота платформы, рад.	Скорость поворота платформы, рад/с	Макс. вылет, м	Мин. вылет, м
John Deere	803M	0,75	0,6	19,2	6,283	0,8	8,49	3,83
	853M	0,58	0,545	19,2	6,283	0,7	8,49	3,83
	859M	0,47	0,6	19,2	6,283	0,7	8,49	3,83
	903M	0,58	0,6	19,2	6,283	0,7	8,88	4,87
	909M	0,47	0,6	19,2	6,283	0,7	8,88	4,87
	953M	0,58	0,622	19,2	6,283	0,5	8,88	4,87
	959M	0,47	0,622	19,2	6,283	0,5	8,88	4,87
Tigercat	845E	0,53	0,5	20	6,283	0,84	8,53	3,6
	L845E	0,5	0,55	20	6,283	0,84	8,53	3,6
	855E	0,53	0,6	20	6,283	0,84	8,46	4,8
	L855E	0,5	0,6	20	6,283	0,84	8,46	4,8
	860C	0,53	0,6	20	6,283	0,78	8,46	4,8
	870C	0,5	0,6	20	6,283	0,78	8,46	4,8
	L870C	0,44	0,6	20	6,283	0,78	8,46	4,8
Caterpillar	511	0,56	0,55	18,3	6,283	0,82	8,1	3,5
	521	0,5	0,6	18,3	6,283	0,82	8,1	3,5
	522	0,47	0,62	18,3	6,283	0,82	8,1	3,5
	532	0,5	0,6	18,3	6,283	0,75	8,1	3,5
	541	0,42	0,64	18,3	6,283	0,75	8,6	4,9
	551	0,52	0,62	18,3	6,283	0,82	8,6	4,9
	552	0,5	0,64	18,3	6,283	0,82	8,6	4,9
	541-2	0,47	0,64	18,3	6,283	0,75	8,6	4,9
	552-2	0,5	0,64	18,3	6,283	0,82	8,6	4,9
	521B	0,5	0,6	18,3	6,283	0,75	8,1	3,5
	522B	0,47	0,62	18,3	6,283	0,75	8,1	3,5
Komatsu	XT450L2	0,58	0,6	19,2	6,283	0,89	8,18	3,6
	XT445L3	0,58	0,6	19,2	6,283	0,89	8,18	3,6
	XT430L3	0,58	0,6	19,2	6,283	0,89	8,18	3,6
	XT460L3	0,58	0,6	19,2	6,283	0,89	8,18	3,6
Valmet	475FXL	0,58	0,6	19,2	6,283	0,89	9,49	4,2

Необходимые для вычисления сменной производительности параметры ВПМ изменяются в диапазоне значений:

- Скорость движения машины по лесосеке находится в пределе от 0,42 до 0,75 м/с;
- Диаметр пильного диска находится в пределе от 0,5 до 0,622 м;
- Частота вращения пильного диска находится в пределе от 18,3 до 20 об/с;
- Максимальный угол поворота платформы составляет 6,823 рад. или 360°, так как механизм поворота – полноповоротный;
- Максимальная скорость поворота платформы находится в пределе от 0,5 до 0,89 рад/с;
- Максимальный вылет манипулятора находится в пределе от 8,1 до 9,49 м;
- Минимальный вылет манипулятора находится в пределе от 3,5 до 4,9 м.

Значения данных показателей для всех ВПМ незначительно отличаются друг от друга, что говорит о достаточно высоком уровне стандартизации.

Предмет исследования. Математические уравнения для определения сменной производительности ВПМ и ее параметров приводятся согласно источникам (учебник Пятакина В.И. «Технология и машины лесосечных работ». СПбГЛТУ, 2012).

Сменная производительность ВПМ (Π) определяется как:

$$\Pi = \Pi_{\text{ч}} \cdot m \cdot \varphi_1, \text{ м}^3/\text{смена},$$

где $\Pi_{\text{ч}}$ – часовая производительность ВПМ, $\text{м}^3/\text{ч}$; m – число часов в смене, ч; φ_1 – коэффициент использования времени смены, учитывающий ЕО, время отдыха оператора, перепад работоспособности оператора в начале и конце смены и принимается равным в диапазоне 0,85–0,90.

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{3600 \cdot V}{T_{\text{ВПМ}}},$$

где V – средний объем хлыста, м^3 ; $T_{\text{ВПМ}}$ – время цикла на обработку одного дерева, с.

$$T_{\text{ВПМ}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{нз}} + t_{\text{с}} + t_{\text{п}} + t_{\text{пл}},$$

где $t_{\text{пр}}$ – время технологического перехода ВПМ в расчете на одно дерево, с; $t_{\text{нз}}$ – время на наведение ЗСУ на дерево, его захват и натяг, с; $t_{\text{с}}$ – время на срезание дерева, с; $t_{\text{п}}$ – время затрачиваемое на пакетирование дерева, с; $t_{\text{пл}}$ – время переезда ВПМ между пасечными лентами в расчете на одно дерево, с.

$$t_{\text{пр}} = \frac{a}{9 \cdot n_2},$$

где a – разница между максимальным (R) и минимальным (r) вылетами манипулятора, м; ∂ – скорость передвижения ВПМ по лесосеке, м/с; n_2 – количество обрабатываемых деревьев с одной технологической стоянки.

$$n_2 = \frac{10^4 \cdot V}{\Delta \cdot q \cdot k_i \cdot \vartheta},$$

где Δ – ширина пасечной ленты, м; q – запас леса на 1 га, м³; k_i – доля вырубаемого компонента или интенсивность рубки, зависящий от вида рубки, так для сплошной рубки $k_i = 1$, что означает вырубку всего древостоя в пределах заданной лесосеки.

Таким образом, выражение для определения времени технологического перехода ВПМ в расчете на одно дерево примет следующий вид:

$$t_{np} = \frac{10^4 \cdot V}{\Delta \cdot q \cdot k_i \cdot \vartheta}.$$

В связи со сложностью математического описания процесса взаимодействия человека-оператора с механизмом управления манипулятором и предметом труда, время на наведение ЗСУ на дерево, его захват и натяг ($t_{нз}$), а также учитывая возможность современных ВПМ производить последовательную обработку сразу нескольких деревьев, за счет присутствующего в конструкциях ЗСУ накопителе, определяется фотохронометражном. Используя возможности современных медиа-технологий, были проведены наблюдения за работой современных ВПМ и произведены замеры $t_{нз}$, с объемом выборки 50, результаты замеров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты замеров $t_{нз}$, полученные при наблюдении за работой ВПМ

The results of t_{pc} measurements obtained by monitoring the operation of the feller-buncher

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$t_{нз}$, с	14,2	8,1	8,6	7,9	12,8	9,8	9,1	12,1	10,1	15,4	11,0	18,8	11,3
№	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$t_{нз}$, с	11,7	7,2	17,9	10,9	8,3	14,3	16,2	13,2	11,2	7,6	7,2	6,6	5,7
№	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$t_{нз}$, с	9,4	10,2	5,8	9,8	8,5	10,5	6,8	11,1	10,7	13,1	12,3	16,5	8,3
№	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	–	–
$t_{нз}$, с	5,5	8,8	6,8	8,2	13,0	19,6	6,9	15,5	9,1	16,2	13,6	–	–

$$t_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \Pi_{\text{чп}} \cdot \varphi_{\text{чп}}},$$

где d – средний диаметр ствола в месте спиливания, м; $\Pi_{\text{чп}}$ – производительность чистого пиления, м²/с; $\varphi_{\text{чп}}$ – коэффициент производительности чистого пиления, принимается в пределах 0,6...0,7.

$$\Pi_{\text{чп}} = H \cdot u,$$

где H – высота пропила, м; u – скорость подачи, м/с.

$$H = 0,8 \cdot d,$$

$$u = \frac{u_z \cdot v}{t},$$

где u_z – подача на зуб, м; v – скорость резания, м/с; t – шаг зубьев, м.

Учитывая, что современные ЗСУ валочно-пакетирующих машин в качестве рабочего органа используют круглые пилы, то подача на зуб определяется как:

$$u_z = \frac{\tau \cdot t^2}{s \cdot H_{\text{max}}},$$

где τ – коэффициент площади впадины зуба, принимаемый в диапазоне 0,12...0,3; s – коэффициент уплотнения опилок, учитывая, что лесозаготовку предпочтительнее осуществлять в зимний период, то для мерзлой древесины $s = 1,5$; H_{max} – максимальная высота пропила, принимается равной диаметру дерева в месте спиливания, м.

$$v = \pi \cdot D \cdot n,$$

где D – диаметр пильного диска, м; n – число оборотов, об/с.

$$t = \frac{\pi \cdot D}{z},$$

где z – число зубьев.

Таким образом, произведя преобразования, получим выражения для определения производительности чистого пиления и времени на срезание дерева соответственно:

$$\Pi_{\text{чп}} = \frac{0,8 \cdot \tau \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{s \cdot z}; \quad t_c = \frac{s \cdot d^2 \cdot z}{3,2 \cdot \tau \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \cdot \varphi_{\text{чп}}}; \quad t_{\text{п}} = \frac{2 \cdot \varphi \cdot K_1 \cdot K_2}{\omega},$$

где φ – средний угол поворота платформы с манипулятором от места среза дерева до места укладки в пакет, рад; K_1 – коэффициент, учитывающий

время на пакетирование дерева, принимается в диапазоне 1,2...1,4; K_2 – коэффициент, учитывающий время на подготовку к повороту, принимается в диапазоне 1,1...1,2; ω – угловая скорость поворота платформы, рад/с.

$$t_{\text{пр}} = \frac{C}{\vartheta \cdot n_1},$$

где C – расстояние переезда ВПМ между лентами, зависит от схемы разработки лесосеки, предпочтительным считается расстояние равное ширине ленты, т. е. $C = \Delta$, м; n_1 – число обрабатываемых деревьев на ленте.

$$n_1 = \frac{S_{\text{л}} \cdot q \cdot k_i}{10^4 \cdot V},$$

где $S_{\text{л}}$ – площадь участка леса, разрабатываемого с одной позиции.

$$S_{\text{л}} = (R - r) \cdot \Delta.$$

Тогда выражение для определения времени переезда ВПМ между пачечными лентами в расчете на одно дерево будет:

$$t_{\text{пр}} = \frac{10^4 \cdot V}{(R - r) \cdot \vartheta \cdot q \cdot k_i}.$$

Таким образом, выражение по определению времени цикла на обработку одного дерева валочно-пакетирующей машиной будет:

$$T_{\text{ВПМ}} = \frac{10^4 \cdot V}{\Delta \cdot q \cdot k_i \cdot \vartheta} + t_{\text{нз}} + \frac{s \cdot d^2 \cdot z}{3,2 \cdot \tau \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \cdot \varphi_{\text{чп}}} + \frac{2 \cdot \varphi \cdot K_1 \cdot K_2}{\omega} + \frac{10^4 \cdot V}{(R - r) \cdot \vartheta \cdot q \cdot k_i}.$$

Результаты расчета сменной производительности наиболее распространенных моделей ВПМ и ее основные параметры приведены в табл. 3. Результаты расчета получены при: $V = 0,45 \text{ м}^3$; $\Delta = 15 \text{ м}$; $q = 140 \text{ м}^3$; $k_i = 1$; $s = 1,5$; $d = 0,36 \text{ м}$; $\tau = 0,12$; $\varphi_{\text{чп}} = 0,7$; $\varphi = 3,142 \text{ рад}$.

Сменная производительность и параметры времени цикла на обработку одного дерева ВМП изменяются в диапазоне значений:

- Время технологического перехода ВПМ в расчете на одно дерево $t_{\text{пр}}$ изменяется от 2,8 до 5,1 с;
- Время на наведение ЗСУ на дерево, его захват и натяг $t_{\text{нз}}$ изменяется от 5,5 до 19,6 с;

Таблица 3

Сменная производительность ВПМ и ее основные параметры
Replaceable productivity of a feller-bunchers and its main parameters

Компания	Модель	$t_{пр}, c$	$t_{нз}, c$	t_c, c	$t_{п}, c$	$t_{пш}, c$	П, м ³ /смена
John Deere	803M	2,8	Определяется при помощи статистического анализа, по данным табл. 2	0,6	13,8	9,2	270,4
	853M	3,6		0,8	15,2	11,9	277,4
	859M	4,5		0,6	13,8	14,7	260,3
	903M	3,7		0,6	13,8	13,8	276,1
	909M	4,5		0,6	13,3	17,1	225,2
	953M	3,7		0,6	13,3	13,8	266,9
	959M	4,5		0,6	16,6	17,1	246,6
Tigercat	845E	4,1		0,9	15,1	12,3	239,7
	L845E	4,3		0,7	13,8	13,1	254,6
	855E	4,1		0,6	13,8	16,6	218,2
	L855E	4,3		0,6	13,8	17,6	232,8
	860C	4,1		0,6	13,8	16,5	204,5
	870C	4,3		0,6	13,8	17,6	231,4
	L870C	4,9		0,6	13,8	19,9	216,1
	LX870C	4,3		0,6	15,1	17,5	253,1
Caterpillar	511	3,8		0,6	13,8	12,5	219,8
	521	4,3		0,8	15,1	13,9	252,2
	522	4,6		0,7	13,8	14,9	263,8
	532	4,3		0,6	13,4	13,9	233,9
	541	5,1		0,7	13,8	20,7	198,3
	551	4,1		0,6	12,9	16,7	229,2
	552	4,3		0,6	12,9	17,4	237,2
	541-2	4,5		0,6	12,9	18,4	249,1
	552-2	4,3		0,6	13,8	17,4	259,6
	521B	4,3		0,7	13,4	13,9	279,7
	522B	4,5		0,6	13,8	14,8	281,3
Komatsu	XT450L2	3,7		0,6	13,8	12,1	277,6
	XT445L3	3,7		0,6	13,8	12,1	272,1
	XT430L3	3,7	0,6	13,8	12,1	305,3	
	XT460L3	3,7	0,6	13,8	12,1	274,8	
Valmet	475FXL	3,7	0,6	13,8	10,5	296,4	

- Время на срезание дерева t_c изменяется от 0,6 до 0,9 с;
- Время, затрачиваемое на пакетирование дерева $t_{п}$ изменяется от 12,9 до 16,6 с;
- Время переезда ВПМ между пасечными лентами в расчете на одно дерево $t_{пл}$ изменяется от 9,2 до 20,7 с;
- Сменная производительность P изменяется от 198,3 до 305,3 м³/смена.

Таким образом, исходя из полученных диапазонов значений можно выделить два параметра, которые более других оказывают влияние на результаты расчета сменной производительности ВПМ, это – $t_{пз}$ и $t_{пл}$. Значения данных параметров изменяются в самих широких диапазонах, это можно объяснить конструктивными особенностями самих ВПМ, так для $t_{пл}$ определяющим фактором будет рабочая зона манипулятора, зависящая от максимального и минимального вылета, так при увеличении вылета стрелы на 0,39 м $t_{пл}$ сократится примерно на 14%. В случае t_c основную роль играет опыт оператора ВПМ, а также использование накопителя ЗСУ.

Время технологического перехода и время на пакетирование дерева имеют незначительные колебания внутри интервала и будут равны соответственно 2,3 и 3,7 с. Небольшие колебания связаны с тем, что данные параметры зависят от скорости движения машины по лесосеке и скорости поворота, которые производители ВПМ стараются ограничивать в небольших диапазонах от 0,42 до 0,75 м/с и от 0,5 до 0,89 рад/с соответственно, для снижения динамических нагрузок на гидропривод и металлоконструкцию, вызванных инерционными силами.

Время на срезание дерева, по сравнению с другими параметрами, пренебрежительно мало и составляет менее 1 с. Такого небольшого значения удалось достичь за счет применения в конструкциях ЗСУ дисковых пил вместо цепных. Таким образом, в практических расчетах сменной производительности, временем на срезание дерева можно пренебречь, что вызовет небольшую погрешность, не превышающую 2%.

Сменная производительность изменяется в широком диапазоне равном 107 м³/смена и зависит от описанных выше параметров, можно выдвинуть гипотезу о ее нормальном распределении.

Метод исследования. Для подтверждения достоверности рассматриваемых показателей, а также для выявления законов распределения, которыми можно было бы описать каждый из этих показателей, была проведена статистическая обработка данных. Минимальный объем выборок наблюдения составляет 195 значений. Он получен при критерии Стьюдента равном 1,96, коэффициенте вариации – 32% и точности 4,6%.

Результаты исследования. Результаты статистической обработки приведены в табл. 4. Статистический анализ был проведен с применением программного обеспечения STATGRAPHICS 18.

Таблица 4

Значения основных статистик сменной производительности ВПМ

Values of basic statisticians of shift productivity of a feller-bunchers

Основные статистики	Значения основных статистик					
	$t_{пр}, c$	$t_{нз}, c$	$t_{с}, c$	$t_{п}, c$	$t_{пл}, c$	$\Pi, M^3/смена$
Математическое ожидание $m(X)$	4,2	10,5	0,68	13,9	14,7	252,7
Среднеквадратическое отклонение σ	0,38	3,3	0,06	0,8	2,8	24,9
Коэффициент вариации $C_v, \%$	8,9	31,4	9,2	5,7	19,2	9,8
Закон распределения	нормальный		логнормальный		нормальный	
Критерий χ^2 (Chi-Square) и его уровень значимости p	15,4 0,16	14,7 0,25	9,9 0,54	22,1 0,054	9,1 0,52	15,2 0,43

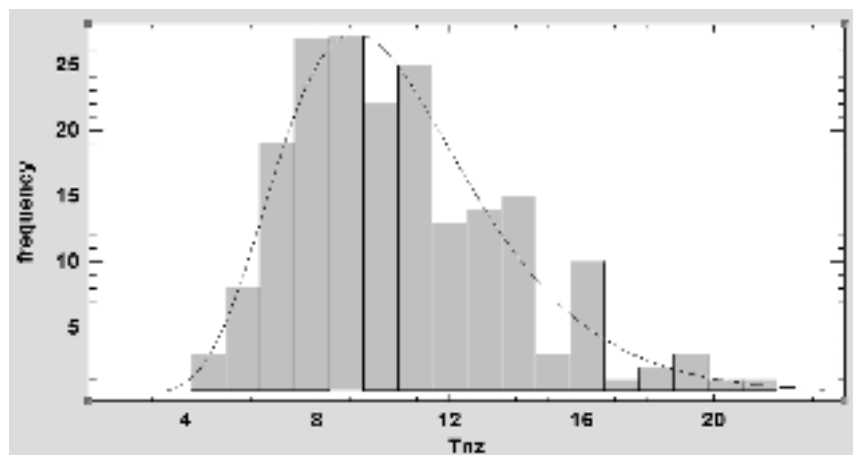


Рис. 1. Логнормальное распределение времени на наведение ЗСУ на дерево, его захват и натяг современных валочно-пакетирующих машин

Fig. 1. Lognormal distribution of time to point the cutting head at the tree, its gripping and tensioning of modern feller-bunchers

Таким образом, согласно данным в табл. 4, значения уровня значимости критерия χ^2 для всех параметров $p = 0,054 \dots 0,54$ больше чем 0,05. Следовательно, распределение выборок параметров не отличаются от логнормального и нормального. В качестве примера графического представления логнормального распределения времени на наведение ЗСУ на дерево, его захват и натяг современных валочно-пакетирующих машин, приведен рис. 1. В качестве примера графического представления нормального распределения сменной производительности современных валочно-пакетирующих машин, приведен рис. 2.

Судя по значениям коэффициента вариации $C_v = 19.2-31.4\%$, математические ожидания $m(t_{нз})$ и $m(t_{пл})$ имеют значительные колебания. Как отмечалось выше, это может быть объяснено конструктивными особенностями машин и опытом оператора. Математические ожидания $m(t_{пр})$, $m(t_c)$, $m(t_n)$ и Π изменяются незначительно.

Таким образом, зная основные параметры, влияющие на величину сменной производительности, можно составить уравнение регрессии, характеризующее степень зависимости между Π и $t_{пл}$. Данная зависимость описывается линейным уравнением и имеет вид:

$$\Pi = -5,3927 t_{пл} + 310.$$

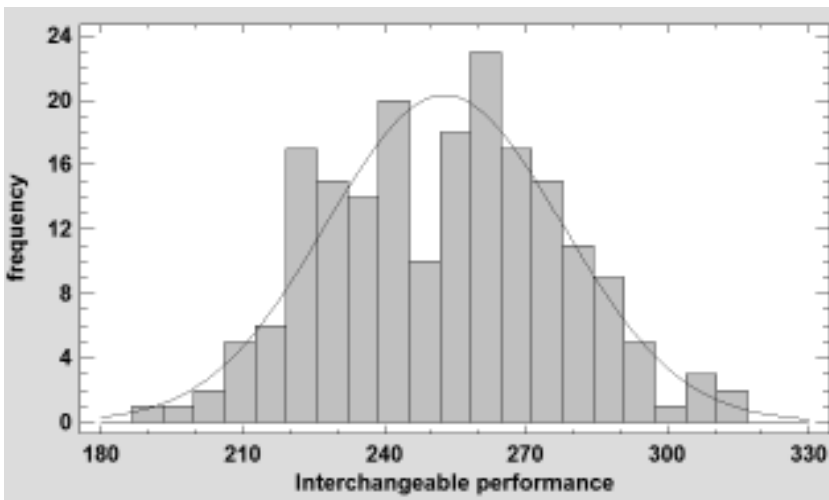


Рис. 2. Нормальное распределение сменной производительности современных валочно-пакетирующих машин

Fig. 2. Normal distribution of the shift productivity of modern feller-bunchers

Коэффициент детерминации R^2 для этой зависимости равен 0,52 это означает, что, зная время переезда ВПМ между пасечными лентами в расчете на одно дерево, можно с точностью 52% определить сменную производительность машины. Уровни значимости t-критерия и F-критерия составляют меньше 0,05, что подтверждает достоверность коэффициентов и регрессионного уравнения в целом на 95%. Полученный коэффициент детерминации довольно низок, так как сменная производительность ВПМ зависит от значительного числа других переменных параметров. Однако учитывая довольно сложное расчетное математическое выражение для определения сменной производительности, приведенная регрессионная зависимость может помочь нормировщикам на лесосеке в короткие сроки задать план работ на смену, зная лишь параметры отведенного на разработку участка леса, скоростной диапазон машины и рабочую зону гидроманипулятора.

Выводы

1. Проведенные замеры по определению времени на наведение ЗСУ на дерево, его захват и натяг современными валочно-пакетирующими машинами, а также их последующая статистическая обработка позволили установить логнормальное распределение данного параметра и определить достоверный диапазон его изменения.

2. В ходе статистической обработки величины сменной производительности ВПМ и параметров, оказывающих на нее влияние, были определены их законы распределения, благодаря которым производители новых моделей машин могут подбирать такие конструктивные параметры, чтобы величина сменной производительности была больше или равна математическому ожиданию уже существующих машин.

3. Полученная регрессионная зависимость $\Pi(t_{пл})$ позволяет приблизительно определить значения сменной производительности в сжатые сроки, зная относительно небольшой набор параметров, по сравнению с полным математическим выражением.

Библиографический список

Большаков Б.М. Актуальные вопросы развития лесных машин и оборудования // Машины и оборудование лесопромышленного комплекса. 2015. № 2. С. 21–24. URL: <http://www.sdmprpress.ru/online/220152701.pdf>

Падерин В. Особенности пиления мерзлой древесины // ЛесПромИнформ. 2012. № 1. URL: <https://lesprominform.ru/articles.html?id=2549>

Deere & Company 2019 Tracked feller bunchers/harvesters John Deere 800M/MH-Series Brochure p 24

- Deere & Company 2019 Tracked feller bunchers/harvesters John Deere 900M/MH-Series Brochure p 28
Tigercat Inc. 2019 845E/L845E Feller Buncher Brochure p 6
Tigercat Inc. 2018 855E/L855E Feller Buncher Brochure p 6
Tigercat Inc. 2016 860C/870C/L870C/LX870C Feller Buncher Brochure p 4
Caterpillar Inc. 2009 541/551/552 Tracked feller bunchers and harvesters brochure p 20
Caterpillar Inc. 2009 511/521/522/532 Tracked feller bunchers and harvesters brochure p 20
Caterpillar Inc. 2013 521B/522B Tracked feller bunchers and harvesters brochure p 20
Komatsu America Corp. 2015 XT460L-3 brochure p 16

References

- Bolshakov B.M.* Aktualnyye voprosy razvitiya lesnykh mashin i oborudovaniya. *Mashiny i oborudovaniye lesopromyshlennogo kompleksa*, 2015, no. 2, pp. 21–24. URL: <http://www.sdmpress.ru/online/220152701.pdf> (In Russ.)
- Paderin V.* Osobennosti pileniya merzloy drevesiny. *LesPromInform*, 2012, no. 1. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2549> (In Russ.)
- Deere & Company 2019 Tracked feller bunchers/harvesters John Deere 800M/MH-Series Brochure p 24
Deere & Company 2019 Tracked feller bunchers/harvesters John Deere 900M/MH-Series Brochure p 28
Tigercat Inc. 2019 845E/L845E Feller Buncher Brochure p 6
Tigercat Inc. 2018 855E/L855E Feller Buncher Brochure p 6
Tigercat Inc. 2016 860C/870C/L870C/LX870C Feller Buncher Brochure p 4
Caterpillar Inc. 2009 541/551/552 Tracked feller bunchers and harvesters brochure p 20
Caterpillar Inc. 2009 511/521/522/532 Tracked feller bunchers and harvesters brochure p 20
Caterpillar Inc. 2013 521B/522B Tracked feller bunchers and harvesters brochure p 20
Komatsu America Corp. 2015 XT460L-3 brochure p 16

Материал поступил в редакцию 16.10.2020

Андронов А.В., Зверев И.А. Исследование параметров, определяющих значение сменной производительности валочно-пакетирующих машин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 233. С. 126–138. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.126-138

Представлены результаты замеров времени на наведение захватно-срезающее устройство на дерево, его захват и натяг. Получены законы распределения сменной производительности валочно-пакегирующих машин и параметров, определяющих время цикла на обработку одного дерева. Установлена регрессионная зависимость между сменной производительностью и временем переезда машины между лентами.

Ключевые слова: валочно-пакегирующая машина, сменная производительность, закон распределения, статистический анализ.

Andronov A.V., Zverev I.A. Investigation of the parameters determining the value of the shift productivity of a feller-bunchers. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2020, is. 233, pp. 126–138 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.126-138

The study presents results of experimental measurements of aiming a tree, its' capture and cutting for a feller-buncher shear felling head. The study obtains distribution laws of feller-bunchers' productivity and parameters determining the cycle time for processing a single tree. The paper presents regression relationship between the shift capacity and the machine travelling time between the belts.

Key words: feller-bunchers, shift capacity, distribution law, statistical analysis.

АНДРОНОВ Александр Вячеславович – доцент кафедры Лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. ScopusID: 57208471422. SPIN-код: 8345-3722

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andronovalexandr@gmail.com

ANDRONOV Alexander V. – Associate Professor of the Department of Forest Engineering, Service and Repair of St.Petersburg State Forest Technical University. ScopusID: 57208471422. SPIN-code: 8345-3722.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: andronovalexandr@gmail.com

ЗВЕРЕВ Игорь Андреевич – магистр 2-го курса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия.

ZVEREV Igor A. – master student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia.