

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОРНЕПОДРЕЗЧИКА С АКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Платонова М. А.¹

¹ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, Россия (394008, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: Marischka8306@yandex.ru.

Приведены результаты экспериментальных исследований корнеподрезчика с активными рабочими органами, позволяющего выращивать укрупнённые сеянцы лесных культур. Перед экспериментальными исследованиями были составлены программа и методика их проведения, включающая в себя определение тягового сопротивления в зависимости от ряда входных факторов. Обработка статистических описательных характеристик полученных опытных данных позволила установить, что в подавляющем большинстве случаев варьирование экспериментальных значений тягового сопротивления является малым. Анализ экспериментальных значений тягового сопротивления, проведённый при помощи критерия Колмогорова-Смирнова и критерия хи-квадрат, выявил, что данные распределения соответствуют закону нормального распределения. В результате проведённого анализа совокупности теоретических и экспериментальных зависимостей было установлено, что отличие экспериментальных результатов от теоретических вычислений составляет в среднем 10 %. В целом проведенные лабораторные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность и эффективность разработанного корнеподрезчика с активными рабочими органами.

Ключевые слова: корнеподрезчик, тяговое сопротивление, эксперимент, статистика, корреляция.

RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS CUTTERS ROOTS WITH ACTIVE WORKING BODIES

Platonova M. A.¹

¹Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia (394008, Voronezh, street Timiryazeva, 8), e-mail: Marischka8306@yandex.ru.

The results of experimental studies carver roots with active working members, allowing seedlings to grow enlarged plantations. Before the experimental research program was written and the method of their conduct, which includes the determination of the traction resistance, depending on the number of input factors. Processing of statistical descriptive characteristics of the obtained experimental data allowed to establish that the vast majority of cases, schem-variation of the experimental values of tractive resistance is low-etsya. Analysis of the experimental values of tractive resistance, conducted by the Kolmogorov-Smirnov and chi-square test revealed that the distribution of the data correspond to the normal distribution. The analysis of combined theoretical and experimental dependences was found that the difference between the experimental results of the theoretically calculation of an average of 10%. In general, the laboratory experimental studies have confirmed the efficiency and effectiveness of the developed root cutter with active working members.

Keywords: asphalt root, pulling resistance, experiment, statistics, correlation.

Введение

При проведении лесовосстановительных работ современной эколого- и ресурсосберегающей технологией предусмотрена посадка саженцев или укрупнённых сеянцев лесных культур, при этом наиболее перспективным направлением производства укрупнённого посадочного материала является более длительное (до 4 лет) его выращивание в посевном отделе без перешколивания при условии выполнения определённых агроприёмов и условий.

Для формирования у сеянцев и саженцев компактной и при этом мочковатой корневой системы, хорошо сохраняющейся при выкопке, в технологии выращивания посадочного материала предусматривают специальный способ выращивания сеянцев или саженцев лесных

культур – с открытой корневой системой. Такой способ формирования мочковатой корневой системы остаётся в настоящее время в Российской Федерации весьма актуальным, при этом наиболее перспективными техническими средствами, применяемыми для подрезки корней, являются корнеподрезчики с активными рабочими органами, т.к. они обеспечивают более высокое качество подрезки корней.

Цель исследования

На основании исследований [1, 2, 3] в Воронежской государственной лесотехнической академии (ВГЛТА) был изготовлен опытный экземпляр корнеподрезчика для вибрационной подрезки корней. Для проверки адекватности основных положений математической модели, описывающей технологический процесс вибрационной подрезки корней, в почвенном канале ВГЛТА были проведены экспериментальные исследования опытного экземпляра корнеподрезчика.

Материал и методы исследования

Перед экспериментальными исследованиями была составлена программа и методика их проведения [4, 5], включающая в себя определение тягового сопротивления в зависимости от следующих входных факторов: частоты вертикальных колебаний подрезающих ножей, Гц; амплитуды колебания лезвий ножей, мм; начальной глубины резания ножей, мм; влажности почвы, %; диаметра перерезаемых корней, мм. Уровни и интервалы варьирования входных факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования входных факторов

Факторы	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
		нижний	основной	верхний
X_1 – частота вертикальных колебаний подрезающих ножей, Гц	4,15	16,7	21,7	25
X_2 – амплитуда колебания лезвий ножей, мм	2,5	10	12,5	15
X_3 – начальная глубина резания ножей, мм	40	80	120	160
X_4 – влажность почвы, %	7,5	8	15,5	23
X_5 – диаметр перерезаемых корней, мм	4,5	1	5,5	10

Для уменьшения влияния случайных погрешностей измерения каждый опыт при проведении эксперимента повторялся 5 раз. По окончании экспериментальных исследований по полученным данным были построены предварительные графические зависимости тягового

сопротивления корнеподрезчика (как функции времени). Пример данных графиков приведён на рисунке 1.

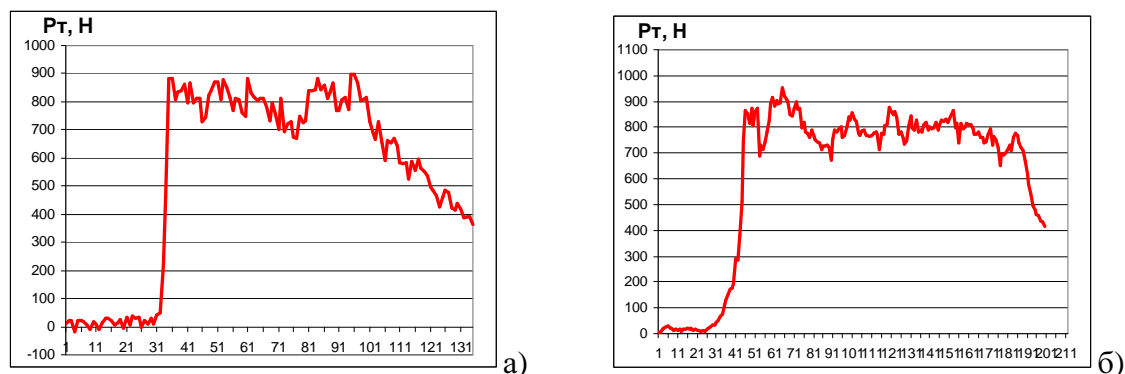


Рисунок 1. Зависимости тягового сопротивления P_T от частоты вертикальных колебаний n (Гц) при амплитуде подрезания корней $S_H = 5$ мм

Данные экспериментальные графики построены для нижнего ($n = 16$ Гц) и верхнего ($n = 25$ Гц) уровней варьирования входного фактора – частоты вертикальных колебаний n .

Первичный анализ построенных графиков позволил установить следующее. На каждом экспериментальном графике присутствует начальный участок кривой, значения тягового сопротивления на котором близки к нулю. Данный участок соответствует вступительному этапу работы корнеподрезчика, на котором вибрация рабочих органов (подрезающих ножей) уже включена, а поступательное движение тракторной тележки ещё отсутствует. Другим характерным участком, присутствующим на каждом экспериментальном графике, является участок резкого возрастания значений тягового сопротивления с нулевых (или близких к нулевым) до максимальных (или близких к максимальным) значений. Данный участок соответствует разгону тракторной тележки и началу рабочего хода корнеподрезчика. Третьим характерным участком является участок рабочего хода корнеподрезчика, значения тягового сопротивления на котором изменяются в определённом интервале в зависимости от условий подрезки корней.

Для статистической обработки экспериментальных данных наиболее важными являются данные, соответствующие рабочему ходу корнеподрезчика.

Руководствуясь стандартной методикой обработки экспериментальных данных, при помощи компьютерной программы STATISTICA 6 определялись статистические описательные характеристики полученных опытных данных [6, 7], пример которых приведён в таблице 2.

Таблица 2. Статистические описательные характеристики зависимости тягового сопротивления P_T (Н) от частоты вертикальных колебаний n (Гц) при амплитуде подрезания корней: а) $S_H = 5$ мм; б) $S_H = 10$ мм; в) $S_H = 15$ мм; г) $S_H = 20$ мм

Входные факторы		Объём выборки	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Дисперсия	Стандартное отклонение	Асимметрия	Экцесс
а)	« - »	49	797,2	809,71	670,72	883,22	3264,8	57,139	-0,465	-0,587
	« 0 »	134	792,64	788,85	652,81	954,60	3067,2	55,382	0,338	0,166
	« + »	99	786,31	778,97	500,05	910,77	2880,2	53,667	-1,036	7,549
б)	« - »	66	800,96	801,96	677,57	930,24	3246,7	56,980	0,240	-0,531
	« 0 »	52	770,84	785,12	542,66	883,42	4574,4	67,634	-1,124	1,958
	« + »	66	755,28	754,77	610,66	879,33	4443,9	66,663	-0,052	-0,927
в)	« - »	56	802,50	784,66	669,08	1003,44	5785,1	76,059	0,478	-0,373
	« 0 »	71	785,55	792,94	687,04	867,30	2453,5	49,533	-0,203	-0,964
	« + »	71	744,20	743,34	682,44	820,70	877,1	29,616	0,356	-0,129
г)	« - »	71	819,30	816,03	754,19	889,47	904,5	30,075	0,505	-0,082
	« 0 »	66	764,69	761,71	702,91	832,79	1094,5	33,084	0,205	-0,543
	« + »	76	707,81	711,79	637,48	781,09	1324,4	36,393	-0,078	-0,934

Для оценки варьирования значений тягового сопротивления в относительных единицах был определён коэффициент вариации V , позволяющий сравнивать вариацию одного и того же признака у разных групп объектов. Анализ расчёта коэффициентов вариации тягового сопротивления показал, что в подавляющем большинстве случаев варьирование можно считать малым (коэффициент $V < 10\%$). В тоже время для некоторых распределений (в основном, для зависимости тягового сопротивления от влажности) варьирование тягового сопротивления является средним (значения V находятся в интервале $10 \leq V < 30\%$).

Далее для предварительной оценки нормальности эмпирического распределения были построены гистограммы распределения значений тягового сопротивления. Для большей наглядности на гистограммы были наложены ожидаемые кривые нормального распределения, имеющие то же среднее и дисперсию, что и изучаемые переменные при соответствующих уровнях и интервалах варьирования входных факторов. Пример данных гистограмм приведён на рисунке 2.

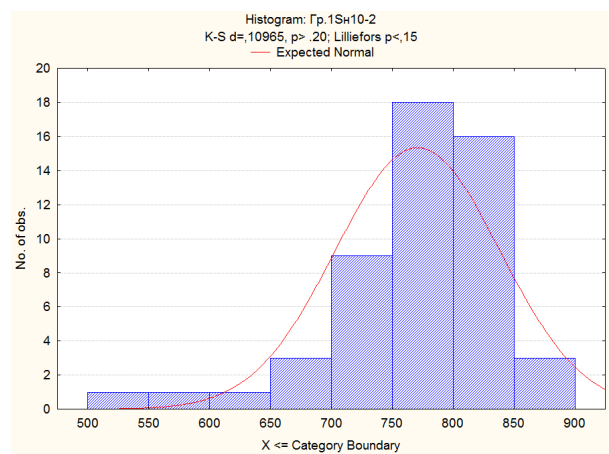
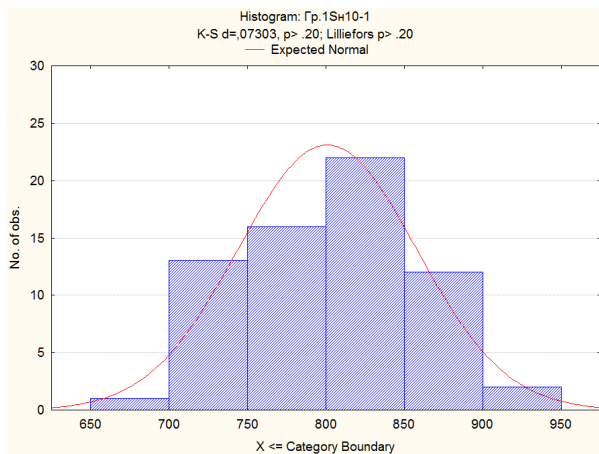


Рисунок 2. Гистограммы зависимости $P_T = f(n)$ при амплитуде подрезания $S_n = 10$ мм

Предварительный анализ распределения экспериментальных значений тягового сопротивления выявил, что полученные опытные данные соответствуют нормальному закону распределения. Для более точной проверки гипотезы о нормальном распределении случайной величины был использован критерий Колмогорова-Смирнова и критерий хи-квадрат. Пример расчётных значений критериев Колмогорова-Смирнова и хи-квадрат приведён в таблице 3.

Таблица 3. Расчётные значения критерия Колмогорова-Смирнова (К-С) и хи-квадрат для зависимости $P_T = f(n)$ при амплитуде подрезания корней $S_n = 5$ мм

	Обозначение распределений										
	Гр.1Sn 5-1	Гр.1Sn 5-2	Гр.1Sn 5-3	Гр.1Sn 10-1	Гр.1Sn 10-2	Гр.1Sn 10-3	Гр.1Sn 15-1	Гр.1Sn 15-2	Гр.1Sn 15-3	Гр.1Sn 20-1	Гр.1Sn 20-2
Критерий К-С	0,0814	0,0717	0,0957	0,0730	0,1096	0,0950	0,1105	0,0856	0,0640	0,1176	0,0662
Критерий хи-квадрат	10,405	9,923	14,049	7,388	5,694	7,098	1,108	3,358	1,686	10,613	4,774
Уровень значимости p	0,2154	0,2704	0,2817	0,2933	0,2580	0,3118	0,5745	0,6451	0,9461	0,2296	0,5730

Результат проверки гипотезы о нормальном распределении значений тягового сопротивления при помощи критерия хи-квадрат показал, что практически для всех распределений расчётные величины критерия хи-квадрат получены при значениях критического уровня значимости $p > [p] = 0,2$. Исключением (также как и при расчёте по критерию Колмогорова-Смирнова) является распределение значений тягового сопротивления Гр.4Но80-3, для которого расчётное значение уровня значимости $p < [p]$. Поэтому данное распределение нельзя признать соответствующим нормальному закону.

Для выявления связи между независимыми переменными (входными факторами – регрессорами) и зависимой переменной (тяговым сопротивлением) был проведён корреляционный и регрессионный анализ.

При проведении корреляционного анализа одним из наиболее важных показателей является величина коэффициента корреляции R . Оценка значимости полученного уравнения регрессии, а соответственно адекватности всей модели и правильности выбора формы связи, проводилась на основе вычисления F-критерия Фишера. Примеры полученных уравнений регрессии представлены на рисунке 3.

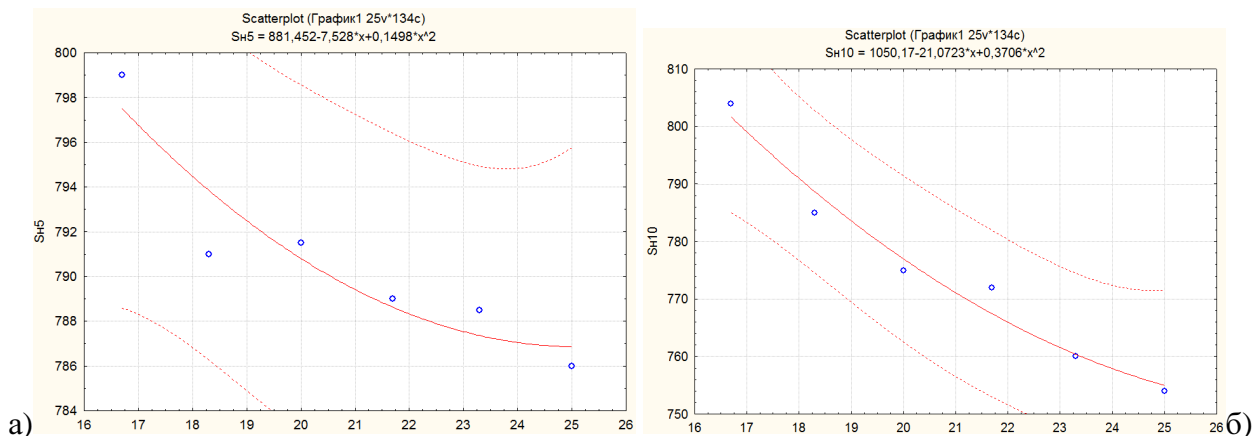


Рисунок 3. Уравнения регрессии для распределений: а) Гр.1Sn5; б) Гр.1Sn10

Предварительный анализ графиков показал, что полученные регрессионные модели адекватно описывают экспериментальные данные. Пример численных результатов проведения корреляционного и регрессионного анализов приведён в таблице 4.

Т а б л и ц а 4. Р е з у л ь т а т ы к о р р е л я ц и о н н о г о и р е г р е с с и о н н о г о а н а л и з о в

Обозначения распределений	Параметры			
	Коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R^2	Значение F-критерия Фишера $F_{факт}$	Уровень значимости F-критерия p
Гр.1Sn5	0,8973	0,8052	16,539	0,0152
Гр.1Sn10	0,9737	0,9481	73,117	0,00102
Гр.1Sn15	0,96	0,9216	47,043	0,0023
Гр.1Sn20	0,9646	0,9113	41,102	0,0030
Гр.2Ho160	0,8838	0,7802	14,206	0,0196
Гр.2Ho120	0,8973	0,8052	16,539	0,0152
Гр.2Ho80	0,8764	0,7681	13,25	0,0219

Гр.3Sn5	0,9627	0,9267	37,980	0,0085
---------	--------	--------	--------	--------

Результаты корреляционного и регрессионного анализов выявили следующее.

Ввиду того, что условие $F_{факт} > F_{табл} = 5,91$ при малых величинах уровня значимости p было выполнено для всех распределений тягового сопротивления, то рассмотренные уравнения регрессии необходимо признать статистически значимыми при отклонении нулевой гипотезы от случайности оцениваемых характеристик.

Полученные значения коэффициентов корреляции варьируются в пределах 0,8764...0,9860, что указывает на тесную и очень тесную связь между входными и выходными параметрами.

В целом, по результатам проведённых экспериментальных исследований можно сделать следующие **выводы**.

1. На основе обработки экспериментальных данных, полученных при проведении многофакторного эксперимента, были построены экспериментальные графики зависимости тягового сопротивления корнеподрезчика (как функции времени) от принятых входных факторов. Анализ построенных графиков позволил установить, что для статистической обработки экспериментальных данных наиболее важными являются данные, соответствующие рабочему ходу корнеподрезчика.

2. Обработка статистических описательных характеристик полученных опытных данных позволила установить, что в подавляющем большинстве случаев варьирование экспериментальных значений тягового сопротивления является малым (величина коэффициента вариации $V < 10 \%$).

3. Анализ экспериментальных значений тягового сопротивления, проведённый при помощи критерия Колмогорова-Смирнова и критерия хи-квадрат, выявил, что данные распределения соответствуют закону нормального распределения при значениях критического уровня значимости $p > [p] = 0,2$.

4. В результате проведённого корреляционного и регрессионного анализа было установлено, что полученные уравнения регрессии являются статистически значимыми при отклонении нулевой гипотезы от случайности оцениваемых характеристик. Полученные значения коэффициентов корреляции варьируются в пределах 0,8764...0,9860, что указывает на тесную и очень тесную связь между входными и выходными параметрами.

5. В результате проведённого анализа совокупности теоретических и экспериментальных зависимостей было установлено, что отличие экспериментальных результатов от теоретических вычислений составляет в среднем 10 %.

6. Лабораторные экспериментальные исследования подтверждают работоспособность и эффективность разработанного корнеподрезчика с активными рабочими органами.

Список литературы

1. Боровиков В. П. STATISTICA // Искусство анализа данных на компьютере для профессионалов.– СПб.: Питер, 2008. – 688 с.
2. Драпалюк М. В. Влияние подрезки корневой системы на морфологические характеристики сеянцев сосны обыкновенной (PINUS SYLVESTRIS) //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки.– 2006. – № 3. – С. 115-117.
3. Драпалюк М. В., Снятков Е. В., Платонова М. А. Способ выращивания посадочного материала // Патент России № 2438296. 2012. Бюл. № 1.
4. Драпалюк М. В., Снятков Е. В., Платонова М. А., Платонов А. А. Корнеподрезчик //Патент России № 2446654. 2012. Бюл. № 10.
5. Мешалкина Ю. Л. Математическая статистика в почвоведении // Практикум.– М.: МАКС Пресс, 2008.– 84 с.
6. Платонова М. А. Математическая модель управления вибрационным процессом подрезания корней саженцев лесных культур [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 74 (10): сайт. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/24.pdf> (дата обращения 11.04.2011).
7. Попиков П. И., Юдин Р. В., Платонова М. А., Платонов А. А. Гидравлический вибратор // Патент России № 2433001. 2011. Бюл. № 31.

Рецензенты:

Тарасенко Александр Павлович, д.т.н., профессор кафедры сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет», г. Воронеж.

Афоничев Дмитрий Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ремонта машин ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет» г. Воронеж.