

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЛЕСНОГО ПЛУГА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ
КАТКАМИ-РЫХЛИТЕЛЯМИ ПЛАСТОВ**

Дручинин Д.Ю., Фатхулин В.Р., Бурмистров Р.М.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**CORRELATION ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON THE FOREST
PLOW OPERATION WITH ADDITIONAL ROLLERS-RIPPERS
FOR SEAM**

Druchinin D.Yu., Fatkhulin V.R., Burmistrov R.M.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

Аннотация: представлены результаты корреляционного анализа данных, полученных в процессе реализации полевых экспериментов по работе лесного плуга с дополнительными катками-рыхлителями отваливаемых почвенных пластов.

Abstract: The results of a correlation analysis of data obtained during field experiments on the operation of a forest plow with additional rollers-rippers for dumping the soil seams are presented.

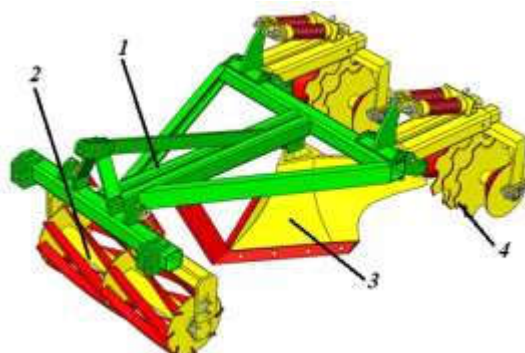
Ключевые слова: лесовосстановление, обработка почвы, лесной плуг, почвенный пласт, каток-рыхлитель, полевые исследования, корреляция данных

Keywords: reforestation, soil cultivation, forest plow, soil seam, roller-ripper, field study, data correlation.

Последовательные технологические операции при проведении лесовосстановительных работ первоначально предусматривают расчистку вырубок от пней, порубочных остатков и других препятствий, которые могут помешать качественной работе лесохозяйственной техники. После предварительной подготовки на восстанавливаемой площади по определенной технологии [3, 5] выполняется обработка лесной почвы специальными машинами или орудиями, принцип реализации которой зависит от природно-производственных условий (лесорастительная зона, тип почвы, количество выпадаемых осадков и т.д.) и объема планируемых работ [4].

Для повышения качества и эффективности процесса подготовки почвы в виде микроповышений – пластов под посадку лесных культур по краям борозды как одного из основных факторов, влияющих на приживаемость и развитие растений, в ВГЛТУ разработана конструкция лесного плуга с дополнительными

катками-рыхлителями пластов, воздействующими на отваленные почвенные массы (рис. 1).



1 – рама; 2 – ножевой барабан; 3 – лемешно-отвальный корпус;
4 – катки-рыхлители

Рисунок 1 – Лесной плуг для подготовки почвы под посадку лесных культур в пласт

С целью экспериментальной оптимизации параметров катков-рыхлителей была составлена программа проведения полевых исследований и изготовлен экспериментальный образец разрабатываемого лесного плуга (рис. 2) [1].



1 – навеска орудия; 2 – тензометрическая навеска; 3 – рама; 4 – опорное колесо;
5 – плужный корпус, 6 – каток-рыхлитель, 7 – предохранительная батарея

Рисунок 2 – Экспериментальный образец лесного плуга для проведения полевых экспериментов

Согласно требованиям к плотности и высоте создаваемых для посадки лесных культур микроповышений с использованием экспериментального оборудования осуществлялся замер:

- тягового сопротивления орудия;
- плотности центральной части отваленного на край борозды пласта после прохода агрегата;
- высоты поперечного профиля отваленного пласта после прохода агрегата.

Конструкция катков-рыхлителей экспериментального образца лесного плуга и агрегируемый трактор предусматривали возможность варьирования следующих входных параметров в процессе экспериментов:

- угол прикатывания конусов катка α_{np} (X_1);
- число вырезов на дисках катка $n_{выр}$ (X_2);
- поступательная скорость агрегата V_{mp} (X_3).

Граничные интервалы и уровни экспериментальных факторов полевого исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Граничные условия исследуемых факторов

Фактор	Единица измерения	Уровень варьирования			Интервал варьирования Δi ,
		нижний, $X_i^{(-1)}$	основной, $X_i^{(0)}$	верхний, $X_i^{(+1)}$	
Угол прикатывания конусов катка α_{np}	град.	30	37,5	45	7,5
Число вырезов на дисках катка $n_{выр}$	шт.	8	10	12	2
Поступательная скорость агрегата V_{mp}	м/с	1,11	1,39	1,67	0,28

В итоге, с учетом трех независимых входных факторов, включенных в программу полевых исследований для оценки их влияния на рабочий процесс лесного плуга, кодированная матрица экспериментальной программы из восьми экспериментов имеет следующий вид (табл. 2):

Таблица 2 – Матрица планирования ПФЭ

Номер эксперимента	X_1	X_2	X_3	Y_1 , тяговое сопротивление	Y_2 , плотность пласта	Y_3 , высота пласта
1	-1	-1	+1	$Y_{1\ 1}$	$Y_{2\ 1}$	$Y_{3\ 1}$
2	-1	+1	-1	$Y_{1\ 2}$	$Y_{2\ 2}$	$Y_{3\ 2}$
3	+1	-1	-1	$Y_{1\ 3}$	$Y_{2\ 3}$	$Y_{3\ 3}$
4	+1	+1	+1	$Y_{1\ 4}$	$Y_{2\ 4}$	$Y_{3\ 4}$
5	-1	-1	-1	$Y_{1\ 5}$	$Y_{2\ 5}$	$Y_{3\ 5}$
6	-1	+1	+1	$Y_{1\ 6}$	$Y_{2\ 6}$	$Y_{3\ 6}$
7	+1	-1	+1	$Y_{1\ 7}$	$Y_{2\ 7}$	$Y_{3\ 7}$
8	+1	+1	-1	$Y_{1\ 8}$	$Y_{2\ 8}$	$Y_{3\ 8}$

Полевое исследование рабочего процесса разработанного лесного плуга с дополнительными катками-рыхлителями проводилось на опытном полигоне Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ, и было направлено на определение

наименьшего значения тягового сопротивления при достаточной плотности и высоте отвального почвенного пласта в зависимости от установленных параметров конструкции экспериментального образца (рис. 3).



Рисунок 3 – Результат прохода катка-рыхлителя по отвальному пласту

После реализации запланированной программы исследований для более углубленного изучения перед составлением регрессионных моделей данные полевых экспериментов были подвергнуты корреляционному анализу с целью установления тесноты взаимосвязи между независимыми переменными и выходными оцениваемыми критериями эффективности процесса дополнительного воздействия на почвенный пласт и подтверждения отсутствия мультиколлинеарности между входными факторами [2].

Матрица корреляционного анализа для тягового сопротивления лесного плуга представлена в табл. 3.

Установлено, что среди исследуемых переменных наиболее высокую прямую связь с величиной тягового сопротивления плуга имеет поступательная скорость агрегата (коэффициент корреляции для $X_3 = 0,564$ – заметное значение по шкале Чеддока). Рассчитанный коэффициент детерминации R , равный 0,318, показывает, что изменение Y_1 на 32 % объясняется влиянием именно переменной X_3 . Изменение угла прикатывания конусов катка-рыхлителя α_{np} в умеренной степени влияет на тяговое сопротивление (значение коэффициента корреляции 0,353). Самая незначительная связь наблюдается между числом вырезов на дисковых вырезных ножах и тяговым сопротивлением плуга (коэффициент корреляции – 0,211).

Матрица влияния входных переменных на плотность почвы в отвальном пласте после прохода катка-рыхлителя с коэффициентами корреляции представлена в табл. 4.

Таблица 3 – Матрица коэффициентов корреляционного анализа для тягового сопротивления R_n исследуемой конструкции лесного плуга

	X_1 Угол прикаты- вания конусов α_{np}	X_2 Число вырезов на дисковых ножах $n_{выр}$	X_3 Поступательная скорость агрегата $V_{тр}$	Y_{1cp} Тяговое сопротивле- ние R_n
X_1 Угол прикатыва- ния конусов α_{np}	1			
X_2 Число вырезов на дисковых но- жах $n_{выр}$	0	1		
X_3 Поступательная скорость агрегата $V_{тр}$	0	0	1	
Y_{1cp} Тяговое сопротивление R_n	0,353058	0,21092	0,563935058	1

Таблица 4 – Матрица коэффициентов корреляционного анализа для плотности почвы $\rho_{пл}$ после прохода катка-рыхлителя

	X_1 Угол прикатывания конусов α_{np}	X_2 Число вырезов на дисковых ножах $n_{выр}$	X_3 Поступательная скорость агрегата $V_{тр}$	Y_{2cp} Плотность почвы $\rho_{пл}$
X_1 Угол прикатыва- ния конусов α_{np}	1			
X_2 Число вырезов на дисковых ножах $n_{выр}$	0	1		
X_3 Поступательная скорость агрегата $V_{тр}$	0	0	1	
Y_{2cp} Плотность почвы $\rho_{пл}$	0,051118811	0,79345285	-0,197807573	1

Было установлено, что высокую тесноту связи с плотностью почвы в отваленном пласте имеет число вырезов на дисковых вырезных ножах (значение коэффициента корреляции с прямой связью 0,793), объясняя на 63 % вариабельность Y_2 при изменении X_2 (согласно значению коэффициента детерминации $R = 0,629$). Слабую обратную связь имеет плотность почвы и поступательная скорость агрегата (коэффициент корреляции -0,198). Угол прикатывания конусов практически не влияет на плотность пласта (коэффициент корреляции –

0,051). Это можно объяснить взятием замеров в центральной части отваленного пласта, тогда как конусные уплотнители больше воздействуют на края почвенных масс и уплотняя их именно там.

В табл. 5 представлены результаты корреляционного анализа по влиянию входных переменных X на среднюю высоту отваленного пласта после прохода катка-рыхлителя. Наибольшее влияние на высоту пласта оказывает поступательная скорость агрегата (значение коэффициента корреляции с прямой связью 0,746 – высокая теснота связи, коэффициент детерминации $R = 0,556$).

Между числом вырезов на дисковых ножах катка-рыхлителя и высотой пласта обратная слабая связь (коэффициент корреляции -0,012), поэтому из дальнейшего регрессионного анализа результатов эксперимента данный фактор X_2 целесообразно исключить. В то же время угол прикатывания конусов α_{np} оказывает умеренное обратное влияние на высоту формируемого пласта как микроповышения (коэффициент корреляции -0,387), т.е. с увеличением угла прикатывания α_{np} средняя высота поперечного профиля пласта уменьшается.

Таблица 5 – Матрица коэффициентов корреляционного анализа для высоты пласта $h_{пл}$ после прохода катка-рыхлителя

	X_1 Угол прикатывания конусов α_{np}	X_2 Число вырезов на дисковых ножах $n_{выр}$	X_3 Поступательная скорость агрегата $V_{тр}$	$Y_{зср}$ Высота пласта $h_{пл}$
X_1 Угол прикатывания конусов α_{np}	1			
X_2 Число вырезов на дисковых ножах $n_{выр}$	0	1		
X_3 Поступательная скорость агрегата $V_{тр}$	0	0	1	
$Y_{зср}$ Высота пласта $h_{пл}$	-0,386680025	-0,012483492	0,746389541	1

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00876, <https://rscf.ru/project/25-19-00876/>.

Список литературы

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М: Наука, 1976. – 280 с.
2. Баврина А.П. Современные правила применения корреляционного ана-

лиза / А.П. Баврина, И.Б. Борисов // Медицинский альманах. – 2021. – № 3(68). – С. 70-79.

3. Драпалюк М.В. Структура рабочего времени корчевания нежелательной растительности / М.В. Драпалюк, В.Н. Коротких, А.А. Платонов // Технологии в биоэкономике: инновации и вызовы в XXI веке: Материалы Международного форума, Воронеж, 28-30 мая 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 69-75. – DOI 10.58168/TBiEc2025_69-75.

4. Дручинин Д.Ю. Особенности работы лесохозяйственной техники на вырубках / Д.Ю. Дручинин, Е.В. Поздняков // Хвойные бореальной зоны. – 2019. – Т. 37, № 6. – С. 448-454.

5. Совершенствование технологий и техники для расчистки площадей от нежелательной древесно-кустарниковой растительности / М.В. Драпалюк, В.Н. Коротких, А.А. Платонов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 3(94). – С. 136-146. – DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.014.

References

1. Adler Yu.P. Design of Experiments for Finding Optimal Conditions / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovsky. – 2nd ed., revised and supplemented. – Moscow: Nauka, 1976. – 280 p.

2. Bavrina A.P. Modern Rules for Applying Correlation Analysis / A.P. Bavrina, I.B. Borisov // Medical Almanac. – 2021. – № 3(68). – pp. 70-79.

3. Drapalyuk M.V. Structure of Working Time for Grubbing Unwanted Vegetation / M.V. Drapalyuk, V.N. Korotkikh, A.A. Platonov // Technologies in the Bioeconomy: Innovations and Challenges in the 21st Century: Proceedings of the International Forum, Voronezh, May 28-30, 2025. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, 2025. – pp. 69-75. – DOI: 10.58168/TBiEc2025_69-75.

4. Druchinin D.Yu. Operational Characteristics of Forestry Machinery on Felling Sites / D.Yu. Druchinin, E.V. Pozdnyakov // Conifers of the Boreal Zone. – 2019. – Vol. 37, № 6. – pp. 448-454.

5. Improvement of Technologies and Machinery for Clearing Areas of Unwanted Tree and Shrub Vegetation / M.V. Drapalyuk, V.N. Korotkikh, A.A. Platonov [et al.] // Forests of Russia and Forestry. – 2025. – № 3(94). – pp. 136-146. – DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.014.