

Научная статья

УДК 631.3.072+519.8

EDN UJQKZL

DOI: 10.22450/199996837_2022_3_96

Построение математических моделей для определения тягового сопротивления

**Александр Владимирович Ленский¹, Александр Анатольевич Жешко²,
Анна Александровна Алетдинова³**

^{1,2} Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь

³ Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирская область, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный технический университет
Новосибирская область, Новосибирск, Россия

¹ alex_lensky@mail.ru, ² azeshko@gmail.com, ³ aletdinova@corp.nstu.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в построении модели прогнозирования тягового сопротивления рабочих органов на основе отбора признаков, характеризующих параметры эксплуатации машин для основной обработки почвы. Для достижения цели авторами дополнительно к проведённым полевым испытаниям была выполнена серия опытов. В работе приведены результаты замера тягового сопротивления для лап типа АКШ при варьировании скорости движения и глубины обработки почвы. В качестве метода анализа этих данных использована параметрическая статистика. Исследование показало, что вид распределения тягового сопротивления в группах, выделенных по глубине обработки и скорости движения, в большинстве случаев подчиняется нормальному закону распределения. Результаты теста Левена не подтверждают однородность дисперсий в группах, что говорит о снижении точности оценки до 10 % (допустимое значение). Данные наблюдений независимы, средние значения в группах не совпадают. Таким образом, группы исследования статистически различаются. Для прогнозирования тягового сопротивления рабочих органов для культивации и предпосевной обработки, чизельной обработки, глубокого рыхления авторами построены множественные нелинейные регрессионные модели с переменными «глубина обработки» и «скорость движения».

Ключевые слова: тяговое сопротивление, дисковый рабочий орган, чизельная лапа, лапа культиватора, стойка, математическая модель

Для цитирования: Ленский А. В., Жешко А. А., Алетдинова А. А. Построение математических моделей для определения тягового сопротивления // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 3. С. 96–106. doi: 10.22450/199996837_2022_3_96.

Original article

Construction of mathematical models to determine traction resistance

Aleksandr V. Lenski¹, Aleksandr A. Zheshko², Anna A. Aletdinova³

^{1,2} Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus
on Agricultural Mechanization, Minsk, Republic of Belarus

³ Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia

¹ alex_lensky@mail.ru, ² azeshko@gmail.com, ³ aletdinova@corp.nstu.ru

Abstract. The purpose of the study is construction of a model for predicting traction resistance of working bodies based on the selection of features, characterizing the parameters of machine operation for basic tillage. In order to achieve it, the authors performed a series of experiments in addition to the conducted field tests. The paper presents the results of measuring traction resistance for a share of combined wide-cut unit type with varying of movement speed and tillage depth. Parametric statistics was used as a method of analyzing this data. The study showed that the type of distribution of traction resistance in groups, identified by tillage depth and movement speed, in most cases, was subjected to the normal distribution law. The results of Levene's test do not confirm the uniformity of variances in the groups, which indicates a decrease in the accuracy of the assessment to 10 % (acceptable value). The observational data are independent; the average values in the groups do not coincide. Thus, the study groups are statistically different. To predict the traction resistance of working bodies for cultivation and pre-sowing cultivation, chisel cultivation, deep loosening, the authors constructed multiple nonlinear regression models with variables "depth tillage" and "movement speed".

Keywords: traction resistance, disk working body, chisel share, cultivator share, rack, mathematical model

For citation: Lenski A. V., Zheshko A. A., Aletdinova A. A. Postroenie matematicheskikh modelei dlya opredeleniya tyagovogo soprotivleniya [Construction of mathematical models to determine traction resistance]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2022; 16; 3: 96–106. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837_2022_3_96.

Введение. Задача моделирования сопротивления рабочих органов не требует нового инструментария и основывается на экспериментальных и расчётных данных. При этом часто новые результаты обеспечиваются обновлением технического оснащения растениеводства и технологическими особенностями производства. С другой стороны, анализ тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин позволяет совершенствовать и разрабатывать новые органы [1].

Как отмечают Н. И. Джабборов, А. В. Сергеев, Г. А. Семенова, «исследование процесса поверхностной обработки почвы динамичными почвообрабатывающими рабочими органами с учётом взаимосвязи между колебаниями тягового сопротивления и их подвижных (упругих) элементов является актуальной задачей, так как позволяет осуществить оптимизацию конструктивно-технологических параметров и режимов их функционирования» [2].

Целью исследования явились статистический анализ признаков, характеризующих параметры эксплуатации машин для основной обработки почвы и разработка достоверных моделей прогнозирования тягового сопротивления рабочих органов.

Задачи исследований: 1) собрать необходимые данные для построения математических моделей; 2) разработать математические модели изменения тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин для основной обработки почвы.

Материалы и методы исследования. Собранные по результатам лабораторных и полевых опытов данные о тяговом сопротивлении рабочих органов машин для обработки почвы являются основой для построения математических моделей изменения тягового сопротивления в зависимости от значимых факторов. На базе полученных математических моделей предполагается разработать автоматизированную систему комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы, что в перспективе позволит использовать модуль автоматизированной системы также в системе автоматизированного построения технологических карт [3, 4, 5].

Для достижения цели и задач дополнительно к ранее проведённым полевым исследованиям рабочих органов проведена серия опытов в лабораторных условиях для уточнения математических моделей. Авторы использовали метод параметрической статистики, в том числе проводилась описательная статистика, параметриче-

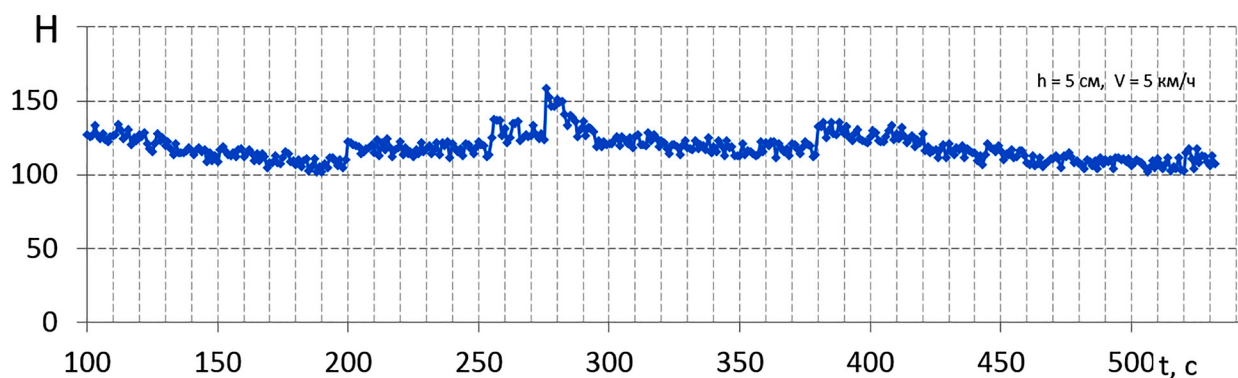
ский дисперсионный анализ (в частности, выполнена проверка по критерию Левена), корреляционный и регрессионный анализ.

Результаты исследования. Результаты замера тягового сопротивления представлены на рисунке 1.

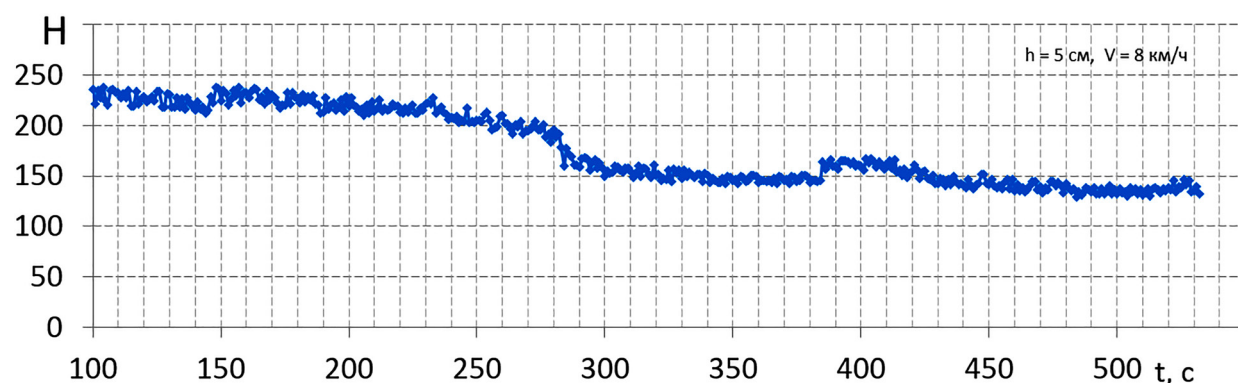
Подготовка исходной информации была основана на применении инструментальных методов с целью верификации различий выходного параметра и исклю-

чения случайных значений, не влияющих на результаты моделирования. Замеры проводились при установившихся значениях скорости движения от 5 до 15 км/ч с вариацией глубины обработки, составившей от 5 до 20 см.

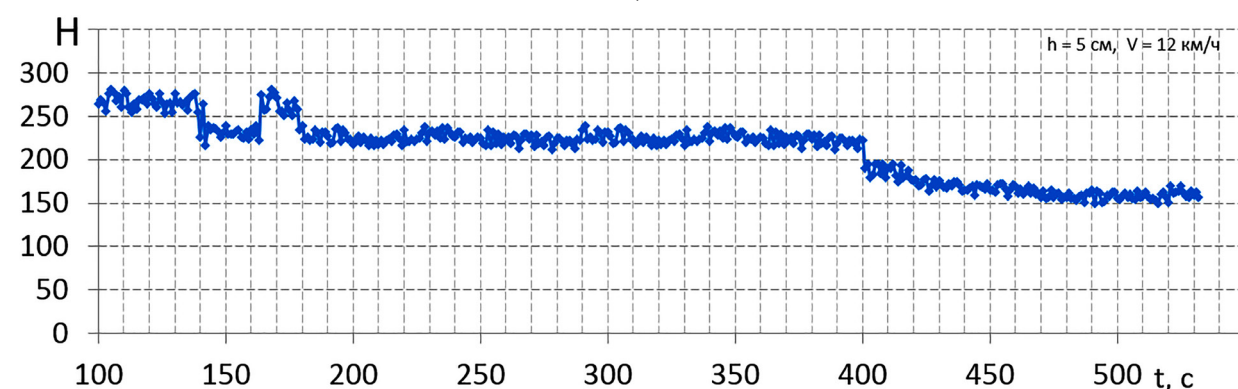
Общая оценка результатов исследования тягового сопротивления (на примере диска бороны). На первом этапе исследования выполнен расчёт описательных



а)



б)



в)

- а) лапа типа АКШ – глубина 5 см, скорость 5 км/ч;
 б) лапа типа АКШ – глубина 5 см, скорость 8 км/ч;
 в) лапа типа АКШ – глубина 5 см, скорость 12 км/ч

Рисунок 1 – Результаты замера тягового сопротивления

статистик значений тягового сопротивления при фиксированной скорости движения 5 км/ч. В качестве группирующего признака выступают параметры «Глубина обработки» и «Скорость движения». Расчёт проводился в целях установления однородности наблюдений и исключения, при необходимости, нетипичных значений.

Поскольку признак «Тяговое сопротивление» является количественным, для быстрого и детального описания его значений в группах могут применяться методы параметрической статистики [6].

Описательные статистики распределения тягового сопротивления в группах приведены в таблице 1.

Оценка различий тягового сопротивления в группах выполнена параметрическим дисперсионным анализом.

Проверяемой нулевой гипотезой является предположение, что средние значения признака в различных группах будут одинаковы. Другими словами, если $\mu_{общ}$ представляет собой среднее по генеральной совокупности i -го признака, а $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ – средние для k -ых уровней (групп) контролируемого фактора, то нулевая гипотеза выражается следующим образом:

$$H_0 : \mu_{общ} = \mu_1 = \mu_2 = \mu_k$$

Альтернативной гипотезой (H_1) будет предположение о том, что, по крайней мере, одно среднее отличается от других. Таким образом, в узком смысле дисперсионный анализ – это техника оценки нали-

чия или отсутствия различий между выборочными средними. При этом при оценке ложности H_0 совершенно неважно, что послужило причиной: отличие двух либо нескольких средних друг от друга.

Как метод математической статистики, дисперсионный анализ основывается на ряде допущений о свойствах и параметрах распределения наблюдаемых случайных величин.

Первое допущение такого анализа требует, чтобы значения признаков, соответствующих каждому уровню контролируемого фактора, были нормально распределены вокруг своего среднего.

Исследование вида распределения тягового сопротивления в разрезе групп показало (рис. 2), что в большинстве случаев он подчиняется нормальному закону (уровень значимости критерия Шапиро-Уилка (W-критерий) $p > 0,05$).

В тоже время необходимо отметить, что отрицательный результат о нормальном распределении признака абсолютно не отвергает возможности проведения дисперсионного анализа. Многочисленные исследования показали очень слабую его чувствительность к нарушению предположения нормальности. Следовательно, вид распределения имеет для данного статистического метода небольшое значение и фактическая вероятность ошибки I рода (возможность отвергнуть нулевую гипотезу, когда она в действительности верна, и сделать заключение, что μ_k отли-

Таблица 1 – Описательные статистики распределения тягового сопротивления диска бороны

Глубина, см	Скорость, км/ч	Сопротивление, Н	ДИ (-95 %)	ДИ (+95 %)	SD	SE	Min	Max
10	5	365,68	318,84	412,52	210,48	23,53	46,06	921,53
10	8	386,42	337,19	435,65	221,22	24,73	47,16	988,90
10	12	426,72	372,35	481,09	244,31	27,32	53,48	1 104,17
10	15	497,32	432,89	561,75	289,51	32,37	58,10	1 284,85
15	5	455,26	435,75	474,77	125,34	9,88	189,90	832,13
15	8	482,21	461,55	502,87	132,76	10,46	199,48	891,43
15	12	533,91	511,19	556,63	145,98	11,50	215,82	977,15
15	15	614,01	587,29	640,74	171,71	13,53	264,43	1 119,53
20	5	651,93	639,88	663,99	83,56	6,11	334,49	838,70
20	8	693,03	680,68	705,38	85,61	6,26	370,54	878,46
20	12	767,77	754,15	781,38	94,36	6,90	400,37	976,40
20	15	885,53	868,47	902,58	118,22	8,65	447,35	1 196,49

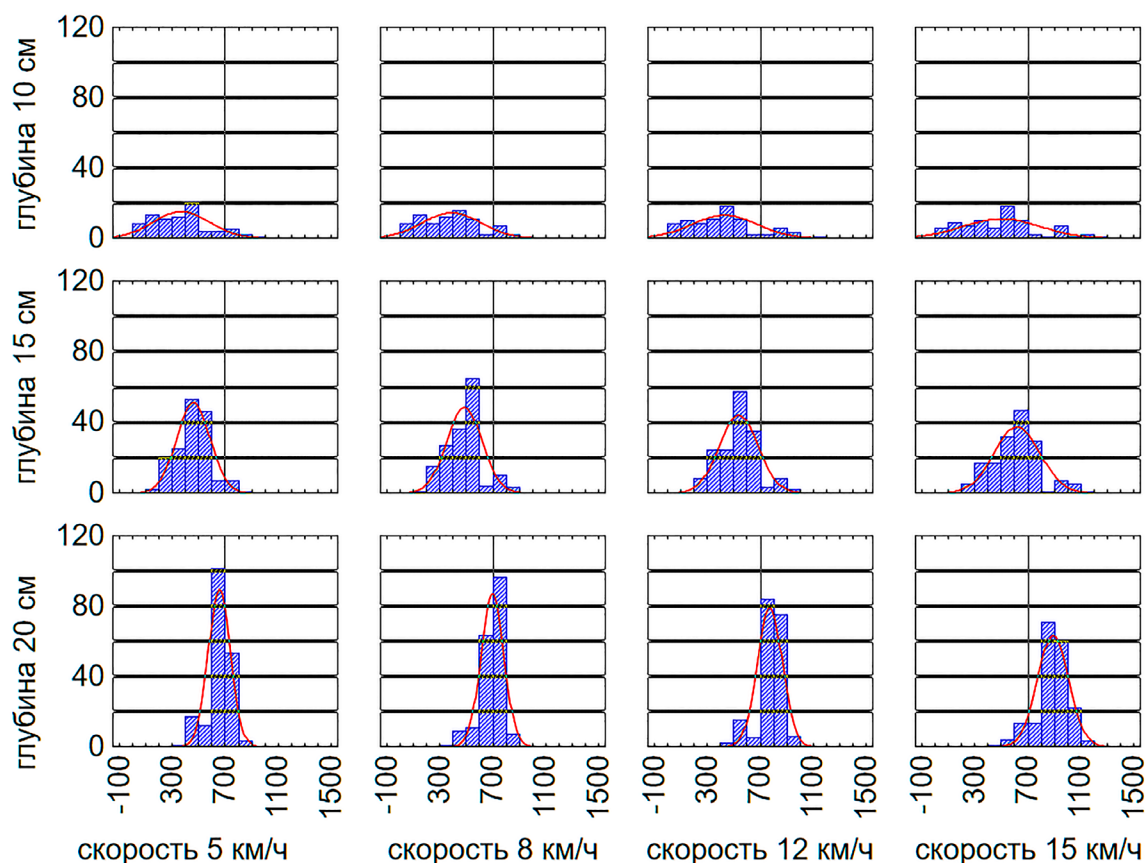


Рисунок 2 – Распределение тягового сопротивления диска бороны в группах по глубине обработки и скорости движения

чается от $\mu_{общ}$) практически не отличается от ранее установленной.

Второе допущение предполагает равенство дисперсий выборочных распределений, соответствующих каждому уровню контролируемого фактора (1):

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_k^2 \quad (1)$$

Это допущение также называют требованием однородности или гомогенности дисперсий.

Поскольку дисперсионный анализ является точной процедурой статистических расчётов, то, строго говоря, нарушение однородности дисперсий не может не повлиять на точность конечных оценок достоверности различия средних. Для проверки условия, что определённый признак имеет равные дисперсии в группах, выбран критерий Левена. Результаты теста Левена не подтверждают однородность дисперсий (p -уровень $\ll 0,05$), однако это нарушение снижает точность оценки до

10 %, что вполне допустимо для предварительных расчётов.

Третье допущение касается независимости полученных наблюдений. Это предположение означает, что для любых двух наблюдений мы не можем предсказать по значению одного наблюдения значение другого. В процессе эксперимента данные фиксировались при помощи тензометрирования, что исключает возможность некорректной записи результатов и позволяет утверждать о соблюдении вышеуказанного правила. Таким образом, применение дисперсионного анализа правомерно, а его результаты приведены в таблице стандартного вида (табл. 2).

По признаку «Тяговое сопротивление» нулевая гипотеза может быть отвергнута на установленном уровне значимости ($p < 0,05$). Это означает, что, по крайней мере, одно из средних статистически значимо отличается от других. Для того, чтобы конкретно понять, какие средние отличаются, используют процедуру попарного сравнения средних. Наиболь-

Таблица 2 – Результаты дисперсионного анализа тягового сопротивления диска бороны

Показатели	Признак «Тяговое сопротивление»
Межгрупповая сумма квадратов	40 254 142
Межгрупповая дисперсия	3 659 467
Внутригрупповая сумма квадратов	39 081 254
Внутригрупповая дисперсия	22 988,97
F-отношение	159,1836
p-уровень	0,00

шее распространение при апостериорных сравнениях средних получили тесты по критерию наименьшей значимости (*LSD test*). Результаты их выполнения приведены в таблице 3, где *M* – среднее значение в группе.

На основании данных таблицы 3 отметим, что гипотеза о равенстве средних значений величины тягового сопротивления отклоняется практически для всех групп (рис. 3).

Таким образом, группы исследования статистически различаются, что позволяет использовать показатели глубины обработки и скорости движения в целях построения модели прогнозирования тягового сопротивления.

Аналогичные расчёты в программе *Statistica* выполнены для других рабочих органов.

Прогнозирование тягового сопротивления (на примере диска бороны). Для разработки прикладной методики, позволяющей прогнозировать значения тягового сопротивления, использована модель множественной нелинейной регрессии (решения о включении переменных в модель принимались на основании результатов групповых оценок).

На основании предварительного анализа результатов испытаний выбрана регрессионная модель с линеаризующими преобразованиями переменных типа « X^3 » и пошаговым включением параметров. Численные оценки коэффициентов модели и стандартизированные коэффициенты приведены в таблице 4.

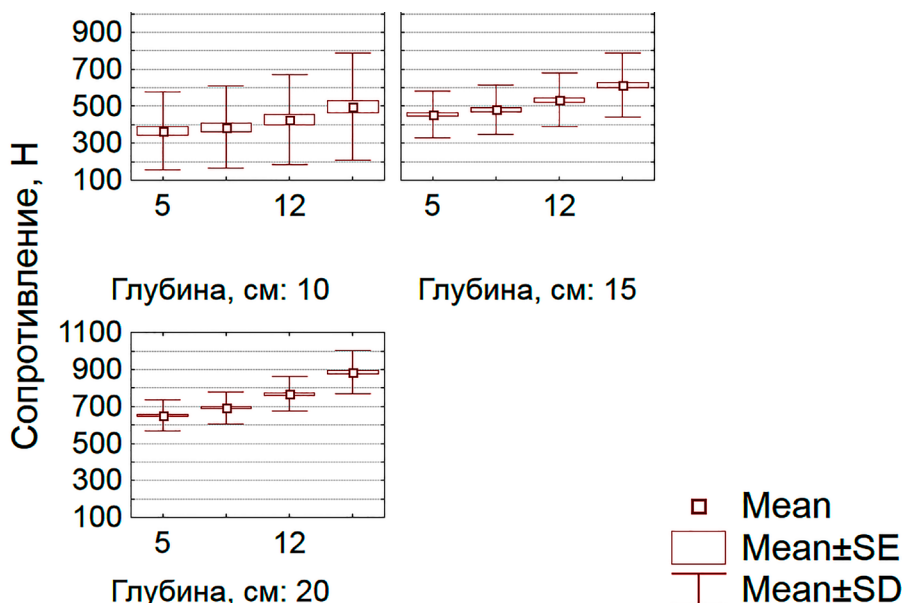


Рисунок 3 – Распределение тягового сопротивления диска бороны в группах по глубине обработки и скорости движения

Таблица 3 – Результаты выполнения теста апостериорного сравнения средних

Номер	Глубина, см	Скорость, км/ч	{1} M=	{2} M=	{3} M=	{4} M=	{5} M=	{6} M=	{7} M=	{8} M=	{9} M=	{10} M=	{11} M=	{12} M=
1	10	5	=365,68	=386,42	=426,72	=497,32	=455,26	=482,21	=533,91	=614,01	=651,93	=693,03	=767,77	=885,53
2	10	8	0,387108	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	10	12	0,010980	0,092937	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	10	15	0,000000	0,000004	0,003273	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	15	5	0,000017	0,000921	0,168946	0,042723	–	–	–	–	–	–	–	–
6	15	8	0,000000	0,000004	0,007531	0,466405	0,110948	–	–	–	–	–	–	–
7	15	12	0,000000	0,000000	0,000000	0,077852	0,000004	0,002252	–	–	–	–	–	–
8	15	15	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	–	–	–	–	–
9	20	5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,020119	–	–	–	–
10	20	8	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,0088	–	–	–
11	20	12	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,0000	0,000002	–	–
12	20	15	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000

Таблица 4 – Результаты оценки прогнозной модели

Показатели	<i>Beta</i>	Станд. ошибка <i>Beta</i>	<i>B</i>	Станд. ошибка <i>B</i>	<i>t</i> (1 708)	<i>p</i> -уровень
Свободный член	–	–	343,9776	51,98335	6,61707	0,000000
h^3	0,731238	0,091312	0,0560	0,00699	8,00812	0,000000
V^3	0,329080	0,017085	0,0559	0,00290	19,26114	0,000000
h	–0,106428	0,091312	–6,1158	5,24723	–1,16554	0,243964

Коэффициент детерминации (R^2) равен 0,5, то есть более 50 % изменчивости тягового сопротивления характеризуется параметрами глубины и скорости обработки. Оставшаяся часть может зависеть от значения показателей, которые не рассматривались в процессе испытаний: тип и структура почвы, влажность, угол установки и состояние рабочих органов, предшествующая обработка и др.

Коэффициент множественной корреляции (R) равен 0,71. Он характеризует тесноту связи между параметрами и откликом, а также является оценкой качества прогнозирования.

Величина *Beta* позволяет оценить вклад каждой переменной в предсказание отклика. Так, наибольший вклад в прогнозирование величины тягового сопротивления вносит глубина обработки, меньший вклад – скорость. Положительные значения этих коэффициентов свидетельствуют, что с их ростом значение тягового сопротивления увеличивается.

Для оценки адекватности построенной модели выполнен анализ распределения остатков (разность между фактическими и предсказанными значениями). Диаграмма распределения остатков соответствует нормальному закону (рис. 4).

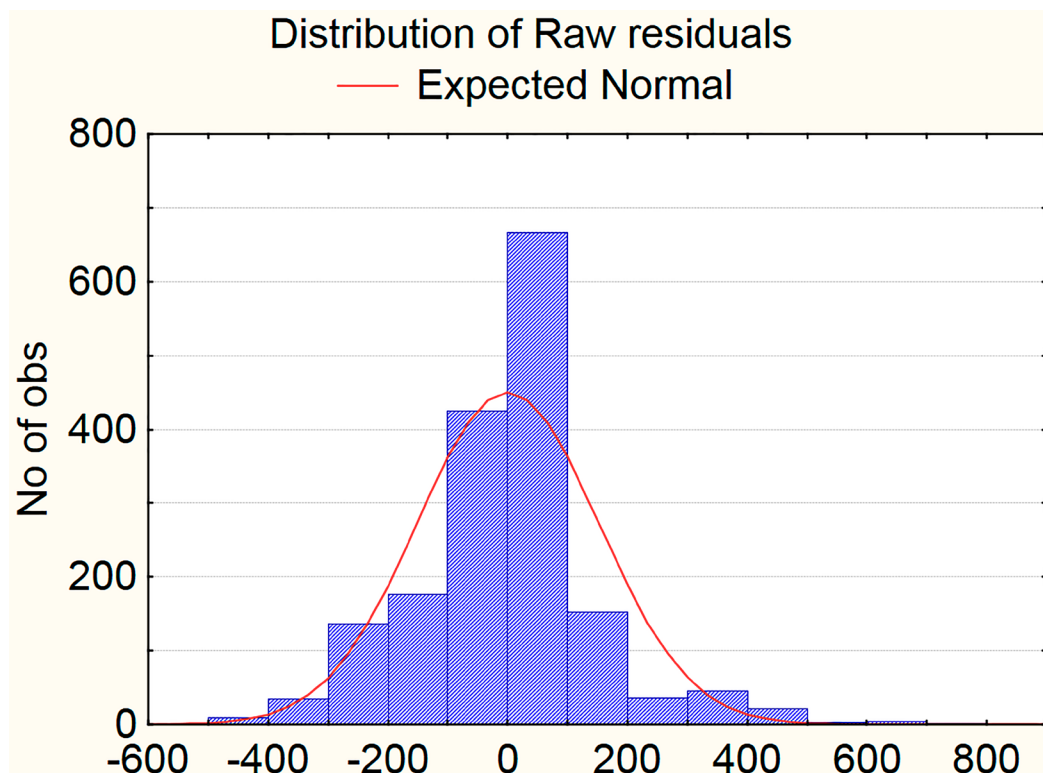


Рисунок 4 – Распределение остатков при прогнозировании тягового сопротивления диска бороны

Таким образом, построена адекватная нелинейная модель зависимости тягового сопротивления диска бороны от параметров обработки – глубины и скорости движения рабочего органа:

$$R = 343,9776 + 0,056 \cdot h^3 + 0,0559 \cdot V^3 - 6,1158 \cdot h \quad (2)$$

где R – тяговое сопротивление, Н;

h – глубина обработки, см;

V – скорость обработки, км/ч.

Последнее слагаемое из модели можно исключить, так как коэффициент (6,1158) статистически не значим, то есть верна гипотеза о равенстве нулю.

Свод расчётных и средних фактических значений тягового сопротивления при различных параметрах обработки приведён в таблице 5.

Максимальные отклонения расчётных и фактических значений не превышают 6 % (среднее значение – 3,5 %), что вполне достаточно для применения модели в качестве инструмента прикладного прогнозирования.

Аналогичным образом построены модели для прогнозирования тягового сопротивления рабочих органов для культивации и предпосевной обработки, чизельной обработки, глубокого рыхления на различных типах стоек.

Лапа чизельная на жёсткой стойке:

$$R = 259,2463 + 3,3901 \cdot h^2 + 0,0842 \cdot V^3 - 31,3494 \cdot h \quad (3)$$

Лапа стрельчатая на пружинной стойке:

$$R = 118,6997 + 0,1188 \cdot h^3 + 0,0562 \cdot V^3 \quad (4)$$

Лапа тупа АКШ:

$$R = 104,5433 + 0,3397 \cdot V^2 + 0,8461 \cdot h^2 \quad (5)$$

Лапа глубокорыхлителя, сдвоенная на жёсткой стойке:

$$R = 124,455 + 1,858 \cdot h^2 + 1,0628 \cdot V^2 + 21,2752 \cdot h + 0,0581 \cdot V^3 \quad (6)$$

Выводы. Таким образом, рассмотрены основные этапы построения математических моделей для определения тягового сопротивления рабочих органов для основной обработки почвы.

Полученные математические модели для определения тягового сопротивления дисковых рабочих органов, стрельчатых лап, глубокорыхлителей и других рабочих органов будут использоваться при выполнении тягового расчёта для комплектования машинно-тракторных агрегатов.

Автоматизированная система комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы позволит в оперативном режиме подбирать оптимальные конструктивные и технологические параметры, такие как рабочая ширина захвата машины и скорость движения, а также осуществлять выбор технических средств для реализации конкретных технологических операций.

Таблица 5 – Сравнительные значения фактического и расчётного тягового сопротивления диска бороны

Глубина, см	Скорость, км/ч			
	5	8	12	15
10	365,7 / 345,8	386,4 / 367,4	426,7 / 435,4	497,3 / 527,5
15	455,3 / 448,2	482,2 / 469,9	533,9 / 537,8	614,0 / 629,9
20	651,9 / 676,6	693,0 / 698,3	767,8 / 766,3	885,5 / 858,3

Список источников

1. Устинов Н. Н., Поддубный В. И., Мартыненко А. С. Механико-математическая модель рабочего органа культиватора для определения тягового сопротивления при действии вибрации // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. №. 3. С. 28–31.
2. Джабборов Н. И., Сергеев А. В., Семенова Г. А. Влияние колебаний элементов конструкции динамичного почвообрабатывающего рабочего органа на основные характеристики его тягового сопротивления // Агро-ЭкоИнженерия. 2019. № 4 (101). С. 15–24.
3. Ленский А. В., Жешко А. А. Разработка алгоритма оценки эксплуатационных показателей самоходных и стационарных технических средств // Механизация и электрификация сельского хозяйства : сб. науч. тр. Минск : Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2021. С. 156–163.
4. Жешко А. А., Ленский А. В. Методы комплектования машинно-тракторных агрегатов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 21–22 октября 2021 г.). Минск : Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2021. С. 90–95.
5. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Agronaut. URL: <https://agronaut.by/tech/> (дата обращения: 14.04.2022).
6. Халафян А. А. Statistica 6: статистический анализ данных. М. : Бином-Пресс, 2008. 512 с.

References

1. Ustinov N. N., Poddubnyj V. I., Martynenko A. S. Mekhaniko-matematicheskaya model' rabocheho organa kul'tivatora dlya opredeleniya tyagovogo soprotivleniya pri dejstvii vibracii [A mechanical and mathematical model of a cultivator's working organ for determining traction resistance during vibration]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – Achievements of science and technology of agriculture*, 2017; 31; 3: 28–31 (in Russ.).
2. Dzhabborov N. I., Sergeev A. V., Semenova G. A. Vliyanie kolebanij elementov konstrukcii dinamichnogo pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa na osnovnye harakteristiki ego tyagovogo soprotivleniya [Influence of vibrations of structural elements of a dynamic tillage working body on the main characteristics of its traction resistance]. *AgroEkoInzheneriya*, 2019; 4 (101): 15–24 (in Russ.).
3. Lenskij A. V., Zheshko A. A. Razrabotka algoritma ocenki ekspluatatsionnyh pokazatelej samohodnyh i stacionarnyh tekhnicheskikh sredstv [Development of an algorithm for evaluating the operational performance of self-propelled and stationary technical means]. Proceedings from *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva – Mechanization and electrification of agriculture*. (PP. 156–163), Minsk, Nauchno-prakticheskij centr Nacional'noj akademii nauk Belarusi po mekhanizacii sel'skogo hozyajstva, 2021 (in Bel.).
4. Zheshko A. A., Lenskii A. V. Metody komplektovaniya mashinno-traktornyh agregatov [Methods of completing machine-tractor units]. Proceedings from Scientific and technical progress in agricultural production: *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya (21–22 oktyabrya 2021 g.) – International Scientific and Technical Conference*. (PP. 90–95), Minsk, Nauchno-prakticheskij centr Nacional'noj akademii nauk Belarusi po mekhanizacii sel'skogo hozyajstva, 2021 (in Bel.).
5. Tekhnologii vozdelevaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Technologies of cultivation of agricultural crops]. Retrieved from *Agronaut*.by <https://agronaut.by/tech/> (Accessed 14 April 2022) (in Bel.).
6. Halafyan A. A. *Statistica 6: statisticheskij analiz dannyh [Statistics 6: statistical data analysis]*, Moskva, Binom-Press, 2008, 512 p. (in Russ.).

© Ленский А. В., Жешко А. А., Алетдинова А. А., 2022

Статья поступила в редакцию 18.06.2022; одобрена после рецензирования 11.07.2022; принята к публикации 12.08.2022.

The article was submitted 18.06.2022; approved after reviewing 11.07.2022; accepted for publication 12.08.2022.

Информация об авторах

Ленский Александр Владимирович, кандидат экономических наук, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, alex_lensky@mail.ru;

Жешко Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, azeshko@gmail.com;

Алетдинова Анна Александровна, доктор экономических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирский государственный аграрный университет, aletdinova@corp.nstu.ru

Information about authors

Aleksandr V. Lenski, Candidate of Economic Sciences, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Agricultural Mechanization, alex_lensky@mail.ru;

Aleksandr A. Zheshko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Agricultural Mechanization, azeshko@gmail.com;

Anna A. Aletdinova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk State Technical University, aletdinova@corp.nstu.ru