

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ БОТВЫ ЛУКА РАБОЧИМ ОРГАНОМ БОТВОУДАЛЯЮЩЕЙ МАШИНЫ

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: surr@bk.ru

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Шабурова Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: shaburovs@mail.ru

Ключевые слова: ботвоудаляющая, машина, листостебельная, масса, ботва, лук.

Цель исследования – обосновать оптимальные параметры процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины в лабораторных условиях. Для решения проблемы удаления сорной растительности перед уборкой была разработана конструкция и изготовлен макетный образец ботвоудаляющего устройства для удаления листостебельной массы перед уборкой лука, лабораторные исследования которого проводились на почвенном канале. Для получения математической модели процесса удаления ботвы лука, учитывающей совокупное влияние изучаемых факторов на эффективную работу обрезчика, и определения оптимального сочетания параметров, было использовано планирование многофакторного эксперимента. При исследовании процесса удаления ботвы лука были выявлены факторы, влияющие на процесс работы. Первоначально их было выбрано более 12, которые характеризовали конструктивные и режимные параметры рабочего органа обрезчика, технологические условия протекания процесса, а также физико-механические свойства посевов лука. Обработку экспериментальных данных начинали с их графического представления на исходной диаграмме рассеивания. Степень влияния факторов оценивали по разности медиан значений опытных данных верхних и нижних уровней факторов и по числу выделяющихся точек. По этим признакам были выделены 4 фактора. При обработке результатов отсеивающего эксперимента получили линейное уравнение, описывающее поверхность отклика по показателю полноты удаления ботвы лука и сорных растений. Построенная математическая модель процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины в лабораторных условиях позволила выделить следующие значимые факторы, влияющие на полноту удаления ботвы лука и сорных растений: частоту вращения рабочего органа, высоту установки рабочего органа относительно поверхности поля, угол установки ножей.

Качественная работа теребильных машин обеспечивается лишь при надлежащей подготовке поля перед уборкой. Как показали исследования на период уборки засоренность полей достигает 60-70%, высота сорных растений при этом доходит до 50 см. Это объясняется тем, что время между последней обработкой посевов гербицидами и уборкой проходит две-три недели, что способствует росту сорных растений [1].

При уборке машинами теребильного типа, если поле предварительно не было подготовлено, происходит забивание вращающихся элементов теребильного аппарата, что приводит к снижению производительности машины, поломке и увеличению количества остановок для очистки [2, 3]. В связи с этим возникает необходимость удаления сорной растительности перед уборкой.

Цель исследования – обосновать оптимальные параметры процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины в лабораторных условиях.

Задача исследования – выделить значимые факторы, влияющие на полноту удаления ботвы лука и получить уравнение, описывающее поверхность отклика по этому критерию.

Материалы и методы исследований. Для решения проблемы удаления сорной растительности перед уборкой была разработана конструкция и изготовлен макетный образец ботвоудаляющего устройства для удаления листостебельной массы перед уборкой лука, лабораторные исследования которого проводились на почвенном канале (рис. 1, 2).

Методика проведения опыта следующая. На почвенном канале вкапывается лук и сорные растения, привезенные с поля (размещение лука и сорных растений в полосе – приближенное к полевым).

При вращении вала, с установленными на нем попарно напротив друг друга ножами, внутри кожуха создается воздушный поток, который поднимает полегшую ботву лука и подводит в зону резания, где растения срезаются и измельчаются. Для дальнейших исследований устанавливали необходимый угол наклона ножей, скорость вращения рабочего органа, высоту установки рабочего органа относительно поверхности,

линейную скорость перемещения рабочего органа. После того как были установлены все оптимальные параметры устройства, включали электродвигатель, приводя в движение рабочий орган, и запускали мотор-редуктор для привода тележки по направляющим полозьям почвенного канала, в результате чего производилось удаление ботвы лука. После скашивания подсчитывали полноту удаления ботвы в процентах.

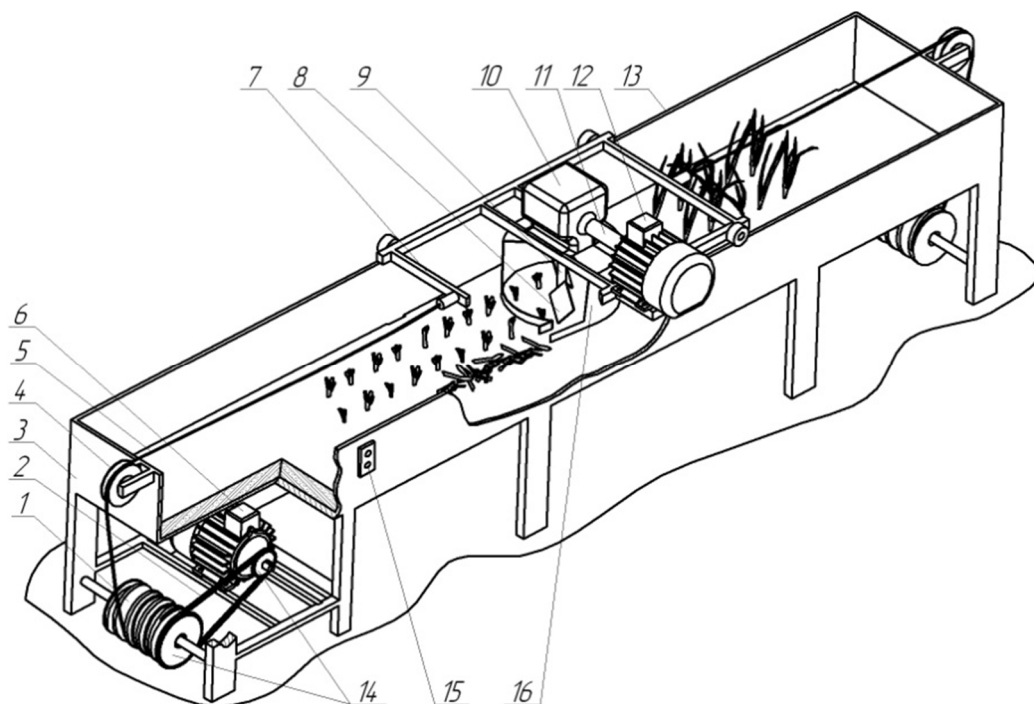


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1 – система полиспастов; 2 – цепь; 3 – почвенный канал; 4 – ролик; 5 – трос; 6 – мотор-редуктор; 7 – тележка; 8 – ножи; 9 – вал; 10 – конический редуктор; 11 – гибкий вал; 12 – электродвигатель; 13 – направляющие полозья почвенного канала; 14 – звездочки; 15 – пульт управления; 16 – кожух



Рис. 2. Общий вид рабочего органа

Для получения математической модели процесса удаления ботвы лука, учитывающей совокупное влияние изучаемых факторов на эффективную работу обрезчика, и определения оптимального сочетания параметров было использовано планирование многофакторного эксперимента. При планировании эксперимента первоначально выбирался критерий оптимизации, то есть параметр, по которому оценивается исследуемый объект и который связывает факторы в математическую модель. Для любого обрезчика оценочными критериями процесса являются полнота удаления, травмирование, производительность и энергоёмкость. В данном случае в качестве критерия оптимизации была принята полнота удаления, а остальные критерии использовались как ограничения [4].

Результаты исследований. При исследовании процесса удаления ботвы лука были выявлены факторы, влияющие на процесс работы. Первоначально их было выбрано более 12, которые характеризовали конструктивные и режимные параметры рабочего органа обрезающего, технологические условия протекания процесса, а также физико-механические свойства посевов лука. При исследованиях невозможно охватить влияние всех факторов и их взаимодействия. Поэтому, на основании априорной информации, а также исходя из конкретных задач исследования, были выделены наиболее существенные факторы. Причем некоторые из них в процессе исследований не изменялись и были закреплены на постоянных уровнях [5].

Оставшиеся наиболее существенные факторы, влияющие на полноту удаления ботвы лука, и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы, влияющие на полноту удаления ботвы лука

Обозначение	Наименование факторов	Уровни варьирования	
		-1	+1
X_1	Скорость движения агрегата, м/с	0,156	0,956
X_2	Частота вращения рабочего органа, мин ⁻¹	1200	2200
X_3	Высота установки рабочего органа относительно поверхности поля, м	0,04	0,10
X_4	Угол установки ножей, град	45	65
X_5	Ширина ножей, м	0,10	0,18
X_6	Ширина ботвоотводящего окна, м	0,14	0,22
X_7	Угол установки рабочих органов относительно продольной оси рамы, град	15	25
X_8	Расстояние между крайними точками ножей соседних рабочих органов, м	0,01	0,03

С целью сокращения общего объема опытов проводили отсеивающий эксперимент. Для проведения отсеивающего эксперимента составляли матрицу с учетом первоначально выделенных факторов (табл. 2) путем случайного смешивания двух полуреplik типа 2^{4-1} . Одну полуреплику отнесли к факторам $X_1 - X_4$, другую – к факторам $X_5 - X_8$. Число опытов в матрице должно быть кратным $2k$ и превышать число $k+1$ (k – число факторов). Поэтому в матрицу были включены опыты 9 и 10, образованные случайной выборкой из обеих полуреplik. План эксперимента был рандомизирован с помощью таблиц случайных чисел.

Матрица планирования отсеивающего эксперимента с результатами опытов представлены в таблице 2, в левой части которой приведен план эксперимента в кодированной форме, в столбце Y даны средние арифметические значения полноты удаления ботвы лука, а в столбцах Y_1 и Y_2 – результаты экспериментов после корректировок.

Таблица 2

Матрица и результаты отсеивающего эксперимента

№ опыта	Факторы								Параметр оптимизации		
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y	Y_1	Y_2
1	–	–	–	–	–	+	–	–	97,1	97,1	97,1
2	–	–	+	+	–	+	+	+	97,6	97,6	97,6
3	+	+	+	–	–	–	–	–	98,2	97,4	97,0
4	–	–	+	–	+	–	+	–	97,2	97,2	97,2
5	+	+	–	+	–	–	+	+	98,0	97,2	96,8
6	+	–	–	–	+	+	+	+	97,1	97,2	97,0
7	+	+	–	+	+	+	–	–	98,2	97,4	97,0
8	–	+	+	+	+	–	–	–	98,5	97,5	97,3
9	–	+	–	+	+	+	–	–	98,4	97,4	97,2
10	+	–	+	–	–	–	+	+	97,6	97,6	97,4

В первую очередь производилась проверка воспроизводимости планов путем проверки гипотезы однородности дисперсий.

Обработку экспериментальных данных начинали с их графического представления на исходной диаграмме рассеивания.

Степень влияния факторов оценивали по разности медиан значений опытных данных верхних и нижних уровней факторов и по числу выделяющихся точек.

По этим признакам на первом этапе выделены факторы X_1 («Скорость движения агрегата») и X_2 («Частота вращения рабочего органа»).

После определения эффектов факторов ($\mathcal{E}_{X_1} = -0,133$; $\mathcal{E}_{X_2} = 0,967$) проверяли их значимость по t-критерию ($t_{X_1} = -0,874$; $t_{X_2} = 6,340$).

Таким образом, фактор X_1 («Скорость движения агрегата») оказался значимым с вероятностью меньше 0,9, а фактор X_2 («Частота вращения рабочего органа») – с вероятностью 0,95.

После выделения факторов X_1 и X_2 проводили корректировку результатов отсеивающего эксперимента с целью более четкого выделения остальных факторов и их парных взаимодействий. По скорректированным результатам параметра оптимизации строили вторую диаграмму рассеивания, анализ которой позволил выделить два фактора X_3 («Высота установки рабочего органа относительно поверхности поля») и X_4 («Угол установки ножей»).

Оценку значимости этих факторов проводили аналогично оценкам X_1 и X_2 . В результате расчетов получили: $\mathcal{E}_{X_3} = 0,233$; $t_{X_3} = 3,077$; $\mathcal{E}_{X_4} = 0,167$; $t_{X_4} = 2,198$.

Таким образом, фактор X_3 значим с вероятностью 0,95, а вероятность значимости фактора X_4 – 0,9.

Совместно с проведением оценки значимости эффектов факторов на каждом этапе осуществляли статистический анализ скорректированных результатов наблюдений, в результате чего выявлялась необходимость дальнейшего выделения значимых факторов [6, 7].

После второй корректировки получили, что расчетное значение F-критерия равно 1,87, а табличное значение при 5%-м уровне значимости и числа степеней свободы $f_1 = 10$ и $f_2 = 9$ равно – $F_T = 3,02$, следовательно, можно считать, что все значимые факторы выделены. На этом выделение факторов было закончено, а результаты отсеивания сведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты оценки эффекта выделенных факторов

Этапы	Выделенные факторы	Значение факторов	Расчетное значение t-критерия
По исходным данным	X_1	-0,133	-0,874 ^{xxx}
После первой корректировки	X_2	0,967	6,340 ^x
	X_3	0,233	3,077 ^x
	X_4	0,167	2,198 ^{xx}

Примечание: X – значим с 95%-й вероятностью; XX – значим с 90%-й вероятностью; XXX – значим с вероятностью менее 90% (незначимый фактор).

По результатам корректировки экспериментальных данных строили точечную диаграмму распределения значений параметра оптимизации.

Крутое восхождение по поверхности отклика решено было не проводить, так как при реализации матрицы планирования значения параметра оптимизации в большинстве случаев оказались в почти стационарной области.

При отсеивающих экспериментах предполагается, что поверхность отклика описывается линейной моделью вида:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_{n-1}x_{n-1} + d, \quad (1)$$

где b_0, b_1, b_{n-1} – коэффициенты регрессии при выделенных линейных членах;

n – общее число линейных факторов;

$n-1$ – число эффектов отсеивания;

d – составляющая отклика, отнесенная к шумовому полю вместе с ошибкой опыта.

При обработке результатов отсеивающего эксперимента получили:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum_{j=1}^N Y_i}{N} = 97,16; & b_2 &= \frac{\sum_{j=1}^N X_{2j} Y_i}{N} = -0,1; \\ b_3 &= \frac{\sum_{j=1}^N X_{3j} Y_i}{N} = 0,14; & b_4 &= \frac{\sum_{j=1}^N X_{4j} Y_i}{N} = 0,02. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, получили линейное уравнение, описывающее поверхность отклика по показателю полноты удаления ботвы лука и сорных растений:

$$Y = 97,16 - 0,1X_2 + 0,14X_3 + 0,02X_4. \quad (3)$$

Заключение. Построенная математическая модель процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины в лабораторных условиях позволила выделить следующие значимые факторы, влияющие на полноту удаления ботвы лука и сорных растений: частоту вращения рабочего органа, высоту установки рабочего органа относительно поверхности поля, угол установки ножей.

Библиографический список

1. Ларюшин, Н. П. Оптимальные параметры ботвоудаляющего рабочего органа обрезчика листостебельной массы / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – №2. – С. 15-17.
2. Ларюшин, Н. П. Уборка без задержек / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Сельский механизатор. – 2007. – №7. – С. 48-49.
3. Фролов, Д. И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров : дис. ...канд. техн. наук : 05.20.01 / Фролов Дмитрий Иванович. – Пенза, 2008. – 153 с.
4. Фролов, Д. И. Обоснование оптимальной частоты вращения рабочего органа ботвоудаляющей машины / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Известия Самарской ГСХА. – 2013. – №3. – С. 18-23.
5. Фролов, Д. И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.20.01 / Фролов Дмитрий Иванович. – Пенза, 2008. – 18 с.
6. Ларюшин, Н. П. Обоснование конструктивно-режимных параметров ботвоудаляющего устройства при лабораторных исследованиях / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Нива Поволжья. – 2008. – №2 (7). – С. 46-51.
7. Курочкин, А. А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 94-99.

УДК 631.33.022.96:633.21

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН ТРАВ

Савельев Юрий Александрович, д-р техн. наук, проф. Кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8-а.

E-mail: ssaa-samara@mail.ru

Крючин Александр Николаевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8-а.

E-mail: kryuchin@inbox.ru

Ключевые слова: дозирование, мятлик, аппарат, свод, сыпучесть, высев.

Цель исследований – оптимизация конструктивно-технологических параметров дисково-штифтового высевающего аппарата определением физико-механических свойств семян трав. Для посева трав в селекционном производстве разработана самоходная пневматическая мини-сеялка, оборудованная специальным высевающим аппаратом для дозирования трудносыпучих и связанных посевных материалов, таких как семена мятлика лугового. Мятлик луговой благодаря устойчивости к климатическим и механическим воздействиям применяется в составе большинства кормовых травосмесей для образования высокопродуктивных многолетних пастбищных травостоев. Однако посев мятлика является затруднительным из-за особенностей его семян. Качество работы дозирующей и пневмотранспортирующей систем сеялок существенно зависит от размеров и формы семян. Для оптимизации конструктивно-технологических параметров разработанного высевающего аппарата были исследованы физико-механические свойства семян мятлика лугового. В статье приведены результаты измерений длины, ширины и толщины зерновок. Определена объемная масса сыпучего материала, а так же среднее значение массы 1000 семян. Проведены исследования фрикционных свойств семян мятлика лугового и кормовой травосмеси, в состав которой входят семена овсяницы луговой и красной, мятлика лугового и райграса. Определены динамический угол естественного откоса, коэффициент сыпучести и угол обрушения (статический угол естественного откоса). Построены диаграммы напряжений в сыпучих телах, по которым установлены средние значения углов и коэффициентов трения семян мятлика лугового и семян кормовой травосмеси. Полученные в ходе лабораторных исследований данные о размерно-массовых характеристиках и фрикционных свойствах семян мятлика лугового будут учтены при математическом описании процесса дозирования и оптимизации конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата в ходе лабораторных исследований процесса его работы.

Семена мятлика лугового применяются в составе большинства кормовых травосмесей при закладке пастбищ и лугов [1]. Мятлик луговой устойчив к вытаптыванию скотом, вынослив к климатическим условиям, а его зеленая масса обладает высокой питательностью. Посев многолетних злаковых трав традиционно осуществляется зернотравяными сеялками с катушечными высевающими аппаратами. Проблема высева семян