

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА БОТВОУДАЛЯЮЩЕЙ МАШИНЫ

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440007, г. Пенза, ул. Антонова д. 7.

Тел.: 8 (8412) 69-93-10.

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440605, г. Пенза, пр. Байдукова, ул. Гагарина, д.1а /11.

Тел.: 8 (841-2) 49-56-99.

Шабурова Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440605, г. Пенза, пр. Байдукова, ул. Гагарина, д.1а /11.

Тел.: 8 (841-2) 49-56-99.

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

Приводится теоретическое исследование рабочего процесса ботвоудаляющего рабочего органа. Рассмотрен общий характер работы и обоснование оптимальных параметров ротационного рабочего органа.

Наибольшее применение на уборке лука (севка и репки) находят лукоборочные машины теребильного типа, позволяющие снизить содержание почвенных примесей в уложенном валке до 6% [1]. Качественная работа лукоборочных машин теребильного типа обеспечивается лишь при надлежащей подготовке поля перед уборкой. Для решения этой проблемы разработана машина для удаления листостебельной массы перед уборкой лука.

Цель исследования – повышение качества работы ботвоудаляющей машины.

Задачей исследования являлось определение оптимальных значений конструктивных и режимных параметров ротационного рабочего органа.

Ботвоудаляющая машина, разработанная в Пензенской ГСХА и ООО «КЗТМ» г. Кузнецк, предназначена для удаления листостебельной массы перед уборкой лука, что сокращает сроки его уборки, увеличивает производительность выкапывающих и подбирающих машин, сокращает затраты на послеуборочную сушку, улучшает лежкость при хранении [2, 3].

Ботвоудаляющая машина (рис. 1) состоит из рамы 1 с устройством для присоединения к трактору 2, опорно-копирующих колес 3, установленных на стойках 4 с механизмом механического регулирования высоты скашивания 5, редуктора 6 и рабочих органов, состоящих из валов 7 и встречно вращающихся ножей 8, закрытых кожухом 9. Привод осуществляется от ВОМ трактора посредством механизма привода, редуктора 6 и ременных передач [4].

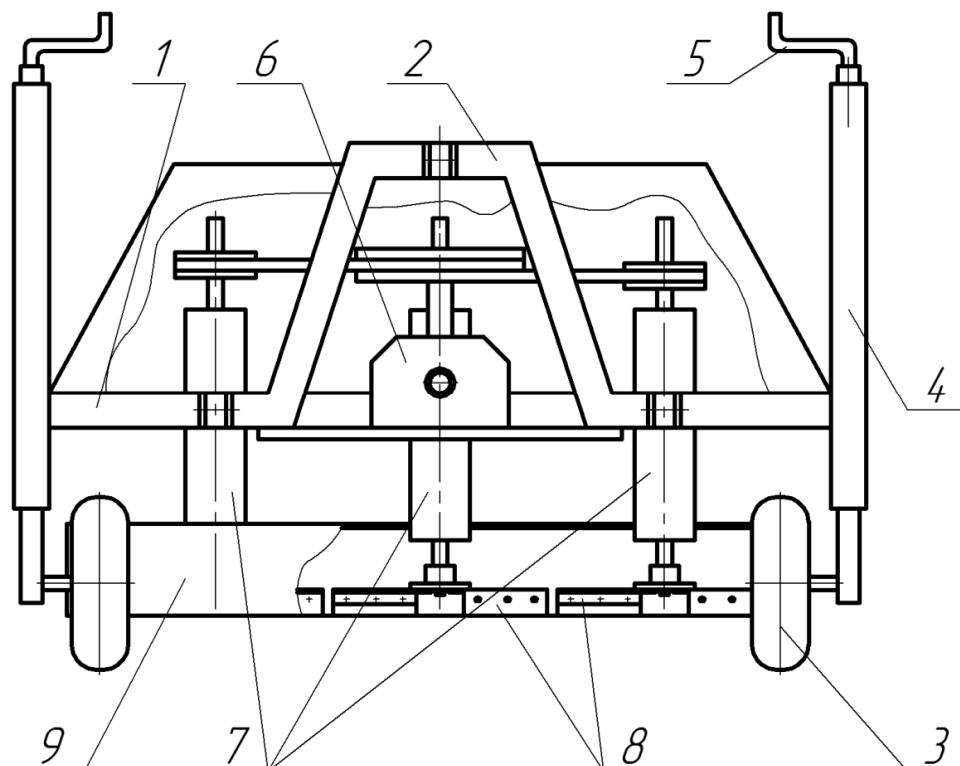


Рис. 1. Схема ботвоудаляющей машины:

1 – рама; 2 – устройство для присоединения к трактору; 3 – опорно-копирующие колеса; 4 – стойка; 5 – механизм механического регулирования высоты скашивания; 6 – редуктор; 7 – валы; 8 – ножи; 9 – кожух

Процесс удаления листостебельной массы происходит следующим образом. При движении машины по полю опорные колеса копируют его рельеф, а за счёт механического регулирования высоты скашивания обеспечивается заданная высота удаления ботвы лука и сорных растений.

При вращении ротационных рабочих органов внутри кожуха 9 создается воздушный поток, поднимающий ботву лука и сорные растения и подводящий их в зону резания, где происходит срез, измельчение и отвод через ботвоотводящее окно на междурядье.

Ботвоудаляющая машина содержит три ротационных рабочих органа, закрытых сверху кожухом 9, имеющим ботвоотводящее окно (рис. 1). Каждый рабочий орган выполнен из попарно расположенных ножей 8, установленных на валу 7 [5, 6].

Ввиду того, что валы находятся в вертикальной плоскости и расположены под углом $50^\circ \dots 60^\circ$ к продольной оси рамы, а средний вал установлен в точке пересечения вертикальной плоскости и оси рамы, происходит перекрытие зон резания рабочих органов, что способствует полному удалению листостебельной массы по всей ширине грядки [7].

Для того чтобы обеспечить полное удаление листостебельной массы, в том числе полегшей и изломанной ботвы лука и сорных растений нужно обеспечить подъемную силу, создаваемую вращением ротационного рабочего органа, чтобы ботва лука и сорных растений поднялась и при этом срезалась [8].

Ротационный рабочий орган представляет собой осевой вентилятор с лопастями, которые к тому же являются ножами, срезающими листостебельную массу (рис. 2).

Передача энергии потоку воздуха в рабочем органе происходит при помощи ножей, закрепленных на валу. Рабочий орган перемещает воздух вдоль оси вала, при этом закручивая воздушный поток.

Для рассмотрения работы данного рабочего органа используем теорию решетки профилей. Рассекая рабочий орган цилиндрической поверхностью радиусом r и развертывая эту поверхность с сечениями ножей, получаем плоскую решетку профилей рабочего органа.

Основные величины, характеризующие геометрию решетки, следующие: B – ширина решетки; b – длина хорды сечения ножей; β_{1E} , β_{2E} – лопастные углы на входе и выходе; β_∞ – угол установки ножа, угол между хордой ножа и осью решетки.

Для упрощения расчетов аэродинамических сил, действующих на листостебельную массу, произведем расчет одного ротационного рабочего органа.

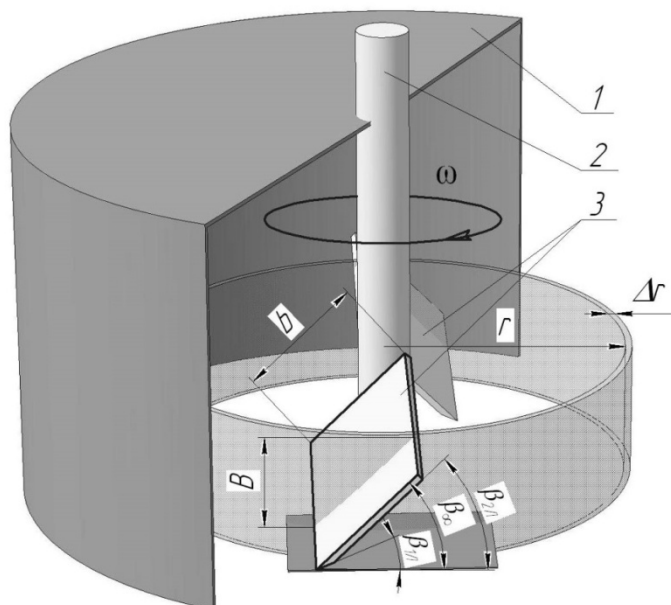


Рис. 2. Схема рабочего органа:
1 – кожух; 2 – вал; 3 – ножи

При вращении ротационного рабочего органа под ним создается разрежение и поток воздуха, который поднимает ботву лука и сорные растения. Силовое взаимодействие потока воздуха с растениями сводится к одной силе лобового сопротивления, при этом сила совпадает с направлением течения воздуха. Совместно с разрежением, создаваемым ротационным рабочим органом, через щель между кожухом и землей всасывается воздух, образуя неравномерное поле скоростей в набегающем потоке воздуха, при этом на ботву лука и сорные растения начинает действовать подъемная сила и аэродинамический момент, которые способствуют поднятию растений и подводу их в зону резания ножей (рис. 3).

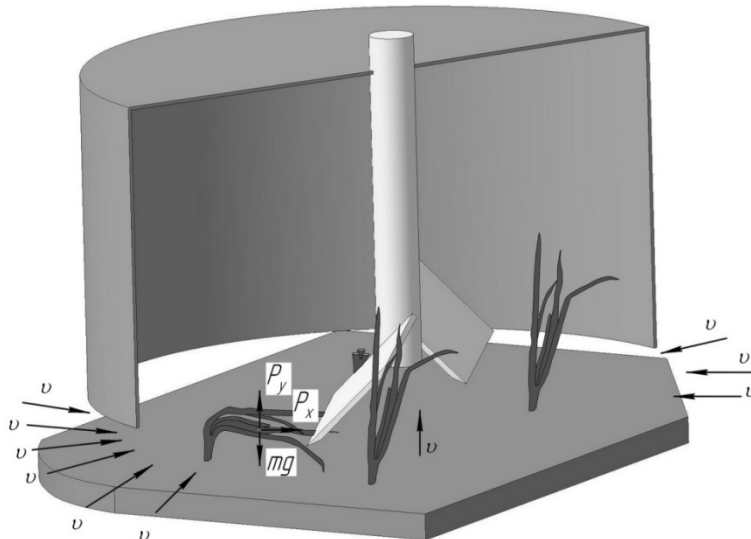


Рис. 3. Схема сил, действующих на листостебельную массу

Элементы ножей, находящиеся на различных расстояниях от вала, вращаются с неодинаковыми скоростями. Вследствие этого ножи с постоянной шириной и углом наклона создают разрежение, изменяющееся по длине ножей. Это приводит к радиальным перемещениям воздуха и срезанной ботвы лука и сорных растений в проточной полости ножей, что способствует измельчению и отводу ботвы лука и сорных растений к ботвоотводящему окну и укладке ее на междурядье.

Для поднятия листостебельной массы скорость воздуха должна быть больше скорости витания и трогания. С помощью законов аэродинамики определим зависимости для этих двух скоростей. Для упрощения расчетов рассмотрим подъем листьев одного растения.

Вначале установим зависимость для скорости витания. Пусть на листья лука весом mg набегают поток воздуха, двигающийся снизу вверх с такой скоростью v_e , что листья лука не поднимаются и не опускаются, а находятся на одном и том же уровне, как бы, зависая в воздухе. Скорость, при которой это происходит, называется скоростью витания [10].

Очевидно, эта скорость определяется при условии, что подъемная сила равна весу листьев лука

$$P_y = c_y F \frac{\rho v_e^2}{2} = mg, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; c_y – коэффициент подъемной силы; m – масса листьев лука, кг; v_e – скорость витания, м/с; F – площадь лобового сопротивления листьев лука, м²; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Из уравнения (1) выведем скорость витания:

$$v_e = \sqrt{\frac{2mg}{\rho c_y F}}. \quad (2)$$

Для подъема листьев лука скорость воздуха v должна быть больше скорости витания v_e : $v > v_e$. Для упрощения примем аэродинамический момент равным нулю. Листья лука в данном случае будут подниматься вверх со скоростью v_T , определяемой уравнением

$$P_y - mg = c_y F \frac{\rho(v - v_T)^2}{2} - mg = m \frac{dv_T}{dt}. \quad (3)$$

Для вычисления минимальной частоты вращения ротационного рабочего органа, необходимой для создания потока воздуха, который обеспечит подъем листьев лука со скоростью v_e , рассмотрим следующее уравнение:

$$c_a = \frac{Q}{0,785d^2(1-v^2)} = k_\phi v u = k_\phi v \frac{\pi d n}{60}, \quad (4)$$

где c_a – осевая скорость воздуха, создаваемая рабочим органом, м/с; Q – подача рабочего органа, м³/с; d – диаметр рабочего органа, м; v – относительный диаметр вала, принимают 0,4-0,8; k_ϕ – коэффициент расхода, принимают 0,6-1; u – окружная скорость, м/с; n – частота вращения рабочего органа, с⁻¹.

Таким образом, частоту вращения рабочего органа, необходимую для создания потока воздуха со скоростью $c_a \geq v_e$, найдём из выражения

$$n \geq 60 \frac{c_a}{\pi k_\phi v d}. \quad (5)$$

После подсчёта оптимальная частота вращения, обеспечивающая подъем листостебельной массы и её срез, находится в пределах 1500-1900 мин⁻¹, для рабочего органа с радиусом траектории вращения ножей 0,25 м.

Для подтверждения теоретических расчетов были проведены лабораторные испытания с целью нахождения оптимальных конструктивных и режимных параметров ротационного рабочего органа. Испытания проводились на установке, смонтированной на почвенном канале. В ходе опытов были определены основные факторы, влияющие на технологический процесс удаления листостебельной массы и их возможные пределы варьирования, качественные показатели (полнота удаления ботвы, повреждения луковиц).

При обработке результатов лабораторных исследований использовалась методика планирования многофакторного эксперимента.

Для получения математической модели процесса удаления листостебельной массы, учитывающей совокупное влияние изучаемых факторов на эффективную работу ботвоудаляющего устройства, и определения их оптимального сочетания, было использовано оптимальное планирование эксперимента. При планировании эксперимента для предлагаемого ботвоудаляющего устройства в качестве критерия оптимизации была принята полнота удаления, которая наиболее полно оценивает качество работы ботвоудаляющего рабочего органа. В качестве факторов, влияющих на полноту удаления листостебельной массы, на исследуемом ботвоудаляющем устройстве были выбраны три наиболее значимых фактора:

частота вращения рабочего органа, высота установки рабочего органа относительно поверхности поля, угол установки ножей.

После изучения двумерного сечения поверхности отклика (рис. 4) в зоне оптимальных значений факторов были определены оптимальные значения конструктивно-кинематических параметров ботвоудаляющего устройства: частота вращения рабочего органа $n = 1480-1820 \text{ мин}^{-1}$, угол установки ножей $\beta = 51-61 \text{ град.}$ при параметре оптимизации равном 97,5-97,75% [9].

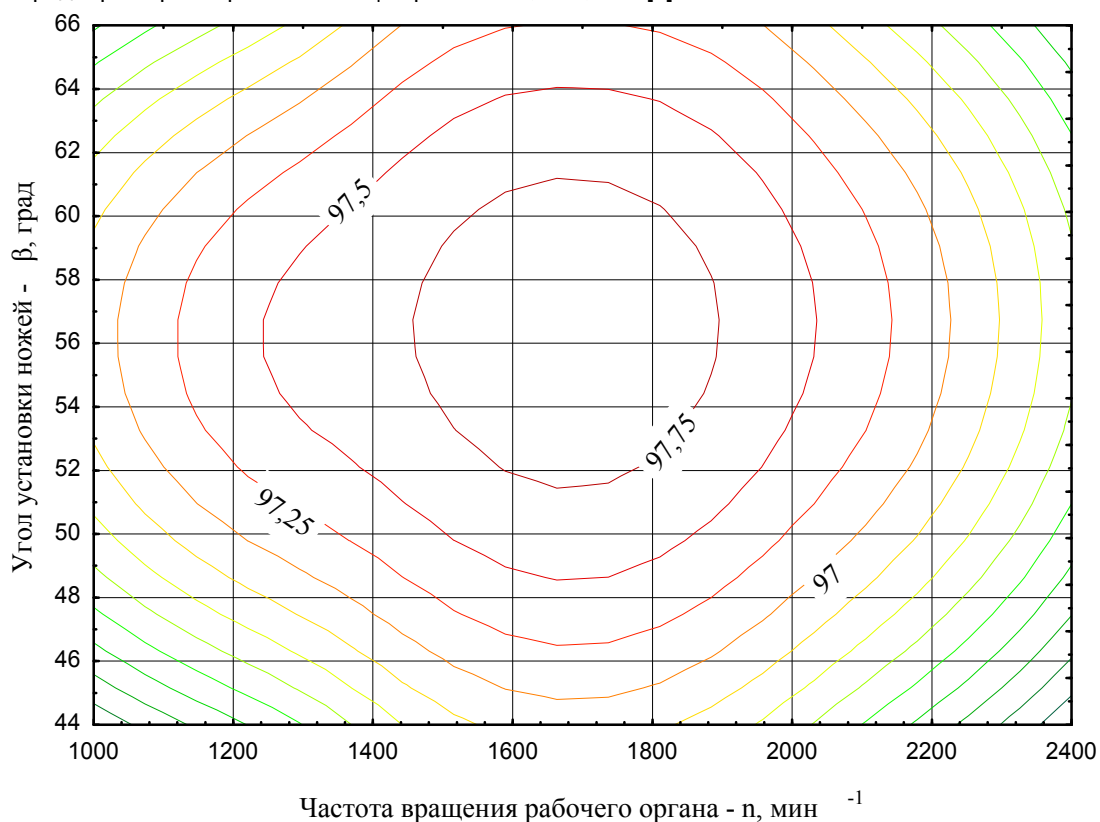


Рис. 4. Двумерное сечение, характеризующее зависимость полноты удаления листостебельной массы от угла установки ножей и частоты вращения рабочего органа

В результате теоретических исследований процесса работы рабочего органа ботвоудаляющей машины обоснованы оптимальные значения конструктивных и режимных параметров ротационного рабочего органа. Значения, полученные при лабораторных исследованиях, полностью подтверждают зависимости, выявленные теоретическим исследованием.

Библиографический список

1. Ларюшин, А. М. Совершенствование технологии уборки лука / А. М. Ларюшин, Н. П. Ларюшин, Д. И. Фролов // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. – М. : Академия наук о Земле, 2007. – С. 17-18.
2. Ларюшин, Н. П. Комплекс машин для уборки лука / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, С. Г. Пох // Картофель и овощи. – 2008. – №4. – С. 15.
3. Ларюшин, Н. П. Уборка без задержек / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Сельский механизатор. – 2007. – №7. – С. 48-49.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Пат. 2339208 Российская Федерация, МПК А 01 D 23/02. Ботвоудаляющая машина / Н. П. Ларюшин, С.А. Сущёв, Д.И. Фролов, А.М. Ларюшин. – № 2007109990/12 ; заявл. 19.03.2007 ; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33. – 8 с. : ил.
8. Ларюшин, А. М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ларюшин Андрей Михайлович. – Пенза, 2009. – 38 с.
9. 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.

10. Байкин, С. В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С. В. Байкин, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Афанасьева ; под ред. А. А. Курочкина. – М. : КолосС, 2007. – 445 с.