

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.352.99

АНАЛИЗ РАБОТЫ БОТВОУДАЛЯЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ОПТИМИЗАЦИЕЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ВНУТРИ КОЖУХА

Д. И. Фролов

В работе представлен анализ работы ботвоудаляющего рабочего органа. Построена математическая модель работы ботвоудаляющего рабочего органа с определенными допущениями. Определены траектории движения, скорость, относительное давление воздушного потока внутри кожуха. Получены оптимальные конструктивные и режимные параметры ботвоудаляющего рабочего органа и оптимизирован воздушный поток внутри кожуха для повышения качества уборки листостебельной массы.

Ключевые слова: ботвоудаляющий орган, листостебельная масса, ботва лука, воздушный поток.

Введение

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.

Для решения проблемы удаления сорной растительности перед уборкой была разработана конструкция и изготовлен макетный образец ботвоудаляющего устройства для удаления листостебельной массы перед уборкой лука [4].

Для получения оптимальных конструктивных и режимных параметров ботвоудаляющего рабочего органа и оптимизации воздушного потока внутри кожуха для повышения качества уборки ботвы лука необходимо построить математическую модель процесса.

Целью работы являлась разработка математической модели и обоснование оптимальных конструктивных и режимных параметров работы ботвоудаляющего рабочего органа.

Объекты и методы исследований

Анализ работы ботвоудаляющего рабочего органа производили с использованием современной расчетной компьютерной программы SolidWorks FlowSimulation. Семейство модулей SolidWorks FlowSimulation предназначено для проведения газо- и гидродинамического анализа в среде SolidWorks. Данный пакет предлагает широкий спектр возможностей конечно-элементного анализа, начиная от простого линейного стационарного анализа и заканчивая комплексным нелинейным анализом переходных процессов. Наличие в программе FlowSimulation конечных элементов для моделирования аэродинамики дает возможность применения численных методов для определения параметров потока, давления воздуха в изучаемой области.

Для моделирования турбулентного движения используются уравнения неразрывности. При этом вычисляются следующие параметры: общее давление, скорость потока и функции потока для движущейся среды.

Используется решатель, реализующий раздельный последовательный алгоритм, который заключается в раздельном решении для каждой степени свободы (давления, скорости и т. д.) системы матриц, полученных при конечноэлементной дискретизации основного уравнения. Задача течения воздуха нелинейная и основные уравнения связаны между собой. Последовательное решение уравнений с обновлением зависящих от давления параметров составляет глобальную итерацию. Количество глобальных итераций для достижения сходящегося

решения может значительно варьироваться в зависимости от решаемой задачи [5].

Система уравнений для решения задачи по анализу и оптимизации воздушного потока внутри кожуха ботвоудаляющего рабочего органа методом конечных объемов в декартовой системе координат представлена в (1). Где первое уравнение системы является уравнением непрерывности (неразрывности). Второе и третье уравнения описывают движения сплошной среды. Последнее уравнение описывает закон сохранения энергии.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial j}{\partial x} + \frac{\partial j}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(ju)}{\partial x} + \frac{\partial(jv)}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial \dot{I}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{I}_{xy}}{\partial y} \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(jv)}{\partial x} + \frac{\partial(ju)}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial \dot{I}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{I}_{yy}}{\partial y} \\ \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial(j_x H)}{\partial x} + \frac{\partial(j_y H)}{\partial y} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} &= \\ &= \frac{\partial}{\partial x}(\dot{I}_{xx}u + \dot{I}_{xy}v) + \frac{\partial}{\partial y}(\dot{I}_{xy}u + \dot{I}_{yy}v) \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где u, v - проекции скорости потока на оси координат;

ρ - плотность газа;

j - плотность потока;

p - давление;

x, y - система координат;

E - полная энергия единицы объема;

H - полная удельная энтальпия;

\dot{I} - компоненты тензора вязких напряжений.

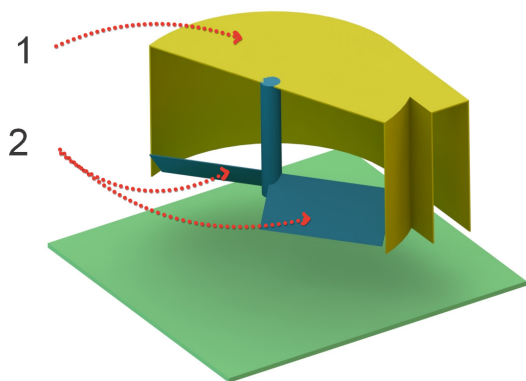


Рис. 1. 3D-модель ботвоудаляющего рабочего органа

$$E = \rho \frac{u^2 + v^2}{2} + \frac{p}{\gamma - 1}, \quad H = \frac{E + p}{\rho},$$

$$p = \rho RT, \quad j_x = \rho(u - W_x), \quad j_y = \rho(v - W_y),$$

$$W_x = \frac{\tau}{\rho} \left[\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} \right]$$

где

$$W_y = \frac{\tau}{\rho} \left[\frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} \right]$$

Система уравнений (1) дополняется законом сохранения момента импульса (2):

$$\frac{\partial}{\partial t} [\bar{x} \times \rho \bar{U}] + \text{div} [\bar{j} \otimes [\bar{x} \times \bar{U}]] =$$

$$= [\bar{x} \times \rho \bar{F}] + \frac{\partial}{\partial x} [\bar{x} \times P_{ij} \bar{e}] \quad (2)$$

где \bar{x} - координатная составляющая,

P_{ij} - портер тензор

\bar{P}, \bar{e} - базис.

Разработанная компьютерная модель работы ботвоудаляющего рабочего органа (рис. 1) учитывает такие параметры воздушного потока как: скорость (м/с); давление (Па).

Начальные параметры: статическое давление: 101325 Па; температура: 20 °С; тип течения: ламинарное и турбулентное.

При моделировании учитывались факторы только воздушного потока, без учета срезаемой листостебельной массы.

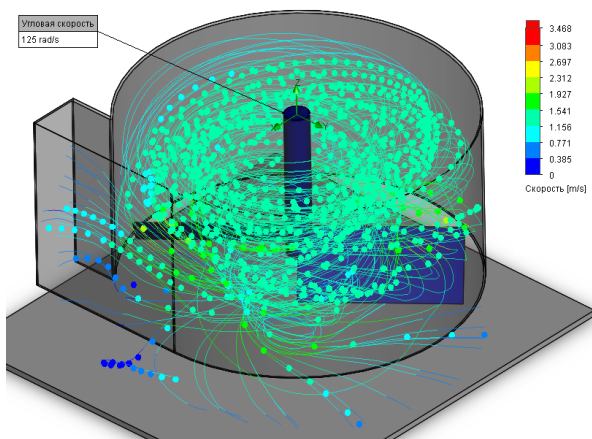
Исходные данные модели для расчета: ширина ножа – 120 мм; длина ножа – 250 мм; угол установки ножей - 45°; расстояние от поверхности поля до кожуха – 100 мм; диаметр кожуха – 280 мм; ширина ботвоотводящего окна – 90 мм [6].

Результаты и их обсуждение

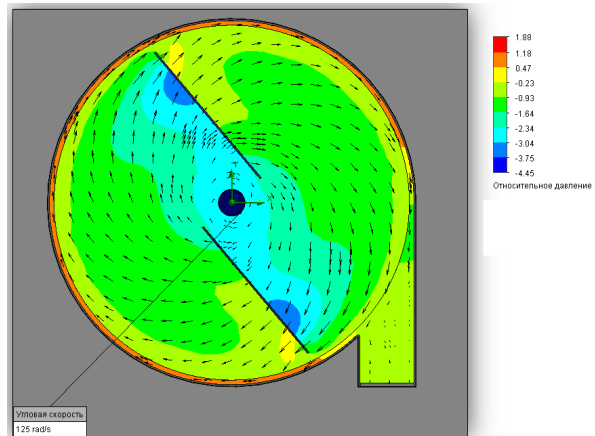
В результате проведенного конечно-элементного анализа в FlowSimulation были получены результаты распределения потоков скоростей в пространстве (рис. 2) внутри ботвоудаляющего рабочего органа при угловых скоростях вращения 125, 178, 230 рад/с (1200, 1700, 2200 об/мин)

На рис. 3 изображены визуализация линий тока скоростей с распределением относительных давлений в горизонтальной плоскости отстоящей от поверхности земли на 120 мм.

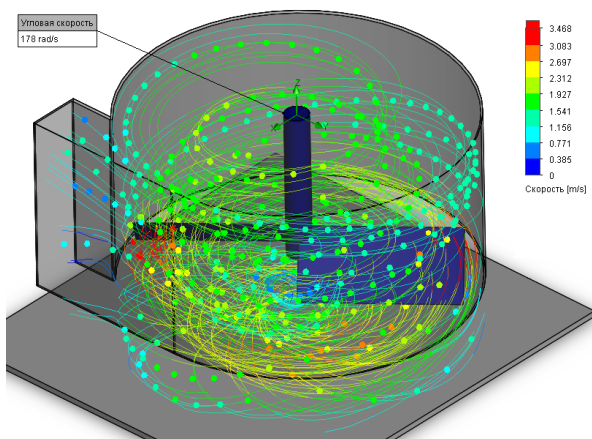
Анализируя данное распределение скоростей воздушного потока в пространстве внутри кожуха, можно сделать вывод что при увеличении частоты вращения ботвоудаляющего рабочего органа скорость потока также возрастает, причем усиливается



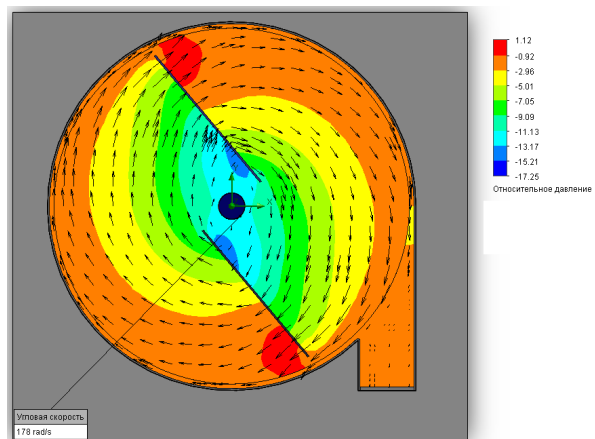
а)



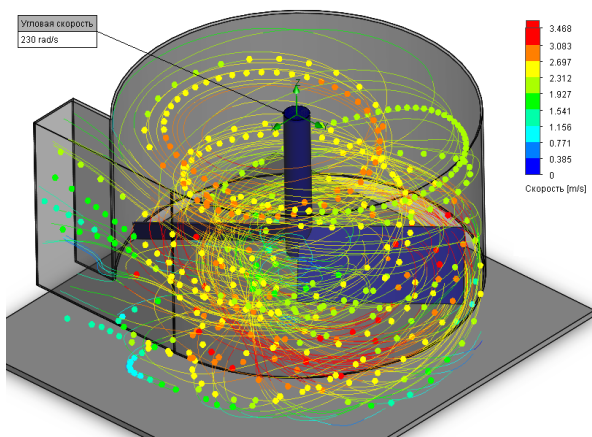
а)



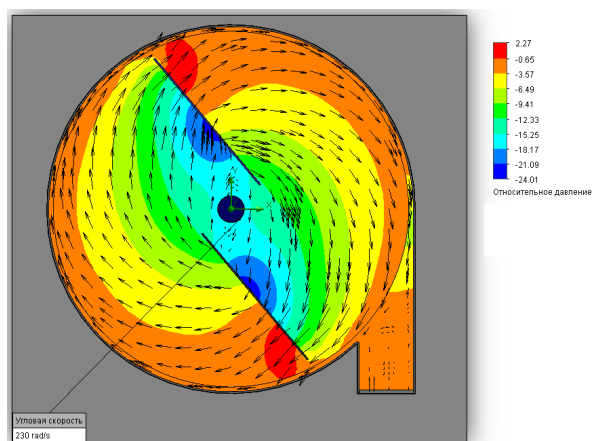
б)



б)



в)



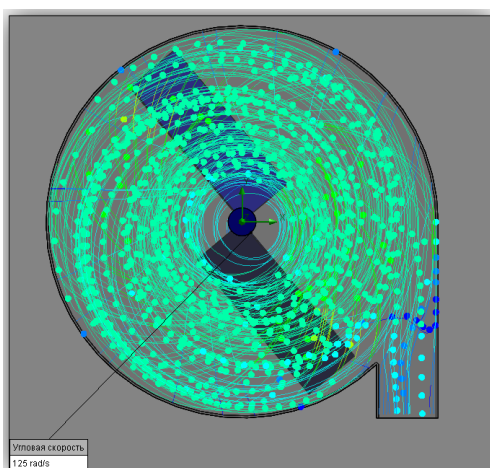
в)

Рис. 2. Распределение и траектории потоков скоростей внутри ботвоудаляющего рабочего органа при угловых скоростях вращения а) 125, б) 178, в) 230 рад/с

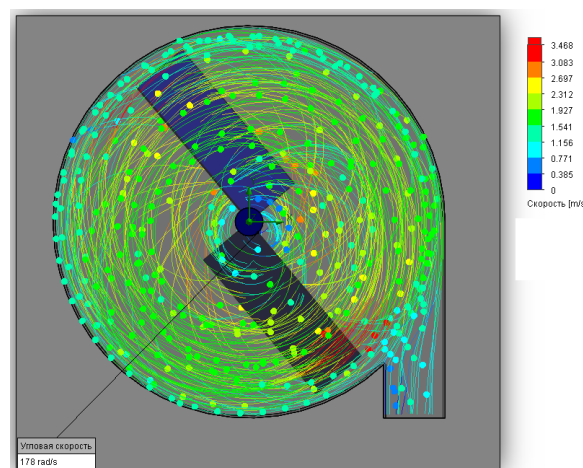
Рис. 3. Визуализация линий тока скоростей с распределением относительных давлений в горизонтальной плоскости при угловых скоростях вращения а) 125, б) 178, в) 230 рад/с

Таблица 1 - Влияние угловой скорости вращения на скоростные характеристики воздушного потока

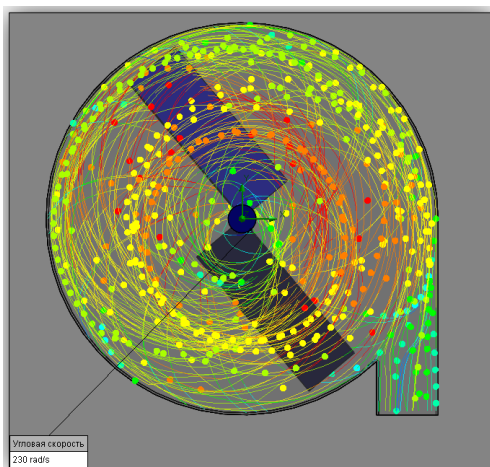
Угловая скорость вращения рабочего органа, рад/с	Средняя скорость потока воздуха, м/с	Максимальная скорость потока воздуха, м/с	Относительное давление, Па		Завихренность потока воздуха, 1/с	
			min	max	min	max
125	1.307	3.565	-4.45	1.88	2.174	1634.732
178	1.774	5.146	-17.25	1.12	13.399	2519.960
230	2.435	6.401	-24.01	2.27	7.438	3422.511



а)



б)



в)

Рис. 4. Визуализация траекторий потока воздуха и скоростей с распределением в горизонтальной плоскости при угловых скоростях вращения а) 125, б) 178, в) 230 рад/с

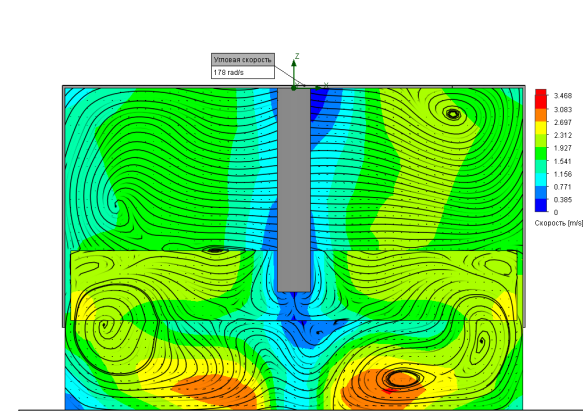


Рис. 5. Визуализация линий тока скоростей воздуха в вертикальной плоскости при угловой скорости вращения 178 рад/с

завихренность потока вследствие его отражения от стенок кожуха.

Как видно из представленных результатов моделирования, давление в сечении при угловой скорости вращения 125 рад/с распределено более равномерно, а при 178 и 230 рад/с происходит образование воронки завихрения с понижением давления к ее центру.

При вращении рабочего органа ботвоудаляющего устройства под ним создается разрежение и поток воздуха, направленный от земли. Этот поток воздуха втягивает лежащую листовидную массу, т. е. силовое взаимодействие потока воздуха с листовидной массой сводится к одной силе лобового сопротивления, при этом эта сила совпадает с направлением течения воздуха. Одновременно с

создаваемым рабочим органом разрежением через щель между кожухом и землей всасывается воздух и образуется неравномерное поле скоростей в набегающем потоке воздуха, при этом на листостебельную массу начинает действовать еще подъемная сила и аэродинамический момент, которые способствуют поднятию листостебельной массы и подвода ее в зону резания ножей.

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 листостебельной массы в проточной полости ножей и отвода, что способствует откидыванию срезанной листостебельной массы к ботвоотводящему окну и укладке ее на междурядье [7].

В результате моделирования были получены следующие расчетные величины при угловых скоростях вращения 125, 178, 230 рад/с (1200, 1700, 2200 об/мин) рабочего органа: средняя скорость потока воздуха, максимальная скорость потока воздуха, относительное давление, завихренность потока воздуха (табл. 1).

Как видно из табл. 1 с возрастанием угловой скорости вращения рабочего органа возрастают средняя скорость потока воздуха, максимальная скорость потока воздуха, разность относительных давлений, что способствует увеличению завихренности потока воздуха, создавая необходимое разрежение для подъема листостебельной массы. Негативным эффектом повышения угловой скорости вращения является наматывание несрезанной неизмельченной листостебельной массы вокруг вала рабочего органа и разбрасывание измельченной листостебельной массы по площади обрабатываемого участка поля, а не выгрузка ее в ботвоотводящее окно, поэтому оптимальной угловой скоростью для создания требуемого воздушного потока при уборке является интервал скоростей 178-230 рад/с.

Для анализа траекторий потока воздуха с распределением скоростей в горизонтальной плоскости при угловых скоростях вращения 125, 178, 230 рад/с были получены визуализации (рис. 4). По дан-

ными визуализациям видно что при угловых скоростях вращения 125 и 230 рад/с возникает вихрь, что не способствует равномерному удалению листостебельной массы, а при угловой скорости вращения 178 рад/с распределение траекторий потока воздуха и скоростей более равномерно.

Были получены визуализации линий тока скоростей воздуха в Flow Simulation при угловой скорости вращения 178 рад/с (рис. 5), для других угловых скоростей вращения (125, 230 рад/с) они имеют аналогичный вид. Из визуализации видно, что скорость потока на входе распределена неравномерно и имеет тенденцию на повышение у середин ножей, а понижение у вала и периферийной части ножей.

Оптимальной скоростью потока воздуха является диапазон скоростей от 3 до 5 м/с, что соответствует угловой скорости вращения 178 рад/с, что подтверждает достоверность предыдущих результатов [8, 9].

Выводы

В результате проведенного анализа работы ботвоудаляющего рабочего органа было установлено влияние угловой скорости вращения на скоростные характеристики воздушного потока. Построенная математическая модель работы ботвоудаляющего рабочего органа позволила определить траектории движения, скорость, относительное давление воздушного потока внутри кожуха.

Установлена адекватность 3D-модели, которая позволяет провести дальнейшие расчеты по оптимизации ботвоудаляющего рабочего органа компьютерными средствами моделирования.

Получены оптимальные конструктивные (ширина ножа – 120 мм; длина ножа – 250 мм; угол установки ножей – 45°; расстояние от поверхности поля до кожуха – 100 мм; диаметр кожуха – 280 мм; ширина ботвоотводящего окна – 90 мм) и режимные (угловая скорость вращения ножей 178 рад/с) параметры ботвоудаляющего рабочего органа с оптимизацией воздушного потока внутри кожуха, что позволит повысить качество уборки листостебельной массы.

Список литературы

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. – Пенза, 2008. – 153 с.
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. – Пенза, 2008. – 18 с.
5. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике/А.А. Алямовский. – СПб.: БХВ–Петербург, 2008.

6. Фролов, Д.И. Обоснование оптимальной частоты вращения рабочего органа ботвоудаляющей машины/Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова//Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2013.– № 3.– С. 18–23.
7. 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.
8. Фролов, Д.И. Обоснование рациональных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука/Д.И. Фролов, С.В. Чекайкин//XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание.– Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та.– 2014.– № 06 (22).– С. 159–162.
9. Фролов, Д.И. Моделирование процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины/Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова//Известия Самарской ГСХА.– 2014.– № 3.– С. 29–33.

ANALYSIS OF WORK HAULM REMOVING WORKING BODIES FROM OPTIMIZE THE AIRFLOW INSIDE THE CASING

D. I. Frolov

The paper presents an analysis of haulm removing working body. A mathematical model of haulm removing working body with certain assumptions. Defined path of movement, the speed of the relative pressure of the air inside the casing. The optimal design and operating parameters haulm removing working body and optimized airflow inside the casing to improve the quality of cleaning cormophyte mass.

Keywords: haulm removing body, cormophyte mass, onion tops, air flow.

References

1. Laryushin, N.P. Optimal parameters of top removing working member of cutter for leaf-and-stalk mass/N.P. Laryushin, A.M. Laryushin, D.I. Frolov//Tractors and agricultural machines.– 2010.– № 2.– P. 15–17.
2. Laryushin, N.P. Cleaning without delay/N.P. Laryushin, A.M. Laryushin, D.I. Frolov//Rural machine operator.– 2007.– № 7.– P. 48–49.
3. Frolov, D. I. Development of cutter error is tops of onions and weeds with substantiation of constructive and operational parameters: dissertation of the candidate of technical sciences: 05.20.01/Frolov Dmitry Ivanovich.– Penza, 2008.– 153 p.
4. Frolov, D. I. Development of cutter error is tops of onions and weeds with substantiation of constructive and operational parameters: candidate of technical sciences dissertation author's abstract: 05.20.01/Frolov Dmitry Ivanovich.– Penza, 2008.– 18 p.
5. Alyamovsky, AA SolidWorks 2007/2008 computer modeling in engineering practice/AA Alyamovsky.– SPb.: BHV-Petersburg, 2008.
6. Frolov, D. I. Substantiation of the haulm removing machine operating element rotation optimum frequency/D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova//Bulletin of the Samara State Academy of Agriculture.– 2013.– № 3.– P. 18–23.
7. Laryushin, N. P. Substantiation of constructively operation characteristic plant-top removing machine by laboratory research/N. P. Laryushin, A. M. Laryushin, D. I. Frolov//Niva Povolzhya.– 2008.– № 2 (7).– P. 46–51.
8. Frolov, D. I. Reasoning effective parameters of the haulm removing machine on sowings of the onion/D. I. Frolov, S. V. Chekaykin//XXI century: the results of past and present problems plus: Periodic scientific izdanie.- Penza: Izd Penz. state. tehnol. University ta.- 2014.- № 06 (22).- P.159–162.
9. Frolov, D. I. Modeling the process to removing tops onions Of the haulm removing machine operating element/D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova//Bulletin of the Samara State Academy of Agriculture.– 2014.– № 3.– P. 29–33.