

## АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ВОЗДУХА ВНУТРИ КОЖУХА БОТВОУДАЛЯЮЩЕЙ МАШИНЫ

Д. И. Фролов

В настоящей статье на основе компьютерной модели ботвоудаляющей машины с учетом ограничений исследуется проблема подъема полегшей листостебельной массы и анализ скоростей потока воздуха в зоне ножей. Целью работы являлся анализ распределения потоков воздуха в горизонтальной плоскости кромок ножей рабочих органов, внутри кожуха ботвоудаляющей машины. Для анализа взаимодействия факторов, описывающих параметры потока воздуха при исследовании ботвоудаляющей машины был использован конечно-элементный анализ и пакет FlowSimulation. Построенная компьютерная модель позволила проанализировать и определить скорость и давление вблизи кромок ножей рабочих органов. Исходя из полученных значений характеристик потока воздуха (средняя скорость потока воздуха в зоне ножей равна 12,139 м/с) может быть сделан вывод о достаточности их для подъема полегшей листостебельной массы.

**Ключевые слова:** воздушный поток, моделирование, ботвоудаляющая машина, конечно-элементный анализ.

### Введение

Производственный опыт показывает, что к началу уборки засоренность полей, засеянных луком, во многих случаях доходит до 60...70 %, а высота сорных растений при этом может переваливать за 50 см. Такие условия уборки связаны с тем, что время между последней обработкой посевов гербицидами и началом уборочных работ достигает двух и более недель, а это в свою очередь является причиной заметного роста сорных растений [1–4].

Между тем качество работы теребильных машин в первую очередь зависит от состояния поля перед уборкой [5–6]. В связи с этим очевидна необходимость удаления сорной растительности на посевах лука перед его уборкой.

Для решения сформулированной выше проблемы была обоснована конструктивно-технологическая схема и разработана конструкция ботвоудаляющей машины (рис. 1) для удаления листостебельной массы перед уборкой лука [7–9], а также определены ее основные конструктивные и кинематические параметры [10–19].

Целью более ранних исследований являлась оценка влияния аэродинамических сил на листостебельную массу, оптимизация воздушного потока внутри кожуха единичного рабочего органа [20–22], а также прочностные расчеты рабочего органа [23, 24]. Логическим развитием данной работы стало дальнейшее исследование компьютерной модели ботвоудаляющей машины в части подъема полегшей листостебельной массы и влияния ее рабочих органов на скорость воздушного потока внутри кожуха.

**Целью работы** являлся анализ распределения потоков воздуха в горизонтальной плоскости кро-

мок ножей рабочих органов, внутри кожуха ботвоудаляющей машины.

### Объекты и методы исследований

Сложность течений воздуха внутри кожуха, происходящих при работе ботвоудаляющей машины определяется взаимодействием большого количества факторов. В связи с этим получить достаточно удовлетворительные аналитические решения сложно, поэтому практические задачи обычно решаются экспериментальным путем. В последние десятилетия в связи с мощным развитием компьютерной техники и компьютерных технологий су-

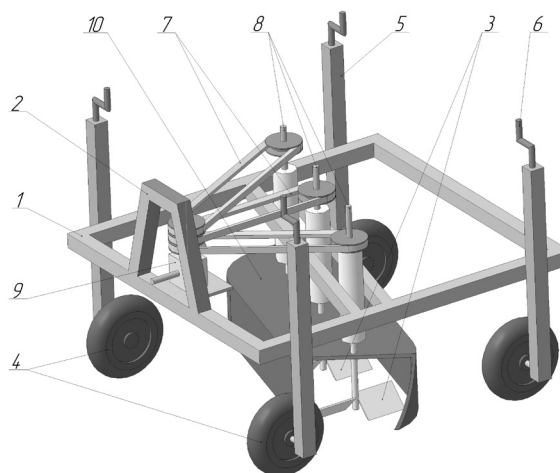


Рис. 1. Ботвоудаляющая машина: 1 – рама; 2 – устройство для присоединения к трактору; 3 – рабочие органы; 4 – пневматические колеса; 5 – стойки; 6 – механизм механического регулирования высоты скашивания; 7 – ременные передачи; 8 – валы; 9 – конический редуктор; 10 – кожух

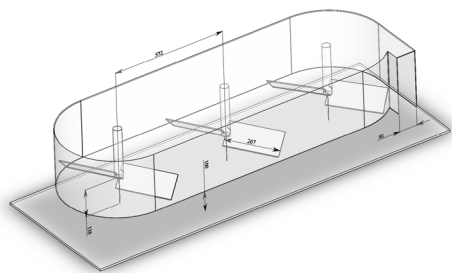


Рис. 2 – Общий вид модели

щественно расширились возможности численного расчета и анализа прикладных задач течений.

Поэтому в работе для 3D моделирования используется система автоматического проектирования SolidWorks, а ее модуль FlowSimulation, применяется для проведения газодинамического анализа в среде SolidWorks.

Наличие в программе FlowSimulation конечных элементов для моделирования аэродинамики дает возможность применения численных методов для определения параметров потока, а также давления воздуха в изучаемой области.

Для моделирования турбулентного движения используются уравнения неразрывности, позволяющие вычислить общее давление, скорость потока и функции потока для движущейся среды изучаемого объекта.

Для моделирования вращения трех рабочих органов использовали вращающуюся область (Rotating region).

Компьютерная модель работы ботвоудаляю-

щей машины учитывает такие параметры воздушного потока внутри кожуха как его среднее значение скорости (м/с) и среднее значение полного давления (Па). Эти параметры используются как глобальные цели для расчета сходимости расчетов.

Начальные параметры приняты следующими: температура – 20°C; статическое давление в промежутке между кожухом и поверхностью поля, а также в проеме ботвоотводящего окна – 101325 Па; типы течения – ламинарное и турбулентное.

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

Исходные данные модели для расчета: ширина ножа – 120 мм; длина ножа – 267 мм; угол установки ножей – 45 градусов; расстояние от поверхности поля до кожуха – 100 мм; расстояние между валами соседних рабочих органов – 572 мм; угловая скорость вращения – 125 рад/с (1200 об/мин); ширина ботвоотводящего окна – 92 мм [25]. Общий вид модели показан на рисунке 2. Расчетная сетка: все ячейки – 62545, ячейки в текучей среде – 31693.

### Результаты и их обсуждение

В итоге проведенного конечно-элементного анализа в FlowSimulation были получены результаты распределения скоростей воздуха (рис. 3) и давления (рис. 4) в горизонтальной плоскости на кромках лезвий ножей рабочих органов внутри кожуха ботвоудаляющей машины.

На графике (рис. 3) можно видеть распределение скоростей воздуха в горизонтальной плоскости на кромках лезвий ножей рабочих органов внутри кожуха ботвоудаляющей машины. Длина ножей из-

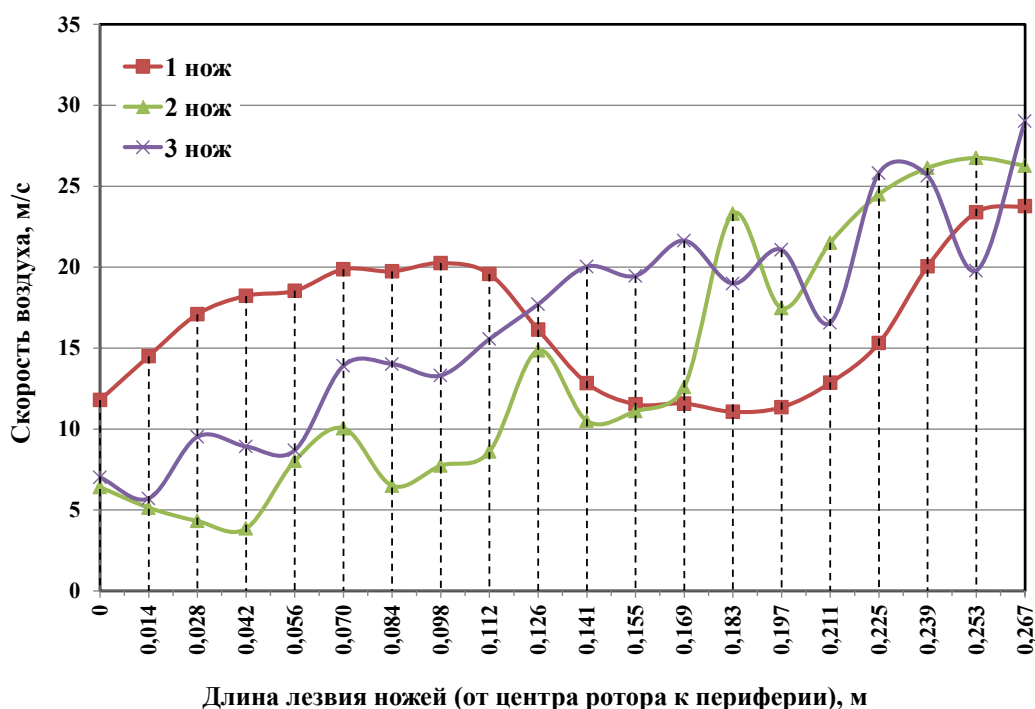


Рис. 3. Распределение скоростей воздуха в горизонтальной плоскости на кромках лезвий ножей рабочих органов внутри кожуха ботвоудаляющей машины

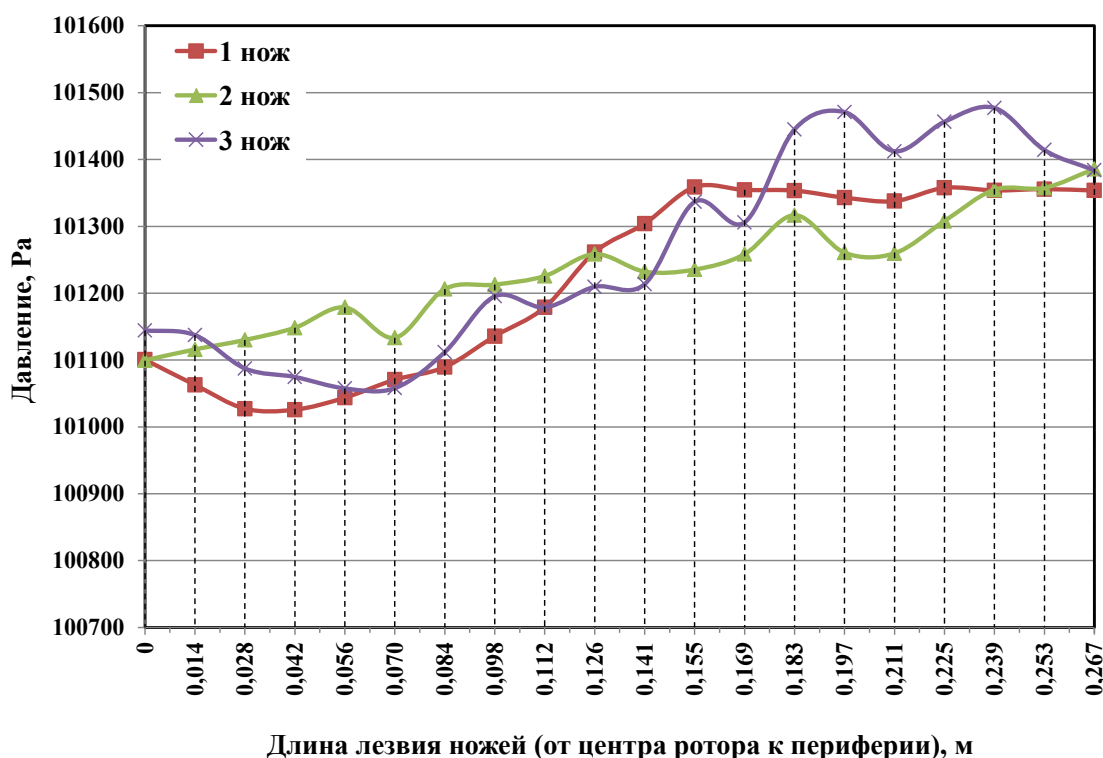


Рис. 4. Распределение давлений в горизонтальной плоскости на краях лезвий ножей рабочих органов внутри кожуха ботвоудаляющей машины

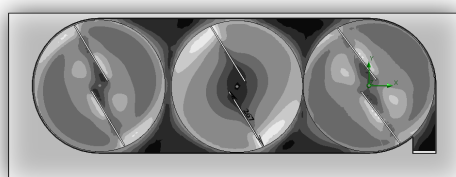


Рис. 5 – Распределение потоков скоростей воздуха в разрезе горизонтальной плоскости вращения лезвий ножей внутри кожуха ботвоудаляющей машины

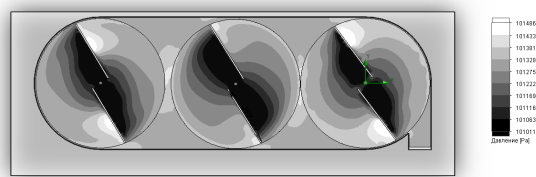


Рис. 6 – Распределение давления воздуха в разрезе горизонтальной плоскости вращения лезвий ножей внутри кожуха ботвоудаляющей машины

мерялась от центра ротора рабочего органа к концу ножа (периферии). Второй нож находится на рабочем органе, расположенном посередине между первым и вторым рабочим органом. Третий нож расположен на рабочем органе находящемся ближе всего к ботвоотводящему окну, и соответственно первый нож расположен на рабочем органе – дальше всего от ботвоотводящего окна.

Увеличение скорости воздушного потока наблюдается на длине ножей ближе к периферии, что объясняется большими скоростями вращения, нежели у центра ротора. Графики скоростей потока воздуха имеют значительный тренд по длине ножей, что объясняется неравномерным полем скоростей и значительной турбулентностью потока воздуха.

Из рисунка 4 видно как под рабочими органами, за счет установленных под углом 45 градусов ножей, формируется зона с низким давлением, способствующая подъему листостебельной массы с

поверхности поля и перемещению её к ботвоотводящему окну, где давление повышается до атмосферного.

На рисунке 5 и 6 изображены визуализация распределения потоков скоростей воздуха в разрезе горизонтальной плоскости вращения лезвий ножей внутри кожуха ботвоудаляющей машины. Максимальную скорость воздух набирает у периферии ножей, а также ближе к ботвоотводящему окну. Вблизи осей валов скорость небольшая, зато завихренность потока вследствие его отражения от стенок кожуха увеличивается.

При вращении рабочих органов ботвоудаляющей машины под ними создается разрежение и поток воздуха, направленный от земли, который втягивает лежащую листостебельную массу. Одновременно с создаваемыми рабочими органами разрежением через зазор между кожухом и землей всасывается воздух вследствие чего на листостебельную массу начинает действовать подъемная

Таблица 1 – Расчетные величины воздушного потока внутри кожуха

Параметр	Минимум	Максимум
Давление [Па]	100299	112069
Скорость [м/с]	0	36,456
Завихренность [1/с]	2,8	13905

сила и аэродинамический момент, которые способствуют поднятию листостебельной массы и подвода ее в зону резания ножей.

В результате моделирования были получены следующие расчетные величины (табл. 1).

Судя по полученным скоростным характеристикам потока воздуха (в том числе средняя скорость потока воздуха в зоне ножей равна 12,139 м/с) это в целом хватает для подъема полегшей листостебельной массы.

### Выводы

### Список литературы

- [1] Ларюшин, Н. П. Уборка без задержек / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Сельский механизатор. – 2007. – №7. – С. 48-49.
- [2] Фролов, Д. И. Применение модернизированной ботвоудаляющей машины для скашивания люцерны / Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология. – 2015. – № 1 (2). – С. 45-49.
- [3] Фролов, Д.И. Обоснование устройства для удаления ботво-травяной массы / Д.И. Фролов, А. М. Ларюшин, Н. П. Ларюшин // Инновационные технологии в сельском хозяйстве: Сб. материалов межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 204.
- [4] 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.
- [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] 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.
- [7] Ларюшин Н.П., Сущёв С.А., Фролов Д.И., Ларюшин А.М. Ботвоудаляющая машина // Патент России № 2339208.–2008. Бюл. № 33.
- [8] Волков, А.А. Разработка рабочего органа для удаления листьев лука и сорняков / А.А. Волков, Д.И. Фролов, А.М. Ларюшин // Современные аспекты развития АПК: сборник материалов 51-й научной конференции инженерного факультета Пензенской ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 126–127.
- [9] Ларюшин, Н.П. Устройство для удаления листостебельной массы на посевах лука / Н.П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д.И. Фролов // Наука и образование -сельскому хозяйству: сб. мат-лов науч.– практ. Конференции, посв. 55-летию Пензенской ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 348.
- [10] 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.
- [11] Фролов, Д.И. Теоретическое обоснование скорости бесподпорного среза листостебельной массы при уборке лука / Д.И. Фролов // Инновации молодых ученых агропромышленному комплексу: сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 248–250.
- [12] Фролов, Д.И. Результаты лабораторно-полевых исследований машины для удаления листостебельной массы перед уборкой лука / Д.И. Фролов, А.М. Ларюшин // Материалы Всероссийской научно-

- практической конференции: Актуальные проблемы агропромышленного комплекса.– Ульяновск, ГСХА, 2008.– С. 197–200.
- [13] Фролов Д. И. Определение оптимальных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015.– № 1 (29).– С. 120–126.
- [14] Фролов, Д. И. Теоретическое обоснование скорости вращения ножей режущего аппарата ботвоудаляющей машины / Д. И. Фролов, О. Н. Пчелинцева // Инновационная техника и технология.– 2015.– № 1 (02). С. 50–53.
- [15] 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.
- [16] 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.– С. 46–51.
- [17] Фролов, Д. И. Моделирование процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2014.– № 3.– С. 29–33.
- [18] 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.– 2014.– № 6 (22).– С. 158–161.
- [19] Фролов, Д. И. Прочностной анализ модели рабочего органа при влиянии на него центробежной силы / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин // Инновационная техника и технология.– 2015.– № 2 (03).– С. 34–39.
- [20] Ларюшин, А. М. Расчет действия аэродинамических сил на листостебельную массу при уборке лука / А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Энергосберегающие технологии в АПК: сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции.– Пенза: РИО ПГСХА, 2007.– С. 35–38.
- [21] Фролов Д. И. Анализ процесса движения воздуха внутри кожуха ботвоудаляющего рабочего органа с обоснованием оптимального угла наклона ножей / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. Е. Каширин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева.– 2015.– № 4 (28).– С. 69–74.
- [22] Фролов, Д. И. Анализ работы ботвоудаляющего рабочего органа с оптимизацией воздушного потока внутри кожуха / Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология.– 2014.– № 4 (01).– С. 30–35.
- [23] Фролов, Д. И. Анализ рабочего органа машины с применением современной системы автоматизации инженерных расчётов / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин // Информационные технологии в экономических и технических задачах: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции.– Пенза, 2016.– С. 314–316.
- [24] Фролов, Д. И. Нелинейное оценивание динамических нагрузок модели ботвоудаляющего рабочего органа / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе.– 2016.– № 2 (18).– С. 299–305.
- [25] Фролов, Д. И. Моделирование работы ботвоудаляющей машины с анализом потоков воздуха внутри ее кожуха / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, О. Н. Кухарев, Н. П. Ларюшин // Нива Поволжья.– 2016.– № 3 (40).– С. 105–111.

## ANALYSIS MODELING AIRFLOW INSIDE THE CASING HAULM REMOVING MACHINES

*D. I. Frolov*

---

In this article, based on a computer model haulm removing machine subject to the restrictions investigate the problem of lifting polegshey cormophyte mass and analysis of air flow velocities in the zone of the blades. The aim of the work was to analyze the distribution of air flow in the horizontal edges of knives working bodies within the housing haulm removing machine. To analyze the interaction of factors that describe the air flow parameters in the study haulm removing machine was used finite element analysis and FlowSimulation package. Construction of computer model allowed us to analyze and determine the velocity and pressure near the edges of the knives working bodies. Based on the air flow characteristic values (the average air flow velocity in the zone of knives equal to 12.139 m / s) can be concluded their adequacy for lifting polegshey cormophyte mass.

**Keywords:** *air flow, simulation, haulm removing machine, finite element analysis.*

---

## References

- [1] Laryushin, N.P. Cleaning without delays/N. P. Laryushin, A. M. Laryushin, D. I. Frolov//Rural mechanic.– 2007.–No. 7.–Pp. 48–49.
- [2] Frolov, D. I. Application modernized haulm removal machine for cutting alfalfa / D. I. Frolov // Innovative machinery and technology.– 2015.– № 1 (2).–Pp. 45–49.
- [3] Frolov, D. I. Rationale the device for removal of haulm-grass/D. I. Frolov, A. M. Laryushin, N. P. Laryushin// Innovative technologies in agriculture: Sat. materials of the interregional scientific-practical conference of young scientists.–Penza: RIO pgskha, 2006.–p. 204.
- [4] Laryushin, A. M. Improving the technology of harvesting onions / A. M. Laryushin, N. P. Laryushin, D. I. Frolov // Proceedings of International Forum on problems of science, technology and education.–M.: Academy of Earth Sciences, 2007.–Pp. 17–18.
- [5] Frolov, D. I. Development of cutter tops of onions and weeds with substantiation of constructive and operational parameters: dis. ...candidate. tekhn. Sciences: 05.20.01/Frolov Dmitry Ivanovich.–Penza, 2008. 153 p.
- [6] Frolov, D. I. Development of cutter tops of onions and weeds with substantiation of constructive and operational parameters: author. dis. ...candidate. tekhn. Sciences: 05.20.01/Frolov Dmitry Ivanovich.–Penza, 2008.– 18 p.
- [7] Laryushin N. P. Sushchev, A. S., Frolov D. I., Laryushin A. M. Haulm removing machine // Patent of Russia № 2339208.–2008. Bull. No. 33.
- [8] Volkov, A. A. development of a working body to remove onion leaves and weeds/A. A. Volkov, D. I. Frolov, A. M. Laryushin//Modern aspects of agricultural development: proceedings of the 51st scientific conference, faculty of engineering, Penza state agricultural Academy.–Penza: RIO pgskha, 2006.–Pp. 126–127.
- [9] Laryushin, N. P. Device for removing cormophyte weight on the crops of onions/N. P. Laryushin, A. M. Laryushin, D. I. Frolov//Science and education -to agriculture: collection of Mat-catching scientific.–pract. The conference, dedicated. 55th anniversary of Penza state agricultural Academy.–Penza: RIO pgskha, 2006.–P. 348.
- [10] Laryushin, N. P. Haulm removing machine the optimal parameters of the working body of the cutter leaf-stem mass / N. P. Laryushin, A. M. Laryushin, D. I. Frolov // Tractors and farm machinery.– 2010.–No. 2.– P. 15–17.
- [11] Frolov, D. I. Theoretical justification for the speed of cut leaf-stem mass at harvest Luke/D. I. Frolov// Innovations of young scientists of the agro-industrial complex: collection of materials of scientific-practical conference of young scientists.–Penza: RIO pgskha, 2007.–Pp. 248–250.
- [12] Frolov, D. I. Results of laboratory and field studies, machine for removing cormophyte weight before the harvest Luke/D. I. Frolov, A. M. Laryushin//Materials of all-Russian scientific-practical conference: Actual problems of agro-industrial complex.–The Ulyanovsk state agricultural Academy, 2008.–P. 197–200.
- [13] Frolov D. I. Determination of the optimal parameters haulm removing machine for sowing Luke /D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova//Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural Academy.–2015.–№ 1 (29).– P. 120–126.
- [14] Frolov, D. I. Theoretical substantiation of the speed of rotation of the mower blades haulm removing machine/ D. I. Frolov, O. N. Pchelintseva // Innovative machinery and technology.–2015.– № 1 (02). P. 50–53.
- [15] Frolov, D. I. A study of the optimal frequency of rotation of the working body of the machine haulm removing / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // Bulletin Samara state agricultural Academy.– 2013.–No. 3.–P. 18–23.
- [16] Laryushin, N. P. Substantiation of constructive-regime parameters haulm removing device during laboratory tests/N. P. Laryushin, A. M. Laryushin, D. I. Frolov//Niva Povolzhya.– 2008.–No. 2.–P. 46–51.
- [17] Frolov, D. I., the modeling of the process of removing the tops of onion working on haulm removing machine/D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. shaburova// Bulletin Samara state agricultural Academy.– 2014.–No. 3.–P. 29–33.
- [18] Frolov, D. I. Substantiation of rational parameters of haulm removing machine for sowing Luke / D. I. Frolov, S. V. Chekalkin // XXI century: the results of the past and problems with plus.– 2014.– № 6 (22).–Pp. 158–161.
- [19] Frolov, D. I. Strength analysis model of the working body when the influence of the centrifugal force / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin // Innovative machinery and technology.– 2015.– № 2 (03).–Pp. 34–39.
- [20] Laryushin, A. M. Calculation of the aerodynamic forces on the leaf-stem weight at harvest of onion/A. M. Laryushin, D. I. Frolov//energy-Saving technologies in agriculture: a collection of articles P all-Russian scientific-practical conference.–Penza: RIO pgskha, 2007.–Pp. 35–38.
- [21] Frolov D. I. analysis of the process of air movement inside the housing haulm removing working on a study of optimum tilt angle of the knives /D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. E. Kashirin// Bulletin of Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev.–2015.–№ 4 (28).–Pp. 69–74.

- [22] Frolov, D. I. Analysis of haulm removing working on optimizing the air flow within the housing /D. I. Frolov// Innovative machinery and technology. – 2014. – № 4 (01). – Pp. 30–35.
- [23] Frolov, D. I. Analysis of the working body of the machine with the use of modern systems of automation of engineering calculations / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin // Informational technologies in economical and technical problems: Collection of scientific works of International scientific–practical conference. –Penza, 2016. –P. 314–316.
- [24] Frolov, D. I. Nonlinear estimation of dynamic load model botopasie working on / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin // Models, systems, networks in Economics, technic, nature and society. –2016. –№ 2 (18). –P. 299–305.
- [25] Frolov, D. I. Modeling of work haulm removing machine analysis of air flows inside the casing / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, O. N. Kukharev, N. P. Laryushin // Niva Povolzhya. – 2016. – № 3 (40). –P. 105–111.