высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Земляной Андрей Александрович – ведущий специалист Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru.

Ланцев Владимир Юрьевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и основ конструирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru.

Мишин Борис Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск

Крецу Николай Исаев – главный инженер ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ". Россия, г. Миллерово, e-mail: ing@msm161.ru.

Шепелев Валерий Юрьевич - Временно исполняющий обязанности начальника Технологического конструкторского отдела ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: to@msm161.ru

Якушев Алексей Викторович - директор по развитию ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Andrey - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

Zavrazhnov Anatoly - Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Zemlyanoy Andrey - leading specialist of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru.

Lantsev Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Fundamentals of Design of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Mishin Boris - candidate of technical sciences, senior lecturer at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Kretsu Nikolay - chief engineer of PJSC "MILLEROVOSELMASH". Russia, Millerovo, e-mail: ing@msm161.ru

Shepelev Valery - Acting Head of the Technological and Design Department of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: to@msm161.ru

Yakushev Alexey - Development Director of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Поступила в редакцию (Received): 03.12.2021

Принята к публикации (Accepted): 21.12.2021

УДК 631.331.85

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-17-29

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА С ВЫСЕВАЮЩИМИ АППАРАТАМИ ВАКУУМНО-ДИСКОВОГО ТИПА (на примере пропашной сеялки МС-8 производства ПАО «Миллеровосельмаш»)*

¹Завражнов Андрей Анатольевич¹Завражнов Анатолий Иванович¹Земляной Андрей Александрович¹Ланцев Владимир Юрьевич¹Мишин Борис Сергеевич²Крецу Николай Исаев²Шепелев Валерий Юрьевич²Якушев Алексей Викторович¹ФГБНУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет²ПАО «Миллеровосельмаш»

Реферат. Исследовали пневматические и нагрузочные характеристики сеялок точного высева (СТВ) с высевальными аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа на различных режимах работы. В работе представлена методика оценки и проведения исследований пневматических характеристик СТВ. Определяли нагрузочные характеристики ВА, величину разрежения в вакуумной камере ВА и измеряли крутящий момент на валу ВД в зависимости от величины разрежения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД. По результатам проведенных исследований были получены следующие результаты: конструкция вентиляторной установки пропашной сеялки типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш») создает разрежение в вакуумных камерах ВА не более 5...6 кПа, при этом наблюдается снижение степени разрежения на выходе из трубы-ресивера при удалении от вентиляторной установки на 0,1...0,2 кПа на каждый пневмопатрубок; анализ напорной и напорно-расходной характеристик ВА типа МС показывает, что с увеличением диаметров присасывающих отверстий ВД происходит снижение степени разрежения. Так при номинальных режимах работы воздухоудвки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм степень разрежения снижается с 9,0 до 1,1 кПа. При этом, для поддержания требуемого разрежения необходимо увеличивать объем отсасываемого (откачиваемого) воздуха из вакуумной камеры. При номинальных режимах работы воздухоудвки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм для поддержания постоянного разрежения объем откачиваемого воздуха увеличивается с 42 до 64 м³/час; увеличение разрежения в вакуумной камере до 9 кПа, необходимые для качественной работы сеялки МС, влечет к возрастанию момента сопротивления на оси ВД. Следует отметить, что «эффект» увеличения крутящего момента на валу высевального диска ВА имеет значительное влияние при использовании на ВА электроприводных систем.

Ключевые слова: сеялка точного высева, высевальный аппарат, технические характеристики, разрежение в вакуумной камере, крутящий момент на валу высевального диска.

*Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках реализации Соглашения №075-11-2019-041 от 22 ноября 2019 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ПАО «Миллеровосельмаш» на выполнение НИОКР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей». НИОКР выполняется в организации Головного исполнителя (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

RESEARCH OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF PRECISION SEEDING PLANTS WITH VACUUM DISC SEEDING UNITS

(on the example of the MS-8 row-crop seeder manufactured by PJSC Millerovoselmash)

¹Zavrazhnov Andrey¹Zavrazhnov Anatoly¹Zemlyanoy Andrey¹Lantsev Vladimir¹Mishin Boris²Kretsu Nikolay²Shepelev Valery

²*Yakushev Alexey*¹*FSBEI HE Michurinsk State Agrarian University*²*PJSC "Millerovoselmash"*

Abstract. *Pneumatic and load characteristics of precision seeders (CTB) with vacuum-disk-type seeders (VA) at various operating modes were studied. The methodology for assessing and conducting research on the pneumatic characteristics of PTS is presented in the work. The load characteristics of the VA, the amount of vacuum in the vacuum chamber of the VA and the measured torque on the shaft of the VD depending on the magnitude of the vacuum in the vacuum chamber of the VA and the diameter of the suction holes of the VD were determined. According to the results of the research, the following results were obtained: the design of the fan installation of the MS type row-crop seeder (manufactured by PJSC Millerovoselmash creates a vacuum in the VA vacuum chambers of no more than 5 ... 6 kPa, while a decrease in the degree of vacuum at the outlet of the receiver pipe with of the fan installation by 0.1 ... 0.2 kPa for each pneumatic nozzle; analysis of the pressure and pressure-flow characteristics of the VA type MS shows that with an increase in the diameters of the suction holes of the HP, the degree of vacuum decreases, so at nominal operating modes of the blower (3000 rpm) with an increase in diameters from 2.0 to 6.0 mm, the degree of vacuum decreases from 9.0 to 1.1 kPa. At the same time, to maintain the required vacuum, the volume of sucked (pumped out) air from the vacuum chamber increases, so at nominal operating modes of the blower (3000 rpm) with an increase in diameters from 2.0 to 6.0 mm to maintain a constant vacuum, the volume of pumped out into air volume increases from 42 to 64 m³ / h; an increase in the vacuum in the vacuum chamber up to 9 kPa, necessary for the high-quality operation of the MS seeder, leads to an increase in the moment of resistance on the HP axis. It should be noted that the "effect" of increasing the torque on the BA sowing disc shaft has a significant impact when using electric drive systems on the VA.*

Keywords: *precision seeder, sowing device, technical characteristics, vacuum in the vacuum chamber, torque on the seeding disc shaft.*

Введение.

Известно, что технические характеристики сеялок точного высева (пневматические и нагрузочные) определяют его функциональные возможности (показатели назначения).

Исследованиями различных ученых [1] и собственными исследованиями определено, что наиболее значимой технической характеристикой для пневматических сеялок точного высева (СТВ) является степень разрежения в вакуумных камерах высевяющих аппаратов (ВА).

Величина разрежения в вакуумных камерах ВА в конечном итоге определяет точность высева СТВ, которая регламентируется: отклонением от заданной нормы высева (не более 3%); неравномерностью высева отдельными ВА (не более 3%); неустойчивостью общего высева СТВ (не более 3...5%) [2, 3], пропусками и двойниками [1].

Реализация таких жестких требований определяет особое отношение к типу, конструкционному исполнению и качеству изготовления ВА сеялок точного высева.

На рисунке 1 представлена типичная конструкция «классического» ВА вакуумно-дискового типа (на примере ВА сеялки типа МС производства ПАО «Миллеровосельмаш»). Опыт показывает, что такие ВА имеют значительные утечки разрежения из вакуумной камеры 11 корпуса 1 (рисунок 1), что существенно снижает точность высева.

Мировая практика предлагает множество вариантов «борьбы» за снижение утечек разрежения, которые в основном нацелены на уменьшение зазоров и увеличение контактной плотности прилегания сопрягаемых элементов ВА. На практике это выражается в совершенствовании и модернизации таких элементов ВА, как корпус 1; высевяющий диск (ВД) 4; прокладка 5 (рисунок 1).

1 - корпус; 2 - вал; 3 - диск высевающий (ВД); 4 - ворошитель семян; 5 - прокладка; 6 - сбросник семян; 7 - крышка; 8 - семенная камера; 9 - сбрасыватель «лишних» семян; 10 - механизм регулировки сбрасывателя «лишних» семян; 11 - вакуумная камера; 12- крепежные гайки.

Рисунок 1 – Конструкционные «подробности» вакуумно-дискового ВА типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш»).

Так, в настоящее время, корпуса ВА у «продвинутых» фирм-изготовителей выполнены из недеформируемого алюминиевого сплава, обеспечивающие плотное прижатие высевающего диска на всей площади контакта.

Фирма John Deere предлагает использовать в своих ВА высевающие диски (ВД) не допускающих их деформацию при вращении (рисунок 2а) [4], а фирма Sakalar, наоборот, предлагает к использованию эластичные высевающие диски, обеспечивающие постоянное прижатие к корпусу ВА при наличии неровностей в контактной зоне (рисунок 2б) [5].

а) недеформируемые высевающие диски John Deere б) эластичные высевающие диски Sakalar

Рисунок 2 – Варианты «борьбы» с утечками разряжения из ВА

Побочным негативным «эффектом» реализации таких технических решений является увеличение крутящего момента на валу высевающего диска ВА и снижение ресурса работоспособности пары трения «высевающий диск – прокладка» за счет интенсивного абразивного износа, который опять же приводит к повышенным утечкам вакуума из вакуумной камеры ВА.

Уменьшение влияния таких негативных «эффектов» достигается путем использования прокладок, изготовленных из материалов с низким коэффициентом трения или путем подмешивания в семенной материал графитового порошка или талька [6, 7].

Следует отметить, что «эффект» увеличения крутящего момента на валу высевающего диска ВА не имеет значительного влияния на работоспособность СТВ с механическим приводом от опорно-приводных колес.

Однако при использовании на ВА электроприводных систем (что является новомодным трендом развития современных СТВ) данный «эффект» невозможно не учитывать.

Также изготовители ведут «борьбу» за равномерное и одинаковое распределение разрежения между отдельными ВА по всей ширине захвата СТВ. Здесь мы наблюдаем использование нескольких вентиляторов (обеспечивающих разрежение в вакуумных камерах ВА) при большой ширине захвата или использование так называемых труб-ресиверов для уменьшения эффектов пневмосопротивления.

Из вышеизложенного следует, что рассмотрению и изучению пневматических и нагрузочных режимов при исследовании технических характеристик современных СТВ требуется уделять достаточно подробное внимание.

В то же время, анализ состояния вопроса показал, что при достаточно большом объеме ранее проведенных исследований, практически отсутствуют научные и практические данные по пневматическим и нагрузочным характеристикам СТВ с классическими ВА вакуумно-дискового типа.

Доказательством данного утверждения является тот факт, что все известные лабораторные стенды для обкатки и исследований ВА сеялок точного высева (например: отечественный стенд ИУ-91 КубНИИТиМ или зарубежные стенды Maestro фирмы HORSCH; Kinze T4000 фирмы Kinze; Meter Max фирмы Precision Planting и др. [8, 9, 10, 11]) в основном предназначены для исследования функциональных характеристик (определяющих высевальную способность ВА) и не определяют пневматические и нагрузочные характеристики отдельных ВА и СТВ в целом.

Отсутствие достоверных данных по пневматическим и нагрузочным характеристикам СТВ с высевальными аппаратами вакуумно-дискового типа позволило сформулировать цель проведения исследований.

Целью проведенных исследований являлось определение технических (пневматических и нагрузочных) характеристик сеялок точного высева (СТВ) с высевальными аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа на различных режимах работы, с последующим анализом и разработкой конкурентоспособных технических решений.

Условия, материалы и методы

Исследования технических характеристик сеялок точного высева (СТВ) с высевальными аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа проводились по следующей схеме и алгоритмам:

Объекты испытаний:

- Сеялка пропашная МС-8 (ПАО «Миллеровосельмаш»)
- Высевальная секция типа МС (ПАО «Миллеровосельмаш»)

Матрица проведения экспериментов (параметры и режимы проведения опытов) представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица проведения экспериментов

Наименование характеристики Вид оценки	Объект испытаний	Измеряемые параметры	Условия проведения испытаний. Схема измерения
1. Оценка и исследование пневматических характеристик	Сеялка пропашная МС-8	1. Разрежение (кПа) в зависимости от оборотов ВОМ и расположения ВА	• Места измерения разрежения указаны на рисунках 3 и 4
	Высевальная секция МС	2. Разрежение (кПа) и расход воздуха (м ³ /час) в зависимости от диаметра присасывающих отверстий ВД	• Места измерения разрежения указаны на рисунках 5 и 6 • Измерение крутящего момента в соответствии рисунке 7
2. Оценка и исследование нагрузочных характеристик		3. Крутящий момент (Нм) в зависимости от степени разрежения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД	• Диаметр присасывающих отверстий ВД: 0; 2,0; 3,0; 4,5; 6,0 (мм) • Разрежение в вакуумной камере ВА при измерении крутящего момента: • 0; 3; 6; 9 (кПа)

В-0 – вакуумметр на выходе вентилятора СТВ;
 В-1-1 – вакуумметр на выходе ресивера СТВ (первая цифра место замера, вторая - № ВА)
 Рисунок 3 – Места измерения разряжения на СТВ типа МС-8

Рисунок 4 – Стенд для исследования пневматических характеристик СТВ типа МС-8

В-0 – вакуумметр на выходе из источника разряжения (вихревая воздуходувка);
 Р-0 – ротаметр (измерение расхода воздуха); В-1 – вакуумметр выходе из ресивера лабораторной установки;
 В-2 – вакуумметр, для измерения разрежения в вакуумных камерах ВА
 Рисунок 5 – Схема и места измерения степени разряжения и расхода воздуха на высевающей секции типа МС

Рисунок 6 – Лабораторная установка для исследования пневматических характеристик ВА

Рисунок 7 – Установка для измерения крутящего момента на валу ВД

Обработка данных измерений и статистический анализ проводился с помощью пакетов: прикладных программ Matlab с использованием методик [10] и стандартный пакет Excel.

Аппроксимация графиков проводилась следующими регрессионными зависимостями:

линейной типа $Y = aX + b$, степенной типа $Y = aX^a + b$ и полиномиальной типа $Y = a_1X + a_2X^2 + b$

Критерием выбора типа регрессионной зависимости (тренда) являлось условие $R^2 \geq 0.95$ (где R^2 – коэффициент детерминации).

Результаты и обсуждение

Оценка и исследование пневматических характеристик СТВ типа МС-8

Оценка и исследование пневматических характеристик проводилась в соответствии матрицы экспериментов (таблица 1 и рисунки 3 и 4).

Результаты измерений степени разряжения представлены в таблице 2 и на рисунке 8.

Таблица 2 – Результаты измерения разряжения СТВ типа МС-8

Разрежение В-0 (на выходе из вентилятора, 520 об/мин), кПа							
1,58 ± 0,2							
Разрежение В-1 (на выходе из ресивера), кПа							
В-1-1	В-1-2	В-1-3	В-1-4	В-1-5	В-1-6	В-1-7	В-1-8
1,38 ± 0,1	1,42 ± 0,1	1,56 ± 0,1	1,58 ± 0,1	1,58 ± 0,1	1,56 ± 0,1	1,42 ± 0,1	1,38 ± 0,1
Разрежение В-0 (на выходе из вентилятора, 1000 об/мин), кПа							
5,2 ± 0,2							
Разрежение В-1 (на выходе из ресивера), кПа							
В-1-1	В-1-2	В-1-3	В-1-4	В-1-5	В-1-6	В-1-7	В-1-8
4,8 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,0 ± 0,1	4,9 ± 0,1	4,8 ± 0,1

Рисунок 8 – Гистограмма распределения степени разряжения на выходе из ресивера в высевающие аппараты СТВ МС-8

По результатам измерений (таблица 2 и рисунок 8) определено следующее:

- вентиляторная установка пропашной сеялки МС-8 производства ПАО «Миллеровосельмаш» обеспечивает разрежение в трубе-ресивере не более 5...6 кПа при оборотах ВОМ 1000 об/мин и не более 1,6 кПа при оборотах ВОМ 520 об/мин;
- при этом наблюдается снижение степени разрежения на выходе из трубы-ресивера при удалении от вентиляторной установки на 0,1...0,2 кПа на каждый пневмопатрубок;
- при работе вентиляторной установки наблюдается биение (пульсация) разрежения в пределах $\pm (0,1...0,2)$ кПа.

Оценка и исследование пневматических характеристик ВА типа МС

Оценка и исследование пневматических характеристик проводилась в соответствие с матрицей экспериментов (таблица 1 и рисунки 5 и 6). В качестве источника разрежения использовалась вихревая воздуходувка 1УР22-85-240-0,7, обеспечивающая степень разрежения (напор) до 21 кПа и производительность (расход воздуха) до 85 м³/час. Режимы работы воздуходувки регулировались путем изменения оборотов рабочего колеса с 1200 до 4200 об/мин.

Результаты измерений степени разрежения и расхода воздуха представлены в таблице 3 и на рисунках 9, 10 и 11.

Таблица 3 – Результаты измерений разрежения на высевающей секции типа МС

Диаметр присасывающих отверстий ВД, мм	Обороты рабочего колеса воздуходувки, об/мин	Разрежение в вакуумной камере ВА, кПа (т. В-2 на рис.5)	Расход воздуха, м ³ /час
0 (без отверстий)	4200	17	38
	3600	14	36
	3000	11	34
	2400	6,3	31
	1800	3	25
	1200	0,95	14
2,0	4200	13	50
	3600	11	46
	3000	9	42
	2400	5	36
	1800	2,2	28
	1200	0,6	18
3,0	4200	9,3	70
	3600	7,4	62
	3000	5,2	53
	2400	3,4	44
	1800	1,7	32
	1200	0,4	18
4,5	4200	6,8	76
	3600	4,2	68
	3000	3	58
	2400	1,9	46
	1800	1	34
	1200	0,2	18
6,0	4200	2	86
	3600	1,5	76
	3000	1,1	64
	2400	0,6	50
	1800	0,3	36
	1200	0,05	20

На рисунке 9 представлена напорная характеристика ВА типа МС, определяющая степень разряжения в вакуумной камере ВА в зависимости от режимов работы воздушодувки и диаметров присасывающих отверстий ВД.

Рисунок 9 – Напорная характеристика ВА типа МС

На рисунке 10 представлена напорно-расходная характеристика ВА типа МС, определяющая расход воздуха (объем отсасываемого воздуха) из вакуумной камеры ВА, требуемого для поддержания необходимого разряжения в вакуумной камере.

Рисунок 10 – Напорно-расходная характеристика ВА типа МС при различных диаметрах присасывающих отверстий

Анализ напорной (таблица 3 и рисунок 9) и напорно-расходной (таблица 3 и рисунок 10) характеристик ВА типа МС показывает, что с увеличением диаметров присасывающих отверстий ВД происходит снижение степени разряжения. Так при номинальных режимах работы воздушодувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм степень разряжения снижается с 9,0 до 1,1 кПа. При этом, для поддержания требуемого разряжения необходимо увеличивать объем отсасываемого (откачиваемого) воздуха из вакуумной камеры. При номинальных режимах работы

воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм для поддержания постоянного разряжения объем откачиваемого воздуха должен увеличиться с 42 до 64 м³/час.

На рисунке 11 представлена расходная характеристика ВА типа МС, определяющая объем утечек воздуха и вакуумной камеры ВА в зависимости от диаметра присасывающих отверстий ВД и режимов работы воздуходувки.

Рисунок 11 – Расходная характеристика ВА типа МС

Расходная характеристика ВА типа МС (см. табл. 3 и рис. 11) показывает, что вакуумно-дисковые имеют ВА значительные «утечки» разряжения (до 50% на всех режимах работы даже на ВД без отверстий).

Оценка и исследование нагрузочных характеристик ВА типа МС

При определении нагрузочных характеристик ВА производилась оценка крутящего момента на валу ВД в зависимости от величины разряжения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД. Величина крутящего момента определялась путем фиксации приложенной нагрузки (веса навески с песком) в момент начала вращения (срыва из положения покоя) вала ВД. Результаты измерений представлены на рисунке 12 и в таблице 4.

Рисунок 12 – График изменения крутящего момента в зависимости от разряжения в вакуумной камере ВА

Таблица 4 – Результаты измерения крутящего момента ВД в зависимости от разрежения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД

Разрежение	Масса навески			Среднее результирующее		Плечо	Момент
	1	2	3				
кН	кг	кг	кг	кг	Н	м	Нм
ВД-20 (без отверстий)							
0	0,39	0,39	0,40	0,41	4,13	0,30	1,24
3	0,49	0,47	0,47	0,50	4,96	0,30	1,49
6	0,72	0,75	0,74	0,76	7,55	0,30	2,27
9	0,95	0,97	1,00	0,99	9,91	0,30	2,97
ВД-20-2,0 (диаметр всасывающих отверстий 2,0 мм)							
0	0,38	0,39	0,36	0,39	3,94	0,30	1,18
3	0,55	0,59	0,54	0,58	5,78	0,30	1,73
6	0,87	0,95	0,97	0,95	9,48	0,30	2,84
9	1,11	1,10	1,11	1,12	11,23	0,30	3,37
ВД-20-3,0 (диаметр всасывающих отверстий 3,0 мм)							
0	0,41	0,38	0,43	0,42	4,23	0,30	1,27
3	0,56	0,54	0,50	0,55	5,51	0,30	1,65
6	0,78	0,71	0,82	0,79	7,89	0,30	2,37
9	1,15	1,31	1,29	1,27	12,67	0,30	3,80
ВД-20-4,5 (диаметр всасывающих отверстий 4,5 мм)							
0	0,31	0,33	0,36	0,35	3,52	0,30	1,06
3	0,51	0,53	0,56	0,55	5,50	0,30	1,65
6	0,87	0,86	0,86	0,88	8,80	0,30	2,64
7,5	0,97	1,00	1,08	1,04	10,35	0,30	3,11
ВД-20-6,0 (диаметр всасывающих отверстий 6,0 мм)							
0	0,32	0,35	0,31	0,34	3,44	0,30	1,03
1	0,35	0,37	0,39	0,39	3,88	0,30	1,16
2	0,47	0,44	0,39	0,45	4,47	0,30	1,34
2,4	0,49	0,49	0,47	0,50	5,01	0,30	1,50

Анализ нагрузочной характеристики ВА типа МС (таблица 4 и рисунок 12) показывает, что основным параметром, влияющим на изменение крутящего момента на валу ВД является величина разрежения в вакуумной камере ВА. При увеличении разрежения с 0 до 9 кПа крутящий момент возрастает в 3,5 раза.

Выводы

Проведенные исследования пневматических и нагрузочных характеристик сеялок точного высева (СТВ) типа МС с высевающими аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа на различных режимах работы позволяют сделать следующие основные выводы:

- конструкция вентиляторной установки пропашной сеялки типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш» создает разрежение в вакуумных камерах ВА не более 5...6 кПа (разрежение у «продвинутых» СТВ зарубежных фирм достигает 10...15 кПа);
- при этом наблюдается снижение степени разрежения на выходе из трубы-ресивера при удалении от вентиляторной установки на 0,1...0,2 кПа на каждый пневмопатрубок;
- при работе вентиляторной установки наблюдается биение (пульсация) разрежения в пределах $\pm (0,1...0,2)$ кПа.
- анализ напорной и напорно-расходной характеристик ВА типа МС показывает, что с увеличением диаметров присасывающих отверстий ВД происходит снижение степени разрежения, так при номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм разрежение снижается с 9,0 до 1,1 кПа. При этом, для поддержания требуемого разрежения необходимо увеличивать объем отсасываемого (откачиваемого) воздуха из вакуумной

камеры: при номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм для поддержания постоянного разряжения объем откачиваемого воздуха увеличивается с 42 до 64 м³/час;

— расходная характеристика ВА типа МС (табл. 3 и рис. 11) показывает, что вакуумно-дисковые имеют ВА значительные «утечки» разряжения (до 50% на всех режимах работы даже на ВД без отверстий);

— анализ нагрузочной характеристики ВА типа МС показывает, что основным параметром, влияющим на изменение крутящего момента на валу ВД является величина разряжения в вакуумной камере ВА. При увеличении разряжения с 0 до 9 кПа крутящий момент возрастает в 3,5 раза;

полученные результаты проведенных исследований необходимо учитывать при модернизации существующих и разработке новых ВА.

Список литературы

1. Оптимизация вакуумных высевальных аппаратов пропашных сеялок: монография / А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, В.В. Должиков, А.В. Яковец, Д.Е. Шаповалов. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 176 с.
2. Постановление Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» (п.7. Машины для посева сельскохозяйственных культур).
3. СТО АИСТ 5.6-2018. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования.
4. www.johndeere.com.
5. www.agro-sintez.com.ua.
6. Обеспечение работоспособности деталей высевальных аппаратов сеялок для пропашных культур/ О. Банний, А. Новицкий, С. Карабиньш, Ю. Новицкий // Пропозиция. – 2017. – №2 – с. 50-54.
7. Лебедев А.Т., Марьин Н.А., Марьин А.Н. Повышение долговечности пары трения «диск-прокладка» высевальных аппаратов пропашных сеялок // Наука в центральной России, №3(9), 2014. – с. 45-50.
8. Средства измерений, применяемые при испытаниях и исследованиях сельскохозяйственной техники и технологий ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), Новокубанск 2019. с. 24.
9. www.horsch.com.
10. www.kinze.com.
11. www.precisionplanting.com.

References

1. Optimization of vacuum seeding devices for row-crop seeders: monograph / A.Yu. Nesmiyan, V.I. Khizhnyak, V.V. Dolzhikov, A.V. Yakovets, D.E. Shapovalov. - Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, 2013.- 176 p.
2. Decree of the Government of the Russian Federation of August 1, 2016 No. 740 "On the determination of functional characteristics (consumer properties) and efficiency of agricultural machinery and equipment" (clause 7. Machines for sowing agricultural crops).
3. STO AIST 5.6-2018. Agricultural machinery tests. Sowing and planting machines. Indicators of purpose and reliability. General requirements.
4. www.johndeere.com.
5. www.agro-sintez.com.ua.
6. Ensuring the operability of the details of the seeding apparatus of seeders for row crops / O. Banny, A. Novitskiy, S. Karabinosh, Yu. Novitskiy // Proposition. - 2017. - No. 2 - p. 50-54.
7. Lebedev A.T., Maryin N.A., Maryin A.N. Increasing the durability of the friction pair "disc-gasket" of seeding units of row-crop seeders // Science in Central Russia, No. 3 (9), 2014. - p. 45-50.
8. Means of measurement used in testing and research of agricultural equipment and technologies FGBNU "Rosinformagrotech" (KubNIITiM), Novokubansk 2019. p. 24.
9. www.horsch.com.
10. www.kinze.com.
11. www.precisionplanting.com.

Сведения об авторах**Принадлежность к организации**

Завражнов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, начальник Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru

Земляной Андрей Александрович – ведущий специалист Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru

Ланцев Владимир Юрьевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и основ конструирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Мишин Борис Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск

Крецу Николай Исаев – главный инженер ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ". Россия, г. Миллерово, e-mail: ing@msm161.ru.

Шепелев Валерий Юрьевич - Временно исполняющий обязанности начальника Технологического конструкторского отдела ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: to@msm161.ru

Якушев Алексей Викторович - директор по развитию ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Author credentials**Affiliations**

Zavrazhnov Andrey - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

Zavrazhnov Anatoly - Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru

Zemlyanoy Andrey - leading specialist of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru

Lantsev Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Fundamentals of Design of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Mishin Boris - candidate of technical sciences, senior lecturer at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Kretsu Nikolay - chief engineer of PJSC "MILLEROVOSELMASH". Russia, Millerovo, e-mail: ing@msm161.ru

Shepelev Valery - Acting Head of the Technological and Design Department of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: to@msm161.ru

Yakushev Alexey - Development Director of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Поступила в редакцию (Received): 03.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021