

УДК 631.372:621.01:004.94

UDC 631.372:621.01:004.94

4.3.1. – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

4.3.1. – Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕЯЛКИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯТОРА

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PNEUMATIC SEEDER BY OPTIMIZING THE FAN PARAMETERS

Нестеренко Дмитрий Александрович
Аспирант

SPIN-код автора 1139-7413

РИНЦ Author ID = 1291600

e-mail: dn_800_36@bk.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Nesterenko Dmitry Alexandrovich
Graduate student

RSCI SPIN-code: 1139-7413

RSCI Author ID = 1291600

e-mail: dn_800_36@bk.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Михайлов Владимир Сергеевич

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 2276-9717

РИНЦ Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

Пridнестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Пridнестровье, Тирасполь

Mikhailov Vladimir Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 2276-9717

RSCI Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

Козлов Вячеслав Геннадиевич

д-р. техн. наук, профессор

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Kozlov Vyacheslav Gennadievich

Doctor of Technical Sciences, Professor

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Димогло Анатолий Владимирович

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 8185-2814

РИНЦ Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

Пridнестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Пridнестровье, Тирасполь

Dimoglo Anatoly Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 8185-2814

RSCI Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

Попов Антон Евгеньевич

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 1936-5117

РИНЦ Author ID = 700179

e-mail: pae_83@inbox.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Popov Anton Evgenievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 1936-5117

RSCI Author ID = 700179

e-mail: pae_83@inbox.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

В статье рассматривается актуальная проблема обеспечения стабильной работы пневматических высевальных аппаратов сеялок точного высева. Анализ современных тенденций показывает целесообразность перехода от традиционных

The article discusses the actual problem of ensuring the stable operation of pneumatic seeding machines of precision seeders. An analysis of current trends shows the expediency of switching from traditional vacuum systems (with a discharge of 5-7 kPa) to overpressure

вакуумных систем (с разряжением 5–7 кПа) к аппаратам избыточного давления, которые обеспечивают более устойчивый высеv при высоких скоростях. Кроме того, обоснована перспективность отказа от централизованных пневмосистем с протяженными воздуховодами в пользу модульных конструкций с индивидуальными центробежными радиальными вентиляторами, оснащенными независимым электроприводом, что позволяет минимизировать потери давления и упростить настройку аппаратов. Целью работы является научно обоснованный выбор рационального типа (аэродинамической схемы) и расчет оптимальных геометрических и режимных параметров вентилятора, обеспечивающего требуемые аэродинамические характеристики для пневматических высевающих аппаратов, работающих как в режиме всасывания, так и в режиме нагнетания. Теоретической базой исследования послужили классические методы подбора вентиляторов по критерию быстроходности (n_v), который интегрально связывает частоту вращения, производительность и развиваемое давление. Для анализа использованы безразмерные аэродинамические характеристики типовых схем центробежных вентиляторов, полученные при испытании моделей. Расчеты выполнялись для двух принципиально различных режимов работы пневмосистемы. Построенные детальные размерные характеристики (зависимости полного и статического давления, потребляемой мощности и КПД от производительности) графически и таблично подтверждают способность рассчитанного вентилятора обеспечивать устойчивое давление (до 5488 Па) и требуемую производительность (до 2500 м³/ч) во всем заданном эксплуатационном диапазоне. Предложенные и рассчитанные аэродинамические характеристики вентилятора обладают высокими энергетическими показателями (максимальный КПД достигает 0,75, что является высоким показателем для данного класса машин). Полученные результаты могут быть использованы проектными организациями и предприятиями сельскохозяйственного машиностроения при модернизации существующих и создании новых посевных машин

Ключевые слова: ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СЕЯЛКА, ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ, ВЕНТИЛЯТОР, АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ТОЧНЫЙ ВЫСЕВ, ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ

devices that provide more stable seeding at high speeds. In addition, the prospects of abandoning centralized pneumatic systems with extended air ducts in favor of modular designs with individual centrifugal radial fans equipped with an independent electric drive are substantiated, which minimizes pressure losses and simplifies the configuration of devices. The aim of the work is to scientifically substantiate the choice of a rational type (aerodynamic scheme) and calculate the optimal geometric and operating parameters of the fan, which provides the required aerodynamic characteristics for pneumatic seeding machines operating in both suction and discharge modes. The theoretical basis of the study was the classical methods of selecting fans according to the criterion of high-speed (n_v), which integrally relates the rotational speed, productivity and developed pressure. The dimensionless aerodynamic characteristics of typical centrifugal fan circuits obtained during model testing were used for the analysis. Calculations were performed for two fundamentally different operating modes of the pneumatic system. The constructed detailed dimensional characteristics (the dependences of total and static pressure, power consumption and efficiency on performance) graphically and tabularly confirm the ability of the calculated fan to provide stable pressure (up to 5488 Pa) and the required capacity (up to 2500 m³/h) over the entire specified operating range. The proposed and calculated aerodynamic characteristics of the fan have high energy performance (the maximum efficiency reaches 0.75, which is a high indicator for this class of machines). The results obtained can be used by design organizations and agricultural machinery enterprises in the modernization of existing and the creation of new sowing machines

Keywords: PNEUMATIC SEEDER, SEEDING MACHINE, FAN, AERODYNAMIC CHARACTERISTICS, AIR PRESSURE, PRODUCTIVITY, PRECISE SEEDING, OVERPRESSURE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-218-008>

<http://ej.kubagro.ru/2026/04/pdf/08.pdf>

В структуре современного парка посевной техники пневматические сеялки точного высева занимают лидирующие позиции, что обусловлено их способностью обеспечить высокое качество технологического процесса. К основному числу их преимуществ можно отнести качество размещения семян в рядке пневматическим высевающим аппаратом, а также стабильность высева. Функционирование таких систем на основе избыточного давления позволяет организовать подачу посевного материала непосредственно из бункера к сошнику с последующим размещением на семенном ложе. Это, в свою очередь, создает предпосылки для повышения рабочей скорости агрегата и сокращения временных затрат на проведение полевых работ [1, 2].

Анализ мировых тенденций в области сельскохозяйственного машиностроения свидетельствует о приоритетном внимании ведущих производителей к разработке сеялок, оснащенных пневматическими системами. Типовая конструкция высевающего аппарата, функционирующего на избыточном давлении, включает семенной бункер с разделительной перегородкой, высевающий диск, воздушное сопло и сошник. Эффективность выполнения посевной операции напрямую зависит от того, насколько полно высевающий аппарат соответствует комплексу агротехнических требований. В их числе: равномерность подачи семян в сошниковую группу; устойчивость высева, подразумевающая постоянство количества семян на погонный метр вне зависимости от степени наполнения бункера, рельефа местности, уклона сеялки или колебаний скорости движения; минимизация травмирования семян; способность к бесперебойному высеву различных культур, обладающих отличающимися физико-механическими характеристиками (форма, размеры, микрорельеф поверхности) [3].

Благодаря щадящему механическому воздействию на посевной материал, пневматические аппараты обеспечивают низкий уровень его

травматизма. Сочетание высокой надежности и универсальности делает данную конструкцию наиболее восприимчивой к дальнейшим усовершенствованиям и модернизации [4].

В современной практике нашли применение две основные схемы пневматических систем: вакуумного типа (создание разрежения) и системы, работающие на избыточном давлении. В серийных образцах пропашных сеялок преимущественно используются аппараты вакуумного действия с рабочим разрежением в диапазоне 5–7 кПа. Однако, как показывает практика, такие системы не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям, особенно в части сохранения равномерности высева при повышении скоростных режимов сева. Данное обстоятельство стимулирует постепенный отказ зарубежных производителей от вакуумных схем в пользу систем, функционирующих на избыточном давлении [4].

Как отмечается в ряде исследований, эксплуатация высевающего аппарата избыточного давления сопряжена с возникновением пульсаций рабочего давления, которые характеризуются определенной амплитудой и частотой [5, 6]. Установлено, что интенсификация частоты вращения высевающего диска ведет к пропорциональному росту частоты указанных колебаний, что диктует необходимость поиска новых конструкторских решений для стабилизации процесса.

Одним из векторов совершенствования техники является создание универсальных и ресурсосберегающих дозирующих систем. В частности, предложена конструкция пневматического высевающего аппарата, функционирующего на избыточном давлении, которая позволяет осуществлять одновременный высев семян двух различных культур в один рядок комбинированным способом. Данное техническое решение обеспечивает размещение семян с равными интервалами в ряду и на

различной глубине, а также дает возможность реализовывать пунктирный посев [3, 6, 7].

Анализ литературных источников показывает, что к числу наиболее уязвимых элементов пневматических систем точного высева исследователи относят воздушные магистрали, сами высевающие аппараты и вентиляторы. Основными причинами, приводящими к нарушению точности дозирования, являются гидравлические потери в пневмотрассах, утечки воздуха вследствие недостаточной герметичности соединений, а также необходимость адаптации системы к множеству различных режимов работы [8, 9].

В качестве эффективного пути решения обозначенных проблем рассматривается переход от централизованных пневмосистем к модульной компоновке. Такой подход предполагает оснащение каждого высевающего аппарата индивидуальным центробежным радиальным вентилятором с автономным электроприводом. Как показывают исследования, подобная модернизация способствует повышению стабильности функционирования за счет сокращения протяженности воздухопроводов, расширению технологических возможностей агрегата и упрощению процедур настройки высевающих аппаратов [8, 9].

Правильный подбор вентилятора позволяет снизить удельную энергоёмкость процесса транспортирования посевного материала, что в итоге сказывается на работоспособности и общей эффективности системы высева в целом. Применительно к пневматическим системам высева зерновых сеялок наиболее предпочтительны центробежные вентиляторы с лопатками рабочего колеса, направленными вперёд [8].

Целью работы является научно обоснованный выбор рационального типа (аэродинамической схемы) и расчет оптимальных геометрических и режимных параметров вентилятора, обеспечивающего требуемые аэродинамические характеристики для пневматических высевающих

аппаратов, работающих как в режиме всасывания, так и в режиме нагнетания.

В рамках исследований проводится выбор и расчёт конструкции вентилятора, обеспечивающего необходимый вакуум или избыточное давление.

Для устойчивой работы как серийно выпускаемых, так и перспективных моделей высевающих аппаратов сеялок, вентиляторы должны соответствовать следующим техническим характеристикам:

- для режима всасывания: производительность $Q = 2000\text{--}2500$ м³/ч; статическое давление $p_{sv} = 3724\text{--}5488$ Па (при нормальных атмосферных условиях $p_c = 0,1015$ МПа, $T_0 = 293$ К, относительная влажность 50%); частота вращения крыльчатки $n = 3200\text{--}4200$ мин⁻¹.

- для режима нагнетания: производительность $Q = 1800$ м³/ч; давление $p_v = 4116\text{--}5488$ Па; частота вращения крыльчатки $n = 2500\text{--}4200$ мин⁻¹.

Выбор оптимальных параметров вентилятора сводится к определению его типа (аэродинамической схемы) и геометрических размеров, при которых обеспечиваются максимальный коэффициент полезного действия (КПД), минимальные массогабаритные показатели и требуемые регулировочные характеристики в заданном диапазоне режимов.

Для выбора рационального типа и размера вентилятора используют имеющиеся аэродинамические схемы вентиляторов [10, 11]. Выбор рациональной схемы обычно сводится к использованию известных критериев быстроходности и габаритности. Для вентиляторов сеялок предпочтительным является критерий быстроходности:

$$n_y = nQ^{1/2}pv_0^{-3/4} \quad (1)$$

где p_{v0} – полное давление вентилятора, приведенное к нормальной плотности воздуха $\rho_0 = 1,2$ кг/м³.

Этот критерий можно выразить через безразмерные параметры:

$$n_y = 138\varphi^{1/2}\psi^{-3/4}, \quad (2)$$

где φ и ψ — коэффициенты соответственно производительности и полного давления.

Используя методику выбора вентиляторов по критерию быстроходности и известную аэродинамическую схему вентилятора [12-14], произведем расчеты вентиляторов, работающих на всасывание и нагнетание. Для вентилятора, работающего на всасывание критерий быстроходности, $n_y = 27,8-30,4$. Вентиляторы с загнутыми вперед лопатками имеют большую долю динамического давления в полном, давлении, поэтому использовать их нецелесообразно.

Предполагаемый вентилятор имеет следующие параметры номинального режима: $\eta_{\max} = 0,75$; $\varphi = 0,06$; $\psi = 1,22$ [15], где η_{\max} — максимальный коэффициент полезного действия вентилятора.

Безразмерная аэродинамическая характеристика вентилятора, полученная при испытании модели с $D = 0,5$ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$, представлена на рисунке 1. Так как вентилятор работает на всасывание, для дальнейших расчетов необходимо иметь зависимость n_y от коэффициента статического давления, то есть $n_y = f(\psi_s)$. Такой расчет выполнен по формуле (2) и представлен в таблице 1, а сама кривая $n_y = f(\psi_s)$ - на рисунке 1.

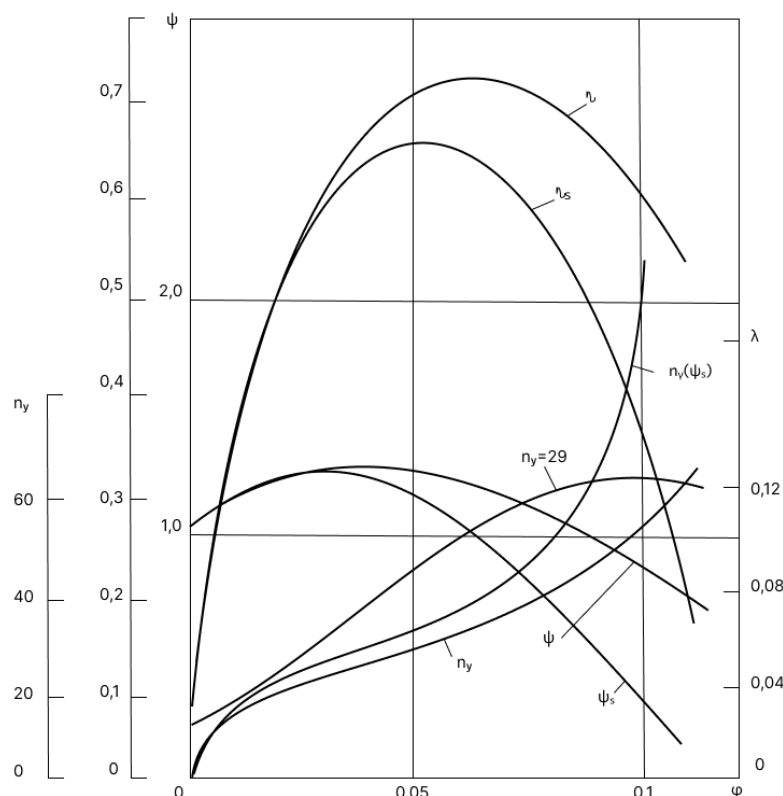


Рисунок. 1. Безразмерные аэродинамические характеристики вентилятора

Таблица 1. Зависимость быстроходности от коэффициентов.

φ	ψ_s	n_y	φ	ψ	n_y
0	1	0	0,06	1,05	32,56
0,01	1,15	12,93	0,07	0,9	39,51
0,02	1,205	16,97	0,08	0,75	48,43
0,03	1,28	20,72	0,09	0,6	60,73
0,04	1,2	24,2	0,1	0,3	107,6
0,05	1,15	23,79			

Определяем параметры ψ_s и φ при режимах, соответствующих требуемым значениям быстроходности: для $n_y^I = 27,8$ $\psi_s = 1,15$, $\varphi = 0,05$; для $n_y^{II} = 30,4$ $\psi_s = 1,1$, $\varphi = 0,056$. Проверяем значения быстроходности по формуле (2): $n_y^I = 27,8$; $n_y^{II} = 30,4$.

Таблица 2. Результаты расчета статического давления

Частота вращения мин ⁻¹	Параметры рабочих участков			Параметры оптимального режима		
	Q, м ³ /с	p _{dv} , кПа	p _{sv} , кПа	Q, м ³ /с	p _{dv} , кПа	p _{sv} , кПа
2000	0,35-0,90	0,084-0,55	4,21-2,65	0,6	0,24	3,76
2900	0,5-1,3	0,17-1,14	8,63-4,86	0,9	0,55	7,65

Рассчитываем окружную скорость по концам лопаток рабочего колеса по формуле $u = \sqrt{p_{sv}/\rho\psi_s}$. Ее значение соответственно равно $u^I = 73,6$ м/с; $u^{II} = 91,3$ м/с. Этим скоростям будут отвечать диаметры рабочего колеса: $D^I = 0,44$ м; $D^{II} = 0,415$ м.

Таблица 3. Результаты расчета размерной характеристики на частотах вращения $n_1 = 2900$ мин⁻¹

№ точки	Q, м ³ /с	p _v , Па	p _{sv} , Па	N, кВт	η	η _s
1	0	3430	3430	0,988	0	0
2	0,150	3960	3960	1,55	0,38	0,38
3	0,300	4121	4121	2,26	0,55	0,55
4	0,447	4201	4175	2,97	0,63	0,63
5	0,594	4338	4116	3,95	0,66	0,64
6	0,744	4270	3960	4,52	0,70	0,65
7	0,894	4201	3640	5,13	0,73	0,63
8	1,042	3959	3087	5,63	0,74	0,57
9	1,192	3777	2581	6,04	0,75	0,51
10	1,341	3371	2066	6,16	0,74	0,45
11	1,489	2684	1030	6,16	0,71	0,27

Для того чтобы убедиться в правильности выбора параметров вентилятора рассчитываем статическое давление, развиваемое вентилятором в рабочем диапазоне, используя формулы: $p_{sv} = p_v - p_{dv}$, где p_v , p_{dv} — соответственно полное и динамическое давления вентилятора, и $p_{dv} = 0,5\rho\xi (Q/F_b)^2$, где ξ — коэффициент, учитывающий сжимаемость среды; F_b — площадь выходного сечения вентилятора.

Таблица 4. Результаты расчета размерной характеристики на частотах вращения $n_2 = 3500 \text{ мин}^{-1}$

№ точки	Q, м ³ /с	p _v , Па	p _{sv} , Па	N, кВт	η	η _s
1	0	4998	4998	1,736	0	0
2	0,181	5764	5769	2,728	0,38	0,38
3	0,362	6064	5997	3,968	0,55	0,55
4	0,539	6114	6080	5,208	0,63	0,63
5	0,717	6314	5997	6,944	0,66	0,63
6	0,898	6214	5764	7,936	0,70	0,65
7	1,078	6114	5297	9,002	0,73	0,63
8	1,257	5764	4507	9,895	0,73	0,57
9	1,438	5497	3757	10,614	0,75	0,51
10	1,618	4900	3006	10,812	0,75	0,45
11	1,796	3900	1499	10,812	0,71	0,27

Результаты расчета представлены в таблице 2, анализ которых показывает, что вентилятор обеспечивает требуемые параметры при работе на всасывание, причем частоту вращения можно снизить до $n = 2900\text{-}3500 \text{ мин}^{-1}$.

Используя размерную характеристику вентилятора, полученную для колеса с диаметром $D = 0,5 \text{ м}$, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$, пересчитываем ее на частоты вращения $n_1 = 2900 \text{ мин}^{-1}$ и $n_2 = 3500 \text{ мин}^{-1}$.

Результаты расчета размерной характеристики на частотах вращения $n_1 = 2900 \text{ мин}^{-1}$ и $n_2 = 3500 \text{ мин}^{-1}$ представлены соответственно в таблицах 3 и 4, а сами характеристики — на рисунке 2 (а, б). Аналогично производим расчет и выбор вентилятора, работающего на нагнетании, который обеспечивал бы приведенные выше параметры. Наиболее оптимальным в этом отношении является вентилятор, размерные характеристики которого при $n_1 = 2500 \text{ мин}^{-1}$ и $n_2 = 2900 \text{ мин}^{-1}$ представлены на рисунке 3.

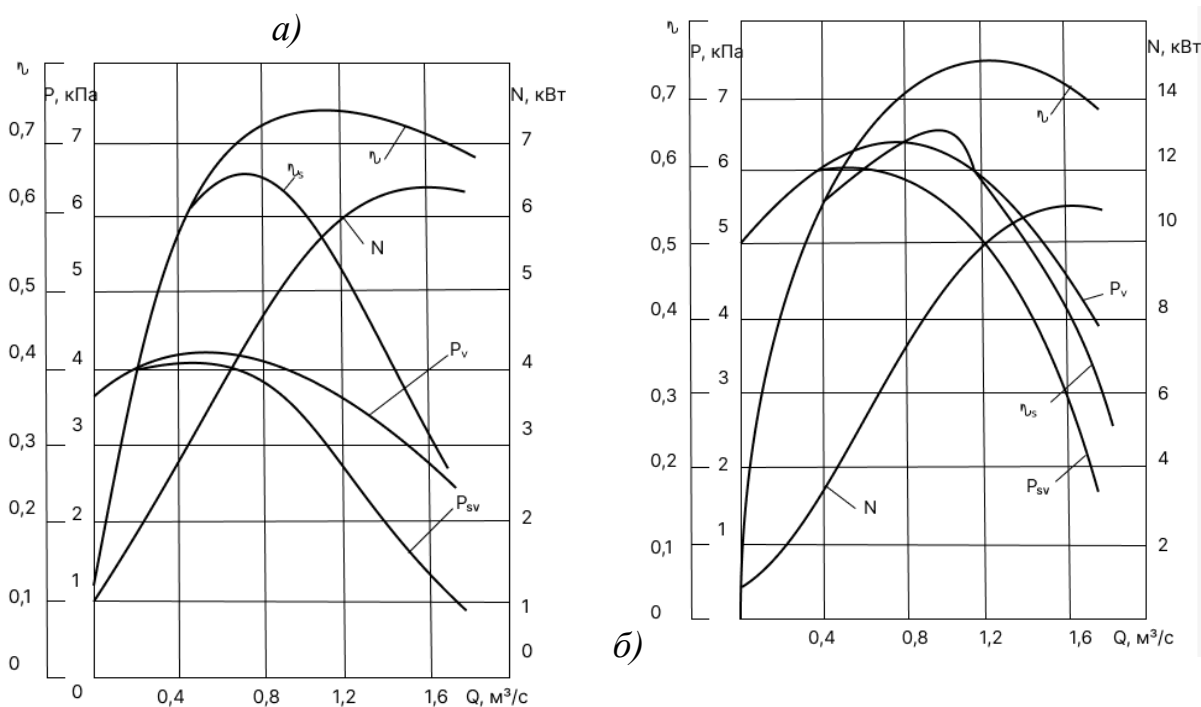


Рисунок 2. Размерные аэродинамические характеристики вентилятора: *a* - при $n_1 = 2900 \text{ мин}^{-1}$; *б* - при $n_2 = 3500 \text{ мин}^{-1}$

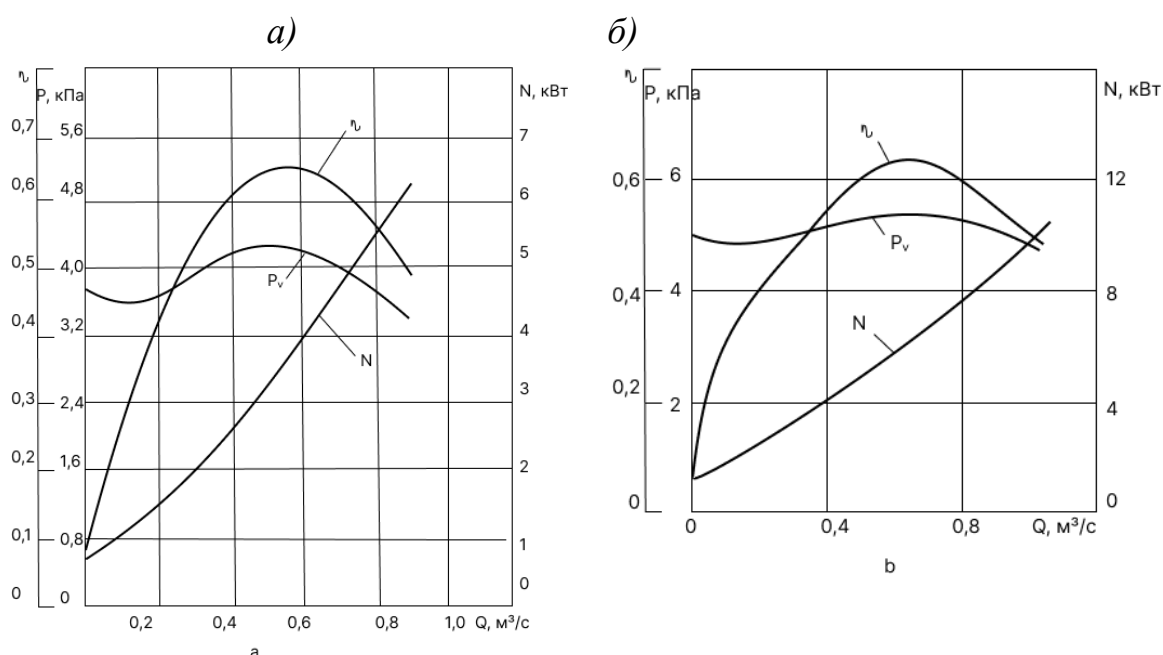


Рисунок 3. Размерные аэродинамические характеристики вентилятора: *a* - при $n_1 = 2500 \text{ мин}^{-1}$; *б* - при $n_2 = 2900 \text{ мин}^{-1}$

Проведенный анализ современного состояния посевной техники и теоретико-экспериментальные исследования пневматических систем позволяют сформулировать следующие выводы:

Установлено, что пневматические сеялки точного высева являются наиболее перспективным типом посевной техники благодаря высокой точности дозирования, минимальному травмированию семян и возможности увеличения рабочих скоростей. Выявлена тенденция перехода от вакуумных систем к аппаратам избыточного давления, которые в большей степени соответствуют современным агротехническим требованиям сохранения равномерности высева при высоких скоростях движения агрегатов.

В ходе анализа конструкций определено, что основными недостатками существующих пневматических систем являются потери давления в магистралях из-за их протяженности и нестабильность работы вентиляторов, в связи с этим имеется перспектива перехода от централизованных систем к модульным конструкциям с индивидуальными радиальными вентиляторами и независимым электроприводом, что позволяет повысить стабильность работы и упростить настройку аппаратов.

Для обеспечения качественной работы высевающих аппаратов обосновано применение метода подбора вентиляторов по критерию быстроходности (n_y). Доказано, что использование данного критерия, связывающего производительность, давление и частоту вращения, позволяет с высокой точностью определить рациональный тип (аэродинамическую схему) и геометрические размеры рабочего колеса.

На основе безразмерных аэродинамических характеристик выполнен расчет вентилятора, работающего на всасывание. Установлено, что для обеспечения требуемого диапазона давлений (3724–5488 Па) и производительности (2000–2500 м³/ч) оптимальными параметрами являются:

- диаметр рабочего колеса: $D = 0,415–0,44$ м;

- рабочая частота вращения: $n = 2900\text{--}3500 \text{ мин}^{-1}$ (что ниже исходного требуемого диапазона и свидетельствует о наличии запаса по производительности).

Построенные размерные характеристики (рис. 2, табл. 3, 4) подтверждают, что вентилятор обеспечивает устойчивую работу высевающих аппаратов во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок.

Аналогичным образом подобран вентилятор для работы на нагнетание. Определены его размерные характеристики (рис. 3), обеспечивающие требуемые параметры ($Q = 1800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $p_v = 4116\text{--}5488 \text{ Па}$) при частотах вращения $n = 2500\text{--}2900 \text{ мин}^{-1}$.

Предложенные и рассчитанные аэродинамические характеристики вентиляторов обладают высокими энергетическими показателями (максимальный КПД достигает 0,75). Внедрение вентиляторов в конструкцию сеялок позволит улучшить качество посева за счет стабилизации давления в пневмосистеме, снизить удельную энергоемкость процесса транспортирования семян по сравнению с базовыми образцами, установленными на серийных сеялках, а также обеспечить требуемые регулировочные характеристики при минимальных массогабаритных показателях.

Литература

1. Вагин, И. В. Повышение качества высева семян зерновых культур пневмосеялкой с электроприводом высевающего аппарата и вентилятора: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вагин Иван Владимирович. – Пенза, 2010. – 176 с.

2. Влияние аэродинамических свойств семян на работу дозирующей системы высевающего аппарата вакуумного действия / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, Л. С. Адамия, А. Х. Шогенов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 4. – С. 69-71. – DOI 10.30850/vrsn/2018/4/69-71.

3. Универсальное ресурсосберегающее дозирующее устройство пневматического высевающего аппарата / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, А. Х. Шогенов, А. С. Золотарев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15, № 1(57). – С. 59-62. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-59-62.

4. Завражнов, А. А. Особенности пневматических систем сеялок точного высева / А. А. Завражнов, А. А. Земляной, Б. С. Мишин // Наука и Образование. – 2024. – Т. 7, № 4.
5. Попов, А. Ю. Совершенствование конструкции пневматического высевающего аппарата избыточного давления / А. Ю. Попов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – № 4(152). – С. 76-79.
6. Нино, Т. П. Повышение качества высева семян зерновых культур пневмосеялкой с электроприводом высевающего аппарата и вентилятора / Т. П. Нино // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2011. – № 2. – С. 499.
7. Андреева, Е.В. Универсальное ресурсосберегающее дозирующее устройство пневматического высевающего аппарата. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Шогенов А.Х., Золотарев А.С. // Вестн. Казан. гос. аграр. ун-та. Казань.-2020.-N 1(57).-С. 59-62.-Рез. англ.-Библиогр.: с.61. Шифр 10-8899Б / Е. В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2021. – № 3. – С. 696.
8. Салапура, Ю. Л. Выбор типа вентилятора и определение мощности на его привод для пневматических систем высева / Ю. Л. Салапура, Э. В. Дыба // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 303-305.
9. Салеев, Ф. И. Ветрорешетная очистка зерноуборочного комбайна с улучшенной качественной характеристикой центробежного вентилятора : специальность 05.20.00 "Процессы и машины агроинженерных систем" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ф. И. Салеев. – Новосибирск, 1983. – 22 с.
10. Теоретические и лабораторные исследования центральной пневматической высевающей системы для широкозахватной сеялки / М. А. Адуов, С. А. Нукушева, К. Володя [и др.] // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2024. – № 2(121). – С. 4-22. – DOI 10.51452/kazatu.2024.2(121).1701.
11. Численное моделирование работы центробежного вентилятора / Р. А. Коротаяев, А. Н. Хазов, Д. В. Григорьев, Д. Г. Соколов // Радиолокация : Теория и практика. – Москва : ООО Издательство "Юнити-Дана", 2023. – С. 610-615.
12. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. Некоторые особенности эффективного использования вентиляционно-отопительного оборудования. Руководство - М., 2004.
13. Курдюмов, В. И. Повышение энергетической эффективности процесса сушки зерна в условиях фермерских хозяйств / В. И. Курдюмов, А. А. Павлушин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4(42). – С. 80-82.

References

1. Vagin, I. V. Povyshenie kachestva vyseva semjan zernovyh kul'tur pnevmosejalkoj s jelektroprivodom vysevajushhego apparata i ventiljatora: special'nost' 05.20.01 "Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva" : dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk / Vagin Ivan Vladimirovich. – Penza, 2010. – 176 s.
2. Vlijanie ajerodinamicheskikh svojstv semjan na rabotu dozirujushhej sistemy vysevajushhego apparata vakuumnogo dejstvija / В. Н. Ахалая, Ю. Н. Шогенов, Л. С. Адамия, А. Н. Шогенов // Vestnik rossijskoj sel'skohozjajstvennoj nauki. – 2018. – № 4. – S. 69-71. – DOI 10.30850/vrsn/2018/4/69-71.
3. Universal'noe resursosberegajushhee dozirujushhee ustrojstvo pnevmaticheskogo vysevajushhego apparata / В. Н. Ахалая, Ю. Н. Шогенов, А. Н. Шогенов, А. С. Золотарев // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – Т. 15, № 1(57). –

S. 59-62. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-59-62.

4. Zavrazhnov, A. A. Osobennosti pnevmaticheskikh sistem sejalok tochnogo vyseva / A. A. Zavrazhnov, A. A. Zemljanoj, B. S. Mishin // Nauka i Obrazovanie. – 2024. – T. 7, № 4.

5. Popov, A. Ju. Sovershenstvovanie konstrukcii pnevmaticheskogo vysevajushhego apparata izbytochnogo davlenija / A. Ju. Popov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki. – 2009. – № 4(152). – S. 76-79.

6. Nino, T. P. Povyshenie kachestva vyseva semjan zernovyh kul'tur pnevmosejalkoj s jelektroprivodom vysevajushhego apparata i ventiljatora / T. P. Nino // Inzhenerno-tehnicheskoe obespechenie APK. Referativnyj zhurnal. – 2011. – № 2. – S. 499.

7. Andreeva, E.V. Universal'noe resursosberegajushhee dozirujushhee ustrojstvo pnevmaticheskogo vysevajushhego apparata. Ahalaja B.H., Shogenov Ju.H., Shogenov A.H., Zolotarev A.S. // Vestn. Kazan. gos. agrar. un-ta. Kazan'.-2020.-N 1(57).-S. 59-62.-Rez. angl.-Bibliogr.: s.61. Shifr 10-8899B / E. V. Andreeva // Inzhenerno-tehnicheskoe obespechenie APK. Referativnyj zhurnal. – 2021. – № 3. – S. 696.

8. Salapura, Ju. L. Vybor tipa ventiljatora i opredelenie moshhnosti na ego privod dlja pnevmaticheskikh sistem vyseva / Ju. L. Salapura, Je. V. Dyba // Peredovye tehnologii i tehniceskoe obespechenie sel'skohozjajstvennogo proizvodstva : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Minsk : BGATU, 2017. – S. 303-305.

9. Saleev, F. I. Vetroreshetnaja ochistka zernouborochnogo kombajna s uluchshennoj kachestvennoj harakteristikoj centrobezhnogo ventiljatora : special'nost' 05.20.00 "Processy i mashiny agroinzhenernyh sistem" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk / F. I. Saleev. – Novosibirsk, 1983. – 22 s.

10. Teoreticheskie i laboratornye issledovanija central'noj pnevmaticheskij vysevajushhej sistemy dlja shirokozahvatnoj sejalki / M. A. Aduov, S. A. Nukusheva, K. Volodja [i dr.] // Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seifullina. – 2024. – № 2(121). – S. 4-22. – DOI 10.51452/kazatu.2024.2(121).1701.

11. Chislennoe modelirovanie raboty centrobezhnogo ventiljatora / R. A. Korotaev, A. N. Hazov, D. V. Grigor'ev, D. G. Sokolov // Radiolokacija : Teorija i praktika. – Moskva : OOO Izdatel'stvo "Juniti-Dana", 2023. – S. 610-615.

12. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. Nekotorye osobennosti jeffektivnogo ispol'zovanija ventiljacionno-otopitel'nogo oborudovanija. Rukovodstvo - M., 2004.

13. Kurdjumov, V. I. Povyshenie jenergeticheskij jeffektivnosti processa sushki zerna v uslovijah fermerskikh hozjajstv / V. I. Kurdjumov, A. A. Pavlushin // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 4(42). – S. 80-82.