

хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 24–31.

3. Авдеев, Ю.В. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координатной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов, Н.А. Варданян // Изв. ВУЗов. Строительство. – 2011. – № 10. – С. 74–79.

УДК 631.331.022

**Ю.Л. Салапура, В.Ф. Марышев,
Д.В. Зубенко**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

А.В. Новиков

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ПИТАТЕЛЯ
ЭЖЕКТОРНОГО ТИПА
ЗЕРНОВОЙ
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
СЕЯЛКИ**

Введение

Проблема увеличения производства зерна была и остается ключевой задачей, решение которой служит основой продовольственной безопасности страны. Поэтому Государственной программой устойчивого развития села на 2011–2015 годы предусматривается доведение валового сбора зерна в республике в 2015 году до 12 млн тонн [1]. Хотя селекционерами получены сорта хлебных злаков урожайностью более 80 ц/га, но на практике уровень ее реализации не по всем культурам превышает 50 % [2]. И это зависит от ряда значимых факторов: почвенно-климатических условий, сорта семян возделываемых культур, вносимых удобрений и средств защиты растений. Однако даже при всех благоприятных факторах получение высокого урожая невозможно без применения надлежащей технологии возделывания и технических средств для ее реализации. От того, насколько правильно и в требуемые агротехнические сроки для конкретных условий будет подготовлена почва под посев, равномерно распределены семена по площади поля и заделаны на требуемую глубину, зависит их полевая всхожесть, выживаемость и интенсивность дальнейшего развития, а в конечном итоге – величина урожая.

Для решения поставленных задач необходимо применение высокопроизводительных широкозахватных зерновых сеялок и комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов, на которых, в основном, возможно применение пневматической системы посева.

Анализ исследований и публикаций

В настоящее время в мировой практике производства посевных машин, где в качестве транспортирующего элемента используется воз-

душный поток, различают три типа высевующих систем: централизованного (одно- и двухступенчатые), индивидуального и группового дозирования посевного материала.

В последние годы находят все более широкое применение пневматические сеялки с системой группового дозирования семян. Такая система состоит из нескольких самостоятельных высевующих секций, каждая из которых содержит следующие рабочие органы: дозатор, питатель и одноступенчатый распределитель потока посевного материала. Все секции через дозаторы связаны с единым бункером, при этом каждая из них предназначена для определенного количества сошников. Так как количество материала, подаваемого катушкой дозатора, уменьшается, возрастает и точность дозирования. Посевные агрегаты с такой системой посева могут комплектоваться распределителями горизонтального или вертикального типа, что расширяет диапазон ее применения.

Конструктивное исполнение устройств для ввода посевного материала в пневмотранспортную сеть определяется типом применяемой системы посева. Она бывает герметичная (закрытая) и негерметичная (открытая). В первой системе за счет герметизации давление в бункере и зоне ввода материала в пневмоматериалопровод одинаковое. В таких системах поток семян от дозатора беспрепятственно поступает в пневмоматериалопровод и далее транспортируется к распределителям. Для поддержания стабильности давления в системе воздушный поток, создаваемый вентилятором, подается в бункер и дозатор.

Герметичные системы в настоящее время находят применение в сеялках и почвообрабатывающе-посевных агрегатах шириной захвата 8 м и более. Несмотря на кажущуюся простоту, герметичная система не лишена недостатков. Обеспечение герметичности конструкции всех элементов системы требует высокого технологического уровня и культуры производства. Кроме того, при изменении уровня семян в бункере устойчивость посева снижается и требуется применение более производительных вентиляторов.

Эти недостатки отсутствуют в негерметичных системах посева, в которых для ввода посевного материала в пневмоматериалопровод используются специальные устройства в виде шлюзового затвора, шнекового или эжекторного питателя (используется чаще всего). Поэтому негерметичные системы посева с питателями эжекторного типа получили наибольшее распространение.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с разработкой пневматических высевующих систем сеялок и их элементов, рассмотрены в работах Ф.Г. Гусинцева, К.К. Куриловича, А.С. Сентюрова, Г.Н. Лысевского, В.И. Смагля, Н.Н. Карягдыева, В.А. Насонова, Н.П. Крючина, В.С. Астахова и других ученых. В них установлено, что наибольшие потери давления воздушного потока в пневматической

системе высева возникают в питателе эжекторного типа, что сказывается на его производительности и производительности всей системы в целом. В то же время работа данного устройства влияет и на продольную неравномерность распределения посевного материала в рядке, что, в свою очередь, оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственной культуры.

Цель работы – провести экспериментальные исследования питателя эжекторного типа для определения влияния параметров давления воздушного потока в его проточной части на производительность.

Методика проведения исследований

Принцип действия эжекторного питателя основан на преобразовании статического давления в динамическое, что позволяет создавать в месте ввода материала статическое давление, равное атмосферному или несколько ниже, и на обратном преобразовании динамического давления в статическое для транспортирования материала [3, с.79–83].

Для изучения рабочего процесса питателя эжекторного типа применительно к пневматическим системам высева группового дозирования зерновых сеялок разработаны экспериментальные образцы питателя, представленные на рисунке 59.



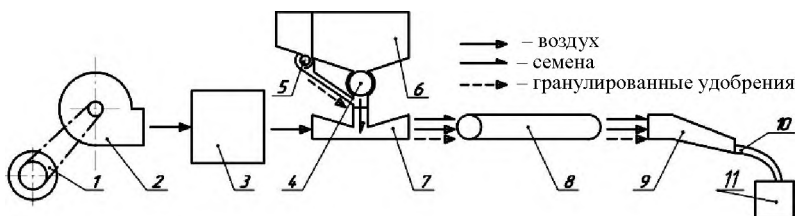
а) питатель (общий вид); б) корпуса с приемной камерой; в) конфузур

Рисунок 59 – Экспериментальные образцы питателя эжекторного типа

При определении максимальной производительности (пропускной способности) подача материала дозатором производилась с задержкой в 30 с после включения вентилятора (для стабилизации воздушного потока в системе). Высев производился в течение 60 с, так как этого времени достаточно для заполнения пневмоматериалопровода посевным материалом по всей его длине. Изменение массовой подачи материала производилось при варьировании длины рабочей части катушки и частоты ее вращения.

Максимальное значение производительности определялось по характеру перемещения материала в системе – началу образования завалов в трубопроводе и появлению в горловине питателя частиц во взвешенном состоянии.

Исследования проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунке 60, а внешний вид – на рисунке 61.



- 1 – электродвигатель; 2 – вентилятор; 3 – ресивер; 4 – дозатор зерна; 5 – дозатор гранулированных удобрений; 6 – бункер; 7 – питатель эжекторного типа; 8 – пневмоматериалопровод; 9 – распределитель потока посевного материала; 10 – семяпровод; 11 – сборник семян

Рисунок 60 – Схема экспериментальной установки



Рисунок 61 – Внешний вид экспериментальной установки

Установка состоит из электродвигателя 1 ($N = 11 \text{ кВт}$, $n = 950 \text{ об./мин.}$), центробежного вентилятора высокого давления 2, обеспечивающего максимальное давление воздушного потока 5 кПа при частоте вращения 3850 с^{-1} , цилиндрического ресивера 3 диаметром 170 мм , бункера 6 с дозаторами 4 катушечного типа для семян и гранулированных минеральных удобрений 5, питателя эжекторного типа 7, пневмоматериалопровода 8 диаметром 50 мм и длиной $4,0 \text{ м}$, шестиканального распределителя посевного материала горизонтального типа 9 конструкции Белорусской сельскохозяйственной академии, семяпроводов 10 диаметром 32 мм , сборника семян 11.

Привод дозаторов осуществляется от электродвигателя через девятиступенчатый редуктор цепной передачей. Установка нормы высева производится изменением частоты вращения и (или) длины рабочей части катушки.

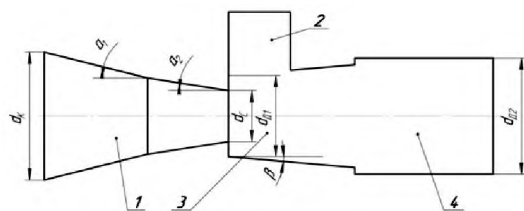
При проведении опытов в качестве высеваемого материала использовалась смесь озимой ржи с гранулированным суперфосфатом в соотношении 3:1. Влажность семян соответствовала агротехническим требованиям. Число повторностей опытов принималось трехкратным, исходя из 95 % наиболее распространенной при технических исследованиях надежности показаний. Проведение аэродинамических измерений и тарирование измерительных средств происходило в соответствии с общими требованиями аэродинамики. Исследования проводились при зна-

чениях атмосферного давления, влажности и температуры воздуха, равных или близких к стандартным.

Установка работает следующим образом: вентилятор нагнетает воздух в пневмотранспортную магистраль. В ресивере давление воздуха выравнивается. Далее воздушный поток поступает в питатель эжекторного типа. Туда же из бункера дозаторами подается смесь из семян и удобрений (возможна раздельная подача). Воздушный поток в питателе захватывает смесь и далее по пневмоматериалопроводу транспортирует ее к шестиканальному распределителю, где происходит деление потока посевного материала по семяпроводам, а из них – в сборник семян.

В процессе испытаний определялись параметры воздушного потока – статическое и динамическое давление в системе. Замер статического давления производился с помощью трубки Пито и U-образного водяного манометра, а динамического – с помощью трубки Пито и дифференциального манометра «Testo-512» с трехкратной повторностью при установившемся режиме воздушного потока в течение 60 с. Замер производился на входе в питатель и выходе из него в центральных точках поперечного сечения.

Основные геометрические параметры проточной части питателя представлены на рисунке 62. Постоянными параметрами питателя для проведения исследований были следующие: угол сужения второй ступени конфузора $\alpha_2 = 9^\circ$; угол расширения диффузора $\beta = 12^\circ$; диаметр конфузора на входе $d_k = 55$ мм; диаметр диффузора на входе $d_{Д1} = 26$ мм и на выходе $d_{Д2} = 46$ мм; проходное сечение загрузочной воронки равно 1200 мм² (обеспечивает свободное истечение посевного материала при максимальной норме высева).



- 1 – конфузор;
- 2 – загрузочная горловина;
- 3 – приемная камера;
- 4 – диффузор

Рисунок 62 – Схема экспериментального питателя эжекторного типа

Переменными параметрами проточной части питателя были угол сужения первой ступени конфузора α_1 и диаметр конфузора на выходе d_c . Варьированием параметров проточной части питателя эжекторного типа, оказывающих наибольшее влияние на производительность питателя Q_m , изменяли параметры воздушного потока в его проточной части.

С целью определения влияния параметров давления воздушного потока в его проточной части на производительность эжекторного пита-

теля Q_m были проведены дополнительные исследования при варьировании указанных переменных параметров проточной части питателя.

Значения переменных параметров проточной части питателя представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Переменные параметры проточной части питателя эжекторного типа и уровни их варьирования

| Параметры | Границы варьирования факторов | | |
|---|-------------------------------|-----|-----|
| | (-) | (0) | (+) |
| Угол сужения конфузора, α_1 , град. | 10 | 15 | 20 |
| Диаметр выходного сечения конфузора, d_c , мм | 22 | 24 | 26 |

Результаты исследований

Применение многофакторного анализа дает более точные результаты в сравнении с парной корреляцией и поэтому является более приоритетным.

В нашем случае для определения зависимости производительности питателя эжекторного типа от разряжения в приемной камере питателя P_p , статического P_3 и динамического $P_{дз}$ давлений на выходе из питателя был проведен многофакторный корреляционно-регрессионный анализ, который предполагает выявление наличия и формы корреляционной зависимости между результативным показателем ($y(Q_m)$) и факторными признаками ($x_1(P_p)$, $x_2(P_3)$, $x_3(P_{дз})$).

$$y = f(x_1, x_2, x_3).$$

Изучение множественной корреляционной зависимости начинается с построения матрицы парных коэффициентов корреляции как между результативным показателем и каждым из факторов, так и между самими факторными признаками (таблица 13).

Таблица 13 – Матрица парных коэффициентов корреляции

| | Q_m | P_p | P_3 | $P_{дз}$ |
|----------|--------|--------|--------|----------|
| Q_m | 1 | | | |
| P_p | 0,978 | 1 | | |
| P_3 | -0,949 | -0,904 | 1 | |
| $P_{дз}$ | 0,986 | 0,995 | -0,928 | 1 |

Анализ матрицы парных коэффициентов корреляции проводится с целью дальнейшей минимизации количества факторных признаков, включаемых в многофакторную модель.

Анализ первого столбца матрицы позволяет произвести отбор факторных признаков, которые могут быть включены в модель множественной корреляционной зависимости. Поскольку степень тесноты связи у всех параметров с Q_m высокая, то на данном этапе исключений не производится и все три факторных признака включаются в модель.

Следующим этапом является выбор уравнения регрессии и расчет его параметров. В многофакторном анализе обычно используют линейную зависимость вида [4, с. 142–146]

$$\begin{cases} a_1 - 0,904 \cdot a_2 + 0,995 \cdot a_3 = 0,978; \\ -0,904 \cdot a_1 + a_2 - 0,928 \cdot a_3 = -0,949; \\ 0,995 \cdot a_1 - 0,928 \cdot a_2 + a_3 = 0,986. \end{cases} \quad (1)$$

Решив систему уравнений (1) [5, с. 149–155], получим: $a_1 = 0,229$, $a_2 = -0,277$, $a_3 = 0,500$. Тогда уравнение регрессии в стандартном масштабе примет вид:

$$\hat{y}^{\circ} = 0,229 \cdot x^{\circ}_1 - 0,227 \cdot x^{\circ}_2 + 0,5 \cdot x^{\circ}_3.$$

После перехода к натуральному масштабу уравнение регрессии принимает вид:

$$y = 3,868 + 0,784 \cdot x_1 - 1,141 \cdot x_2 + 1,651 \cdot x_3.$$

Коэффициент множественной корреляции служит показателем силы связи для множественной регрессии [4, с. 142–146]. В нашем случае $R = 0,99$, при этом коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,98$. Он показывает, что вариация результативного признака в значительной мере обусловлена влиянием факторных признаков, включенных в модель [6]. Адекватность полученного уравнения регрессии проверялась по F-критерию Фишера как отношение дисперсии относительно среднего к остаточной дисперсии:

$$F = \frac{0,455}{0,009} = 48,931.$$

Табличное значение F-критерия Фишера выбиралось по таблице [7, с. 160, приложение 3] для чисел степеней свободы $f_1 = 1$ и $f_2 = 25$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, и оно составляет 2. Для нашего случая $F = 48,931 > F(\alpha, f_1, f_2) = 2$. Согласно рекомендациям [3, с. 142–146], уравнение является адекватным экспериментальным данным.

Анализ уравнения регрессии позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на выходной параметр (Q_M) оказывает величина динамического давления на выходе из питателя $P_{ДЗ}$, а наименьшее – величина разряжения в приемной камере питателя P_p . Об этом свидетельствуют величины коэффициентов уравнения регрессии.

Заключение

В результате проведенных исследований на основе корреляционно-регрессионного анализа получено уравнение регрессии, адекватное экспериментальным данным по критерию Фишера, определяющее взаимосвязь производительности питателя эжекторного типа Q_M и разряжения в приемной камере питателя P_p , статического P_3 и динамического $P_{ДЗ}$ давлений на выходе из питателя. Анализ уравнения регрессии показывает, что наибольшее влияние на выходной параметр (Q_M) оказывает

величина динамического давления на выходе из питателя $P_{дз}$, а наименьшее – величина разряжения в приемной камере питателя P_p .

28.08.13

Литература

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы: офиц. изд. – Минск, 2011. – 76 с.
2. Кукреп, Л.В. Потенциал растениеводства Беларуси и его реализация / Л.В. Кукреп // Весці Нац. акад. Навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2008. – № 3. – С. 34–39.
3. Дорфман, М.Х. Пневматический транспорт зерна и продуктов его переработки / М.Х. Дорфман. – Москва: Хлебоиздат, 1960. – 232 с.
4. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.
5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 11-е изд., стереотипн. – М.: Наука, 1967. – 608 с.
6. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – Под ред. Ю.П. Адлера и В.В. Горского. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
7. Хайлис, Г.А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 169 с.

УДК 631.331–181.12

**Н.Д. Лепешкин, А.Н. Смирнов,
Н.Ф. Сологуб**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

С.В. Савчук

*(ОАО «Брестский электромеханический завод»,
г. Брест, Республика Беларусь)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИСПЫТАНИЙ
ОПЫТНОГО
ОБРАЗЦА СЕЯЛКИ
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
С-9**

Введение

Одной из важнейших операций в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является посев, от качества и своевременного выполнения которого в значительной степени зависит судьба урожая.

Анализ исследований отечественного и зарубежного опыта показывает, что одним из основных направлений повышения качества сева, снижения затрат ресурсов на его повышение является применение широкозахватных сеялок в агрегате с энергонасыщенными тракторами. Применение их в таком сочетании обеспечивает определенные преимущества по сравнению с комбинированными почвообрабатывающе-посевными агрегатами. С агрономической точки зрения при раздельном