

DOI: <https://doi.org/10.55505/sa.2022.2.09>

УДК: 631.333.5

## ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В САДАХ

*Виктор РАЙКОВ*

**Abstract.** The article discusses the results of a study on the stability work of the unit for deep application of mineral fertilizers in gardens with a pneumatic system for supplying fertilizers to rippers. The technique for determining the coefficient of technical use of the unit and operational productivity is given. Influencing factors were established - the diameter of the fertilizer ducts and the fan speed, as well as the range of their variation. The optimization of the values of the influencing factors for the highest value of operational performance was experimentally performed and theoretically substantiated.

**Key words:** Mineral fertilizers; Fertilizer application; Deep placement; Pneumatic system; Coefficient of technical use.

**Реферат.** В статье отражены результаты исследования по устойчивости работы агрегата для глубокого внесения минеральных удобрений в садах с пневматической системой подачи удобрений к рыхлителям. Приведена методика определения коэффициента технического использования агрегата и эксплуатационной производительности. Установлены влияющие факторы – диаметр трубопроводов и частота вращения вентилятора, а также диапазон их варьирования. Экспериментально произведена и теоретически обоснована оптимизация значений влияющих факторов для наибольшего значения эксплуатационной производительности.

**Ключевые слова:** Минеральные удобрения; Внесение удобрений; Глубокое внесение; Пневмотранспорт; Коэффициент технического использования.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье исследуются условия стабильной работы высевающего аппарата в составе агрегата для внесения минеральных удобрений в многолетних плодовых насаждениях. Производительность высевающего аппарата определяется как частотой вращения катушки для подачи удобрений, так и параметрами пневматической системы подачи удобрений к рыхлительным устройствам. Первая из этих величин определяет собой технологическую производительность агрегата и через неё – норму высева удобрений на единицу площади сада. Что же касается стабильности процесса высева и минимизации отказов в работе агрегата, то она в полной мере зависит от правильного подбора параметров пневмосистемы. Ввиду сложности аэродинамических явлений в этой системе самым надёжным методом оптимизации указанных параметров является эксперимент.

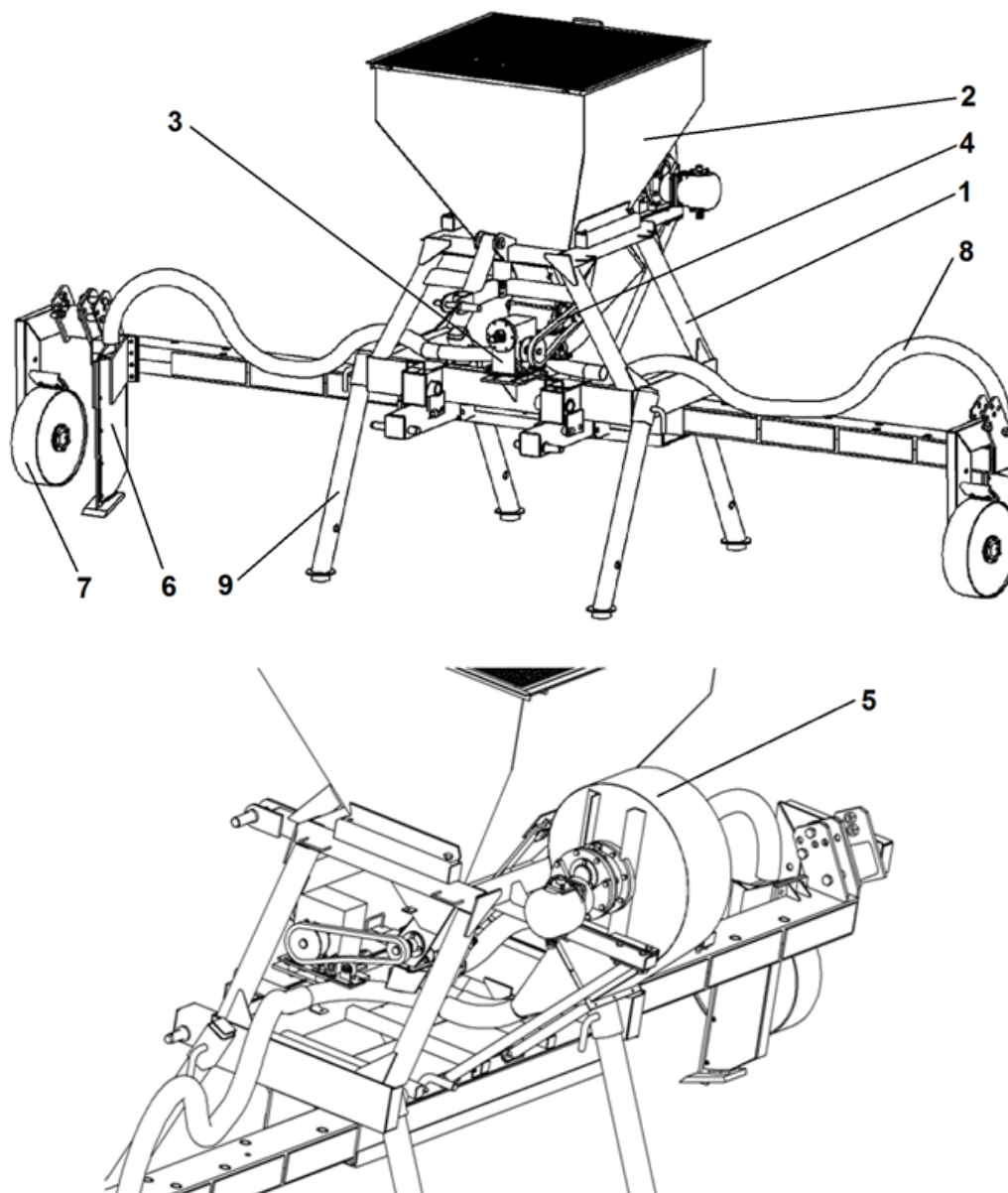
Цель настоящих исследований – определить кинематические и конструктивные параметры пневмосистемы агрегата для внесения удобрений, при которых:

1. агрегат обеспечивает максимальную технологическую производительность, заданную агротехническими требованиями;
2. работа в режиме технологической производительности совпадает с работой в режиме эксплуатационной производительности агрегата – это означает отсутствие отказов вследствие забивания удобрениями каналов пневмосистемы.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования производительности использовался агрегат для внесения гранулированных удобрений в многолетних насаждениях конструкции Института сельскохозяйственной техники «Мекагро». Общий вид и устройство агрегата показано на рис. 1.

Принцип работы агрегата заключается в следующем. Вращение от ВОМ трактора через карданный вал, редуктор 3 и цепную передачу 4 передаётся на катушку-дозатор бункера 2. Через катушку-дозатор удобрения из бункера направляются в распределитель пневмосистемы и от него в тукопроводы 8. Вентилятор 5 нагнетает воздух в распределитель пневмосистемы, благодаря чему удобрения транспортируются по тукопроводам в полости рыхлителей 6 и затем в борозды. Форма распределителя со специальными отражающими стенками обеспечивает равномерную подачу удобрений к двум рядам растений (Гусаров, В.В. 2020). Ротор вентилятора приводится во вращение через зубчатую передачу мультипликатора от гидромотора, который запитан от гидросистемы трактора. При движении агрегата рыхлители заглубляются в почву на расстояние, определяемое положением опорных колёс 7.



**Рисунок 1.** Агрегат для внесения удобрений. Вид спереди и сзади  
 1- рама; 2 - бункер с катушкой-дозатором; 3 - редуктор; 4 - цепная передача; 5 – нагнетательный вентилятор; 6 - консоль с рыхлителем и каналом подачи удобрений; 7 - опорное колесо; 8 - тукопроводы; 9 - опорная стойка

Технологическая производительность высевающего аппарата определяется частотой вращения катушки-дозатора. Максимальное, для осенней подкормки, значение нормы высева в плантациях яблони и сливы по данным плодородческих хозяйств составляет 50 г/м<sup>2</sup>. При работе с аммофоской (плотностью 1115 кг/м<sup>3</sup>), ширине междурядья 4 м и скорости движения агрегата 5 км/ч производительность высевающего аппарата  $Q_T$  должна составить около 500 кг/ч. Это значение технологической производительности  $Q_T$  установлено подбором редуктора и звёздочек цепной передачи высевающего аппарата. Измерение  $Q_T$  проводилось при отключённой системе пневматической раздачи удобрений.

Для оптимизации эксплуатационной производительности  $Q_э$  необходимо соблюдение условия  $Q_э = Q_T$ . Это равенство означает отсутствие отказов при работе пневмосистемы (Шатилов, К.В. и др. 1981). Под отказами в данном случае понимаем завалы удобрений в тукопроводах, подающих удобрения к рыхлителям.

При наличии отказов

$$Q_э = \eta_{ТН} Q_T$$

где  $\eta_{ТН}$  – коэффициент технического использования агрегата:

$$\eta_{ТН} = 1 / (1 + \tau_{ПВ})$$

Здесь  $\tau_{ПВ}$  – удельные потери времени (приходящиеся на 1 ч технологического времени), связанные с устранением отказов.

Время работы пневмосистемы в каждом опыте  $T$  принималось равным 15 мин. Время, необходимое для устранения отказов  $t$  (очистка тукопроводов от застрявших удобрений) - 1,5 мин. Измеряя количество отказов в каждом опыте, получаем значение  $\tau_{пу}$  по формуле:

$$\tau_{ПВ} = txT$$

Где  $x$  – число отказов за время  $T$ .

После этого можно найти значение  $\eta_{ТН}$  и эксплуатационной производительности.

На основании предварительных испытаний были выбраны факторы, в наибольшей мере влияющие на устойчивость работы агрегата - диаметр тукопроводов  $D$  и частота вращения вентилятора  $N$ . В таблице 1 показаны значения влияющих факторов и уровни их варьирования.

**Таблица 1. Факторный анализ производительности. Уровни варьирования факторов**

Фактор	Натуральные значения				Кодированные значения		
	нижний уровень	нулевой уровень	верхний уровень	интервал варьирования	нижний уровень	нулевой уровень	верхний уровень
X1 – диаметр тукопроводов D, мм	60	50	40	10	-1	0	+1
X2 - частота вращения вентилятора N, мин-1	1800	2200	2600	400	-1	0	+1

Эксперимент проводился по матрице трёхуровневого блочного факторного опыта 3<sup>2</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице 2 приводятся результаты эксперимента по определению совместного влияния на эксплуатационную производительность диаметра тукопроводов и частоты вращения вентилятора.

Таблица 2. Факторный анализ производительности. Результаты эксперимента

Номер опыта	X1 – диаметр тукопроводов D, мм	Частота вращения вентилятора N (X2), мин-1	Число отказов за единицу времени рабочего процесса, шт.	Коэффициент технического использования $\eta_{ТИ}$	Значение эксплуатационной производительности в % от технологической производительности
1	60 (-1)	1800 (-1)	9	0,52	52
2	50 (0)	1800 (-1)	3	0,76	76
3	40 (+1)	1800 (-1)	3	0,76	76
4	60 (-1)	2200 (0)	2	0,83	83
5	50 (0)	2200 (0)	0	1	100
6	40 (+1)	2200 (0)	1	0,91	91
7	60 (-1)	2600 (+1)	6	0,62	62
8	50 (0)	2600 (+1)	1	0,91	91
9	40 (+1)	2600 (+1)	2	0,83	83

Графическая зависимость исследуемого параметра от влияющих факторов показана на рис. 2.

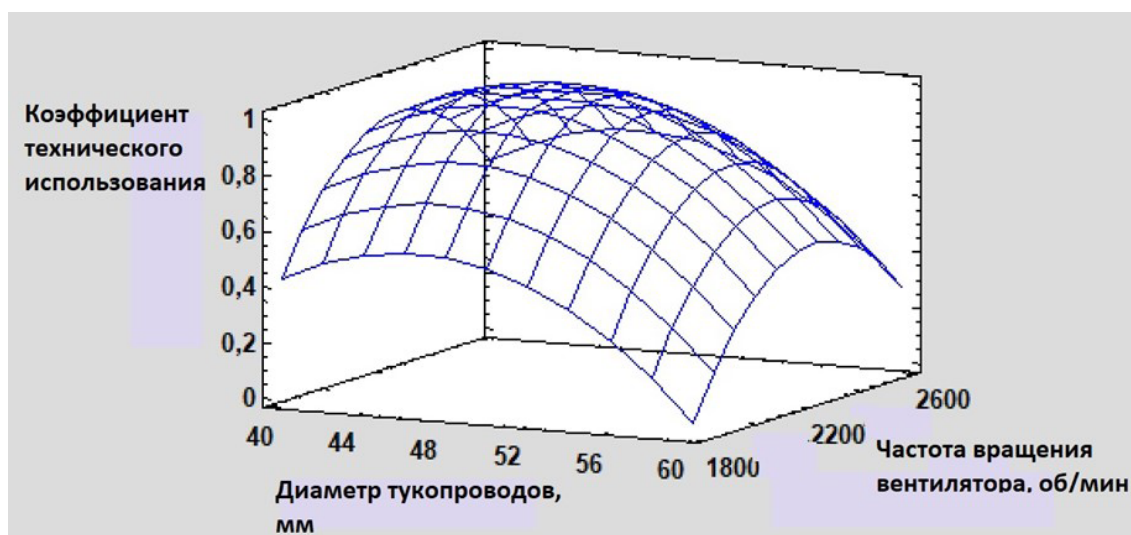


Рисунок 2. Значение коэффициента технического использования пневмосистемы раздачи удобрений в зависимости от диаметра тукопроводов и частоты вращения вентилятора

Как видно из графика, указанная зависимость имеет отчётливо выраженный оптимум: безотказная работа пневмосистемы за выбранный временной интервал наблюдается при диаметре тукопроводов 50 мм и частоте вращения вентилятора 2200 об/мин.

Это можно объяснить следующим образом. При уменьшении диаметра тукопроводов в них увеличивается скорость воздуха вместе с транспортируемым продуктом. При  $D = 60$  мм завалы удобрений в тукопроводах происходят вследствие недостаточной скорости воздуха. Что касается уменьшения диаметра до 40 мм, то можно предположить, что на транспортировку удобрений в этом случае начинают влиять эффекты пограничного трения воздуха о стенки (Красников, В.В. 1973). При этом на поворотных участках возникает сильная турбулизация и срыв потока с потерей скорости – именно здесь чаще всего наблюдались завалы удобрений.

При частоте вращения ротора вентилятора 1800 об/мин наблюдались частые завалы удобрений при любых диаметрах тукопроводов. Увеличение частоты вращения вентилятора ожидаемо вызывает рост скорости воздуха в пневмосистеме и стабилизирует её работу. Однако при дальнейшем повышении частоты вращения нестабильность возросла. Завалы удобрений возникали,

в частности, при частичном перекрывании выходных отверстий тукопроводов, чего не наблюдалось при частоте 2200 об/мин. Этим перекрыванием имитировалась работа пневмосистемы в реальных условиях, когда выходное отверстие время от времени перекрывается комьями земли от работы рыхлителей. Этот рост нестабильности можно объяснить следующим образом. Обороты ротора вентилятора повышаются за счёт мультипликации вращения приводного гидромотора при его постоянной мощности. При этом крутящий момент на валу ротора уменьшается. При некотором критическом его значении на работу ротора оказывают влияния случайные скачки давления в пневмосистеме, связанные в том числе с имитацией реальных условий работы. Лопастей ротора не могут преодолеть сопротивление воздуха, вращение затормаживается, и в работе пневмосистемы возникают спорадические сбои.

Как показывает опыт полевых испытаний, при длительной непрерывной работе (свыше 2 ч) коэффициент технического использования агрегата снижается на 5...8%. Это связано с завалами удобрений в тукопроводах в связи с неравномерностью вращения вентилятора из-за нагрева и снижения плотности масла, подаваемого в приводной гидромотор.

### ВЫВОДЫ

Обосновано, что оптимальными параметрами пневмосистемы агрегата для внесения минеральных удобрений в садах производительностью 500 кг/ч являются:

- внутренний диаметр тукопроводов - 50 мм;
- частота вращения нагнетательного вентилятора – 2200 об/мин

Для устойчивости длительной работы агрегата в полевых условиях необходимо введение в конструкцию агрегата охлаждающего радиатора тепловой мощностью около 5 кВт на сливой магистрали гидромотора вентилятора.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГУСАРОВ, В.В. и др. (2020). Машины и оборудование в растениеводстве: Машины для внесения минеральных удобрений. Методические указания. Горки: БГСХА. 28 с.
2. КЛОЧКОВ, А.В., НОВИЦКИЙ, П.М. (2016). Устройство сельскохозяйственных машин. Минск: РИПО. 431 с. ISBN 978-985-503-556-6.
3. КРАСНИКОВ, В.В. (1973). Подъёмно-транспортные машины в сельском хозяйстве. Москва: Колос. 464 с.
4. ШАТИЛОВ, К.В. и др. (1981). Кукурузоуборочные машины. Москва: Машиностроение. 286 с.
5. ХМЕЛЕВ, П.П., ТЯРИН, Г.Г. (1986). Механизация работ в садоводстве. Кишинёв: Картя молдовеняскэ. 226 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**РАЙКОВ Виктор Леонидович**  <https://orcid.org/0000-0002-4386-5480>

доктор технических наук, научный сотрудник, Институт сельскохозяйственной техники „МЕСАГРО”, г. Кишинёв, Республика Молдова

E-mail: [vraicov@rambler.ru](mailto:vraicov@rambler.ru)

Data prezentării articolului: 12.09.2022

Data acceptării articolului: 07.11.2022