

ДИСКО-ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ТРАКТОРНЫЕ ОПРЫСКИВАТЕЛИ ДЛЯ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ОТКРЫТОГО ГРУНТА: АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ И КОНСТРУКЦИЙ

В. И. КЛИМЕНКО, МЭН ФАНЬЧЖАО, И. И. ГАВРИЛОВ, Д. М. УЛИНОВИЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 13.04.2026)

Эффективное овощеводство открытого грунта неразрывно связано с качественной защитой растений от вредителей и болезней, что требует применения высокопроизводительных опрыскивающих агрегатов. В условиях необходимости снижения пестицидной нагрузки и повышения экологичности особое значение приобретают диско-вентиляторные (вентиляторные) опрыскиватели, способные обеспечить глубокое проникновение рабочей жидкости в густой стеблестой овощных культур. В отличие от классических штанговых конструкций, вентиляторные системы создают мощный воздушный поток, который формирует мелкодисперсный факел распыла, гарантируя равномерное покрытие даже при обработке культур сложной формы. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью анализа существующих конструктивных схем вентиляторных опрыскивателей, оценки влияния параметров их работы на качество внесения пестицидов и обоснования наиболее эффективных решений для открытого грунта.

В данной статье представлен анализ конструктивных особенностей и способов применения известных диско-вентиляторных тракторных опрыскивателей, предназначенных для защиты вегетирующих овощных культур открытого грунта (капуста, томат, перец, огурец). Рассмотрены основные способы обработки: сплошная, направленная полосовая и двухсторонняя, с оценкой их эффективности в зависимости от стадии развития растений и влияния бокового ветра. Особое внимание уделено классификации существующих устройств на основные конструктивные группы. Обоснована целесообразность создания. Сделан вывод о том, что для овощеводства открытого грунта приоритетным направлением является разработка надежных, легко настраиваемых диско-вентиляторных систем распыления.

Ключевые слова: диско-вентиляторный опрыскиватель; овощные культуры открытого грунта; направленная обработка; защита растений.

Efficient open-field vegetable growing is inextricably linked to high-quality plant protection from pests and diseases, which requires the use of high-performance spraying units. Given the need to reduce pesticide loads and improve environmental friendliness, disc-fan (fan) sprayers, capable of ensuring deep penetration of the spray fluid into the dense canopy of vegetable crops, are particularly important. Unlike traditional boom designs, fan systems generate a powerful airflow that forms a fine spray pattern, ensuring uniform coverage even when treating complex crops. The relevance of this work stems from the need to analyze existing fan sprayer designs, assess the impact of their operating parameters on pesticide application quality, and substantiate the most effective solutions for open-field applications.

This article presents an analysis of the design features and application methods of existing disc-fan tractor sprayers designed to protect vegetative open-field vegetable crops (cabbage, tomato, pepper, and cucumber). The main application methods are discussed: continuous, directed strip, and double-sided, with their effectiveness assessed depending on the plant development stage and the influence of crosswinds. Particular attention is paid to the classification of existing devices into basic design groups. The feasibility of their development is substantiated. It is concluded that the development of reliable, easily adjustable disc-fan spraying systems is a priority for open-field vegetable production.

Key words: disc fan sprayer; open-field vegetable crops; targeted treatment; plant protection.

Введение

В условиях открытого грунта при возделывании овощных культур требования к качеству опрыскивания особенно жесткие. Рабочая жидкость должна попадать не только на верхний ярус листьев, но и в нижнюю часть вегетирующего растения, при этом потери на снос и стекание должны оставаться минимальными. Для капусты, томата, перца, огурца, лука и других культур задача усложняется тем, что в течение сезона быстро меняются высота растений, плотность листового аппарата и ширина междурядий. По этой причине для полевых условий наибольший практический интерес представляют диско-вентиляторные тракторные опрыскиватели, в которых формирование капель и их транспорт к цели управляются одновременно [1, 2]. Настоящий вариант статьи ориентирован на анализ известных способов и устройств именно для обработки вегетирующих овощных культур открытого грунта с использованием диско-вентиляторного тракторного опрыскивателя (рисунок).



Рис. Схематическая диаграмма механизма технологии нанесения пестицидов на поверхности листьев и стеблей воздушно-капельными потоками

Известные способы обработки и их практические особенности. Наиболее простым и распространенным способом остается сплошная обработка рядов или полосы посева при проходе трактора по технологической колее. В этом случае дисковый распылитель формирует мелкодисперсный факел, а вентилятор направляет его в сторону растений и частично в глубину листового полога. Такой способ удобен на ранних стадиях вегетации, когда растения расположены относительно равномерно и не образуют слишком плотной преграды для потока. Его достоинство состоит в высокой производитель-

ности и сравнительно простой настройке машины. Недостаток проявляется тогда, когда высота растений еще невелика, а междурядья остаются открытыми. Часть препарата осаждается на почве, возрастает снос, а на краевых рядах нередко снижается равномерность покрытия [3, 4].

Для более развитых овощных культур широко применяется направленная полосовая обработка. При ней воздухопроводы, дефлекторы или защитные экраны ориентируют поток не на всю площадь поля, а на конкретный ряд и рабочую зону листового полога. В сравнении со сплошной обработкой этот способ позволяет лучше удерживать рабочую жидкость в целевой зоне и уменьшить загрязнение междурядий. Особенно заметно его преимущество при обработке томата, перца, капусты и огурца, когда требуется воздействовать на боковую и нижнюю поверхность листьев. Вместе с тем полосовая схема требует более точной настройки под ширину междурядий, высоту растений и положение распылителя относительно ряда. Как показано в работе О. В. Гордеенко, при уходе за овощными культурами на гребнях эффективность обработки в значительной степени определяется согласованием параметров распылителя с геометрией посева и характером размещения листового аппарата [4, 8, 11]. При неравномерном развитии посадок или отклонении факела от целевой зоны эффект такой обработки быстро снижается.

Цель статьи – систематизировать способы обработки, выявить преимущества дисковых распылителей с воздушным сопровождением и определить направления совершенствования их конструкций для обеспечения точного земледелия.

Основная часть

В известной практике используются и двухсторонние способы обработки, когда к одному ряду подается два встречных или согласованно направленных воздушно-капельных потока. Такая схема улучшает проникновение капель в центральную часть куста и повышает вероятность осаднения на нижней стороне листа. Ее преимуществом является более полное покрытие в фазу активной вегетации. Недостатки связаны с усложнением конструкции, увеличением массы навесного оборудования и ростом требований к устойчивости потока. При избыточной скорости воздуха возможно механическое травмирование растений и усиление сноса по краям полосы [8, 9].

Отдельное направление составляют локальные и переменные дозированные способы обработки. В этом случае секции опрыскивателя включаются только над занятым растениями участком, а подача рабочей жидкости корректируется с учетом плотности листового полога и технологических разрывов. Преимущество такого подхода состоит в экономии препарата и снижении экологической нагрузки. Его слабым местом пока остается зависимость от надежности датчиков, быстродействия исполнительных органов и устойчивости электроники при наличии пыли, влаги и вибрации [5, 6].

Сравнение характеристик различных технических решений для распыления с помощью воздушного потока

Тип технологии	Типичный источник питания/платформа	Основные преимущества	Основные ограничения	Применимые культуры/сценарии
Распыление воздушным потоком с приводом от трактора	Вентилятор с приводом от вала отбора мощности	высокий воздушный поток и сильная проникающая способность	низкая мобильность, зависимость от скорости ветра	Томаты, огурцы, перцы
Самоходная интеллектуальная платформа для опрыскивания	электрический привод/гидравлический	Высокая степень автоматизации	высокая стоимость и сложное техническое обслуживание	высокоценные товарные культуры

Сопоставление известных решений показывает, что для вегетирующих овощных культур открытого грунта наиболее перспективной выглядит тракторная диско-вентиляторная схема с регулируемыми направляющими устройствами. Она лучше других сочетает производительность, проникающую способность и возможность адаптации к различной структуре полога.

Известные конструкции диско-вентиляторных тракторных опрыскивателей. Типичный диско-вентиляторный тракторный опрыскиватель включает бак, систему дозированной подачи рабочей жидкости, привод от вала отбора мощности, вентилятор, дисковый распылитель и набор воздухопроводов или дефлекторов. Диск обеспечивает формирование мелких капель, а вентилятор задает направление их переноса. Для овощных культур открытого грунта решающую роль играет не столько сам факт наличия вентилятора, сколько возможность изменять расход воздуха, угол подачи и положение выходного окна относительно ряда [3, 8].

В известных устройствах можно выделить три конструктивные группы. Первая группа использует центральный вентилятор и один или два распыляющих узла, расположенных в задней части трактора. Такое исполнение технологически просто и удобно в обслуживании, однако при изменении ширины междурядий его адаптивность ограничена. Вторая группа строится по модульному принципу, когда на раме размещаются боковые секции с отдельными воздухопроводами и регулируемыми насадками. Такой подход близок к решениям, применяемым при совершенствовании оборудования для ленточного внесения препаратов на посевах овощных культур на гребнях, где повышение эффективности достигается за счет более точной локализации рабочей жидкости в пределах целевой полосы [12]. Эти устройства лучше приспособляются к разным схемам посадки и обеспечивают более направленную обработку, однако становятся тяжелее, сложнее по конструкции и предъявляют более высокие требования к настройке рабочих органов. Третья группа включает экранированные или частично туннельные узлы, которые снижают потери на снос и улучшают локализацию факела. Необходимость таких решений особенно возрастает в условиях открытого грунта, где прямое воздействие бокового ветра нарушает структуру факела, ухудшает равномерность осаднения и увеличивает не-

продуктивные потери рабочей жидкости. Как показывают исследования способов и технических средств защиты факела распыла в конструкциях полевых опрыскивателей, применение экранов, направляющих и защитных элементов позволяет заметно уменьшить влияние внешнего воздушного воздействия на зону обработки [13]. Их преимущество особенно заметно в ветреных условиях, но работа на неровном поле и обслуживание таких систем требуют большей аккуратности.

Для поздних фаз вегетации наиболее полезны устройства, в которых положение воздухопроводов можно изменять по высоте и углу, а расход воздуха не жестко связан со скоростью движения трактора. Если регулирование отсутствует, одно и то же устройство работает удовлетворительно только в узком диапазоне условий. Именно поэтому достоинства конкретной машины следует оценивать не по паспортной производительности, а по способности стабильно удерживать капли в зоне листового полога при разных стадиях роста культуры. С практической точки зрения преимуществом известных диско-вентиляторных устройств является хорошее проникновение в ряд и возможность снижения нормы расхода препарата. Их недостатками чаще всего становятся сложность настройки, неравномерность покрытия при боковом ветре и повышенные требования к чистоте рабочих органов [7, 10].

Согласование режима обработки. Для обработки овощных культур открытого грунта принципиально важно согласование дисперсности капель и скорости воздушного потока. Слишком мелкие капли легко уносятся за пределы ряда, особенно при разреженном пологе и боковом ветре. Слишком крупные капли хуже распределяются по внутренним листьям и чаще стекают с поверхности растения. Поэтому для практики мелкодисперсной обработки более оправдан средний диапазон размеров капель при умеренной скорости воздуха и возможности точной направляющей регулировки. При высокодисперсном распылении рабочей жидкости необходима более высокая скорость воздушного потока для предотвращения сноса капель и улучшения качества покрытия поверхностей.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что при обработке вегетирующих овощных культур открытого грунта диско-вентиляторный тракторный опрыскиватель следует рассматривать прежде всего как направленную систему доставки капель в ряд, а не просто как источник мелкодисперсного или высокодисперсного факела. Наиболее рациональными выглядят полосовые и двухсторонние способы обработки, дополненные регулируемые простыми механизмами. Их главные преимущества состоят в повышении полноты покрытия растений и в возможности снизить непродуктивные потери препарата. Главные недостатки связаны с чувствительностью к ветровым условиям.

Дальнейшее совершенствование таких машин целесообразно связывать с модульной компоновкой секций. Именно это направление позволяет совместить требования к качеству обработки, экономии препарата и технологической простоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван, С. Состояние развития и перспективы техники и методов защиты овощных культур / С. Ван, Т. Сюй, С. Ли // Horticulturae. – 2022. – Том 8, № 2. – С. 166. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020166>.
2. Пише, М. Полевая оценка пневматического опрыскивания брокколи и картофеля / М. Пише, Б. Паннетон, Р. Терио // Труды ASAE. – 2000. – Том 43, № 4. – С. 793–799. <https://doi.org/10.13031/2013.2973>.
3. Сальседо, Р. Влияние шага лопастей и ширины воздуховыпускного отверстия на воздушный поток, создаваемый опрыскивателем с воздушным потоком и беспроводным дистанционным управлением осевым вентилятором / Р. Сальседо, А. Фонте, М. Грелла, К. Гарсера, П. Чуэка // Компьютеры и электроника в сельском хозяйстве. – 2021. – Т. 190. – С. 106428. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106428>.
4. Прогресс исследований в области интеллектуальной технологии распыления с переменной нормой расхода для точного земледелия / Ю. Цзяо, С. Чжан, Ю. Цзинь [и др.] // Агрономия. – 2025. – Том 15, № 6. – С. 1431. <https://doi.org/10.3390/agronomy15061431>.
5. Wang Y. Обзор технологий восприятия полога сада для опрыскивания с переменной интенсивностью / Y. Wang, W. Jia, M. Ou, X. Wang, X. Dong // Sensors. – 2025. – Vol. 25, no. 16. – P. 4898. <https://doi.org/10.3390/s25164898>.
6. Разработка и тестирование системы управления переменным распылением на основе RealSense для полевой капусты / Ю. Ло, В. Ли, П. Цзян [и др.] // Передовые достижения в науке о растениях. – 2025. – Том 16. – С. 1618159. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1618159>.
7. Методы измерения размера капель для сельскохозяйственных опрыскивателей: обзор современного состояния / С. Привitera, Г. Манетто, С. Паскуцци [и др.] // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, no. 3. – P. 678. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030678>.
8. Tian, S. Моделирование и эксперимент по параметрам устройства для направления воздушного потока для центрального опрыскивателя с воздушной поддержкой / S. Tian, H. Guo, J. Li, Y. Li, Z. Zhang, P. Wang // Agriculture. – 2025. – Vol. 15, no. 18. – P. 1969. <https://doi.org/10.3390/agriculture15181969>.
9. Осаждение пестицидов на яблоневых саженцах в питомнике под воздействием пневматического штангового опрыскивателя, установленного на портальном тракторе / Р. Головинский, Г. Доруховский, В. Свеховский [и др.] // Агрономия. – 2026. – Том 16, № 1. – С. 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy16010008>.
10. Проектирование, разработка и оценка тракторного опрыскивателя с воздушным обдувом для кокосовых и арековых орехов / Р. Пандисельвам, А. К. Маттью, С. Имран [и др.] // Science Progress. – 2023. – Vol. 106, № 3. – P. 00368504231199927. <https://doi.org/10.1177/00368504231199927>.
11. Гордеенко О. В. Обоснование параметров распылителя при совмещении операции по уходу за посевами овощных культур на гребнях / О. В. Гордеенко // Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2002. – С. 36–38.
12. Гордеенко, О. В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О. В. Гордеенко; Бел. гос. с.-х. акад. – Горки, 2004. – 20 с.
13. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей [Электронный ресурс] / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – 2015. – URL: <https://rep.bsau.by/handle/doc/2208>.