

Научная статья
УДК 625.768

Расчет параметров поливмоечного оборудования коммунальной дорожной и аэродромной техники

Александра Михайловна Погонина

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

shur-shu@mail.ru

Аннотация. В статье приводится исследование по определению основных параметров эффективности работы поливмоечного оборудования коммунальной дорожной и аэродромной техники. Тема является актуальной, поскольку очистка покрытия от различных типов загрязнений является вопросом обеспечения необходимого для безопасности коэффициента сцепления. Исследование направлено на выявление оптимальных параметров установки форсунки для эффективной очистки дорожного покрытия. Автором приводятся критерии эффективности, а также вводится понятие оценки загрязненности поверхности твердых покрытий. В работе приведены графические результаты экспериментальных данных. Выведены формулы для расчета остаточного загрязнения, интенсивности загрязнений, коэффициента очистки, которые позволяют подходить к оценке работы оборудования с точки зрения минимизации затрат воды и увеличению качества очистки, а также производительности работ. Исходя из определенных экспериментальным путем параметров установки форсунок разработаны рекомендации по установке поливмоечного оборудования, исходя из типа загрязнений. В заключении приведена инфографика с рекомендуемыми параметрами установки рабочего оборудования.

Ключевые слова: расчет форсунки, поливмоечное оборудование, интенсивность загрязнений, расчетное давление, коэффициент очистки.

Для цитирования: Погонина А.М. Расчет параметров поливмоечного оборудования коммунальной дорожной и аэродромной техники // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 4 (46).

Original article

Calculation of the parameters of irrigation and washing equipment for municipal road and airfield equipment

Alexandra M. Pogonina

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

shur-shu@mail.ru

Abstract. The article presents a study on determining the main parameters of the efficiency of watering and washing equipment for municipal road and airfield equipment. This topic is relevant because cleaning the surface from various types of contamination is essential for ensuring the necessary coefficient of friction for safety. The study aims to identify the optimal nozzle settings for effective cleaning of the road surface. The author provides criteria for evaluating efficiency and introduces the concept of assessing the contamination level of solid surfaces. The article presents graphical results of the experimental data. Formulas have been derived for calculating residual contamination, contamination intensity, and cleaning coefficient, which allow for assessing the performance of equipment in terms of minimizing water consumption and improving cleaning quality and productivity. Based on the experimentally determined nozzle installation parameters, recommendations have been developed for installing washing equipment based on the type of contamination. Finally, an infographic has been created with the recommended installation parameters for the equipment.

Keywords: nozzle calculation, washing equipment, pollution intensity, calculated pressure, cleaning coefficient.

For citation: Pogonina A.M. Calculation of the parameters of irrigation and washing equipment for municipal road and airfield equipment. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2025. № 4 (46).

Актуальность темы. Очистка дорожного покрытия играет важную роль в обеспечении безопасности дорожного движения, продлении срока службы асфальтобетонного покрытия и снижении уровня загрязнения окружающей среды. К наиболее распространённым загрязнениям относятся пыль, песок, масла, топливные остатки и другие твёрдые и жидкие частицы [1].

Поливомоечные машины используются для удаления этих загрязнений путём подачи воды под давлением через систему форсунок. Эффективность очистки зависит от множества параметров, включая: угол наклона форсунок, высоту их расположения над дорожной поверхностью, угол атаки, давление воды, форму и интенсивность водяной струи.

Очистка дорожного покрытия водой связана с основами гидродинамики и механики жидкостей. При подаче воды через форсунку формируется струя, параметры которой определяются следующими физическими законами: закон сохранения импульса, когда сила удара струи о поверхность зависит от массы

воды и её скорости. Чем выше скорость струи, тем больше энергии она передаёт загрязнениям, способствуя их удалению. С другой стороны, эффективность очистки зависит от давления воды на выходе из форсунки. При недостаточном давлении струя не будет обладать достаточной кинетической энергией для удаления стойких загрязнений [2, 3].

Оптимизация параметров работы поливомоечной машины позволяет повысить качество очистки, снизить расход воды и минимизировать эксплуатационные затраты. Для разработки методики расчета поливомоечного оборудования дорожной и аэродромной коммунальной техники вводятся показатели эффективности работы [4, 5, 6].

Основные показатели эффективности

Коэффициент очистки – количественный показатель, характеризующий долю очищенной поверхности по отношению к всей поверхности.

Коэффициент очистки (К)

$$K = \frac{S_0}{S}, \quad (1)$$

где S_0 – фактически очищенная площадь m^2 ; S – общая площадь обработки m^2 , на которую была направлена струя воды.

Коэффициент очистки используется для оценки эффективности работы поливомоечного оборудования, в частности – насколько хорошо струя воды под высоким давлением очищает дорожное покрытие в заданных условиях. Данный показатель позволяет сравнить разные конструкции, модели и конфигурации, чтобы выбрать наиболее эффективную схему, а также объективно оценить качество работы поливомоечной машины.

Оценка остаточного загрязнения

Показатель предназначен для оценки остаточных загрязнений на поверхности дорожного покрытия после мойки. Определяется как отношение массы или площади удалённых загрязнений к их исходному количеству:

$$D = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где A_0 – начальная масса загрязнений на исследуемой поверхности, m^2 ; A – остаточная масса загрязнений после очистки, m^2 .

Данная оценка представляет собой расчётное значение минимального давления на выходе из форсунки, которое необходимо обеспечить, чтобы струя воды при заданных условиях (высота, угол, количество форсунок, площадь пятна контакта и масса воды) эффективно очистила определённую площадь твердого покрытия от загрязнений.

Эффективность очистки по площади

Площадь очищенной поверхности определяется визуальным методом с помощью специальных САПР-программ. Для оценки состояния покрытия вводятся следующие критерии визуальной оценки (табл. 1):

Таблица 1

Оценка состояния покрытия на чистоту

Цвет разметки	Степень загрязнения	Характеристика покрытия
Белый	0-15%	Поверхность чистая, отсутствует или незначительное количество пыли, грязи и т. д
Светло-серый	16-30%	Незначительное количество пыли или мелких частиц
Серый	31-45%	Пыль, характерный слой грязи, возможное наличие отдельных пятен или неравномерного загрязнения
Темно-серый	46-60%	Явственно заметный слой пыли, грязи, песка. Покрытие выглядит тусклым и грязным
Коричневый	61-75%	Толстый слой грязи, мусора, песка. Поверхность плохо различима

Интенсивность очистки

Показатель отражает скорость удаления загрязнений с единицы площади в секунду и рассчитывается по приведенной ниже формуле:

$$I = \frac{S}{t}, m^2/c \quad (3)$$

где S – очищенная площадь, m^2 ; t – время очистки, с.

Критерий позволяет оценить производительность поливомоечного оборудования в целом.

Оценка показателя расчётного давления

Показатель представляет собой расчётное значение минимального давления на выходе из форсунки, которое необходимо обеспечить, чтобы струя воды при заданных условиях (высота, угол, количество форсунок, ширина пятна контакта и масса воды) эффективно очистила определённую площадь дорожного покрытия от загрязнений.

Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{m \cdot g}{2 \cdot h \cdot t g \frac{\alpha}{2} \cdot a \cdot n}, \text{ Па} \quad (4)$$

где V – объём израсходованной воды л; α – угол факела струи, град.; h – высота, м; a – ширина пятна контакта, м; n – число форсунок, шт.

Критерий позволяет разработать: рекомендации по эксплуатации поливомоечного комплекса с учетом недопущения перерасхода воды, корректно рассчитать количество форсунок на рейке, задать оптимальную высоту установки штанги, подобрать угол распыла форсунок и ширину факела, рассчитать геометрию и размещение штанги с учётом перекрытия факелов, рассчитать необходимое давление на форсунках, рассчитать расход воды.

Показатель расчётного давления – это один из ключевых параметров, связывающий геометрию оборудования, физику струи высокого давления, и эффективность очистки.

Методика проведения эксперимента включала в себя создание рабочего стенда, на котором моделировались различные степени загрязнения поверхности, а также параметры рабочего оборудования.

В ходе работы было проведено несколько серий экспериментов: первая включала в себя определение параметров, результаты испытаний по определению оценки остаточного загрязнения (рис. 1).

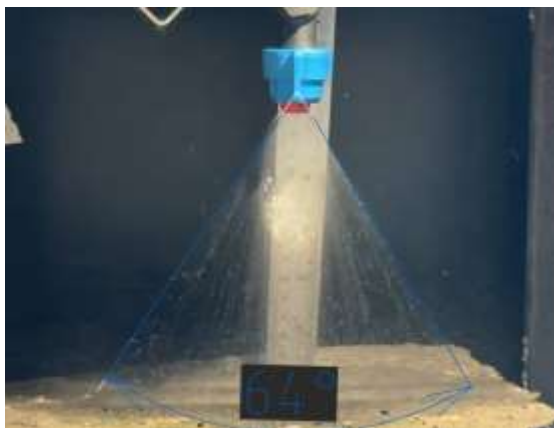


Рис. 1. Определение факела распыла при высоте 15 см

Во второй серии экспериментов был определен оптимальный угол атаки, измеряемые параметры при этом – расход воды и коэффициент очистки (рис. 2).

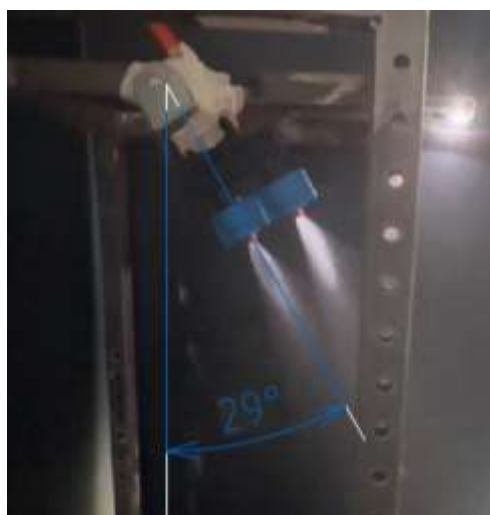


Рис. 2. Определение угла атаки

В третьей серии экспериментов был проведен анализ влияния угла наклона на площадь очищаемой поверхности. Критериями оценки являлись: коэффициент очистки, угол наклона форсунки.

Расчет показателей эффективности

В процессе эксплуатации поливомоечной техники ключевым фактором, определяющим её техническую и практическую состоятельность, является эффективность очистки дорожной поверхности.

Для количественной оценки качества выполняемой работы необходимо использовать ряд показателей, позволяющих выяснить степень удаления загрязнений, рациональности использования воды и производительности

процесса. Оценка эффективности очистки осуществляется с применением экспериментальных данных, полученных в ходе опытов с различными конфигурациями оборудования (угол наклона форсунок, высота установки, давление, скорость движения машины) и построенных на основании графиков.

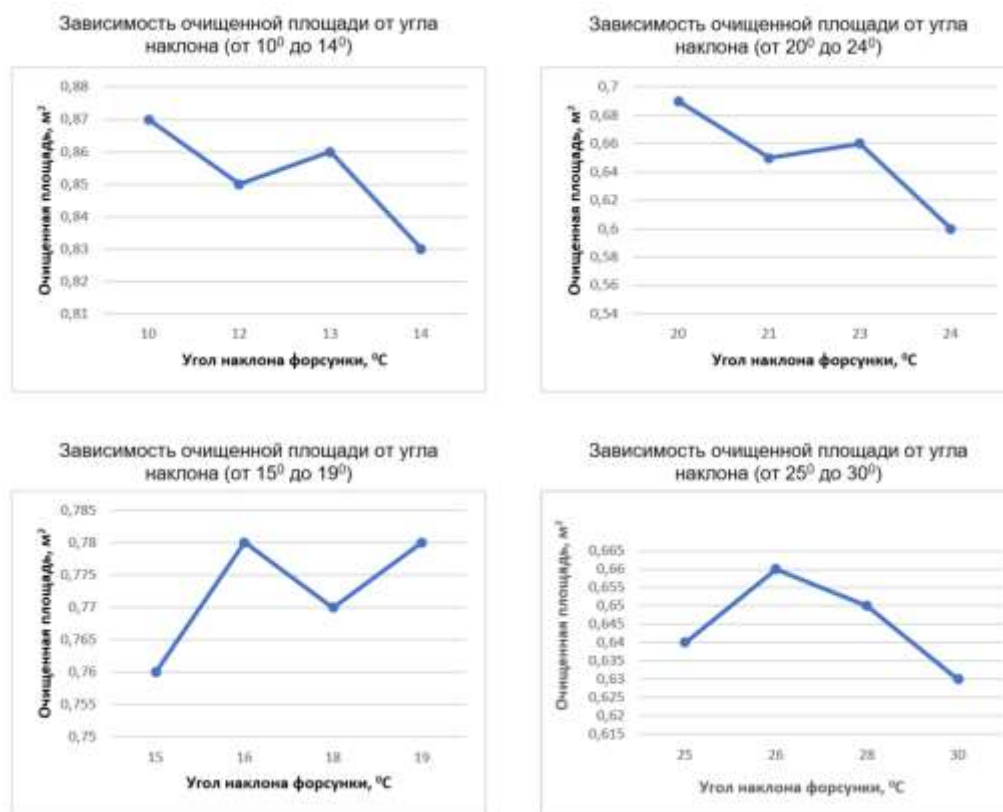


Рис. 3. Определение коэффициента очистки

Меньшие углы наклона форсунок (в пределах 10-15°) из расчётов и показаний графиков, обеспечивают более направленное воздействие струи и, как следствие, лучшее удаление загрязнений с дорожной поверхности (рис. 3).

Более острые углы (до 20°) дают лучшее распределение и проникновение воды в загрязнённые участки. При 30° струя теряет силу удара и «расплывается» – очищается меньшая площадь (рис. 4).

Интенсивность повышается при больших углах наклона, так как ширина зоны охвата увеличивается. Однако это не всегда означает качественную очистку, так как при высоких углах напор уменьшается, и загрязнения могут частично оставаться (рис. 5).

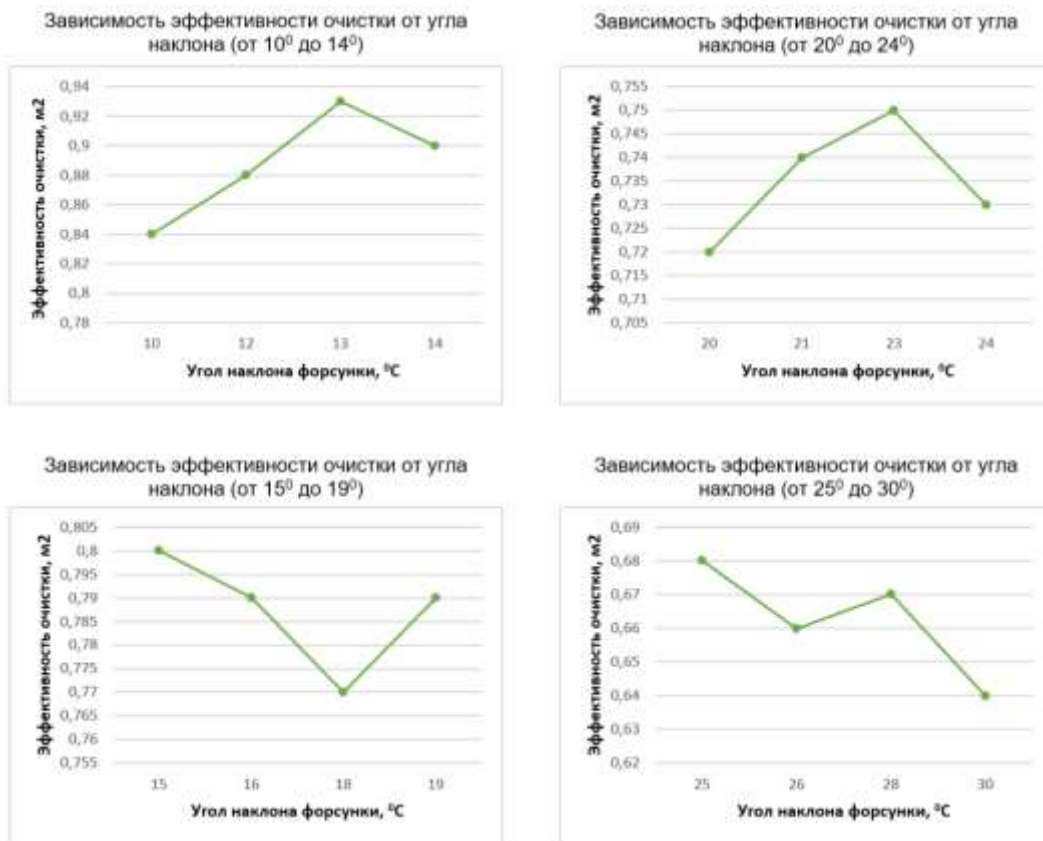


Рис. 4. Оценка остаточного загрязнения

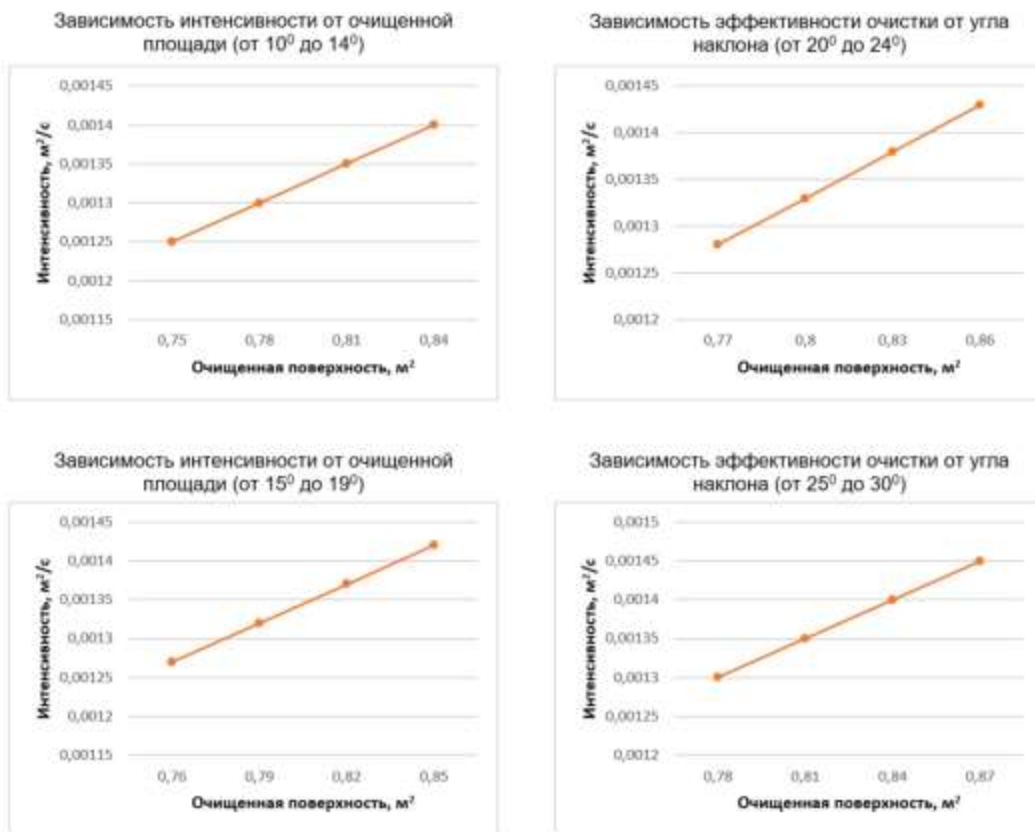


Рис. 5. Оценка интенсивности очистки

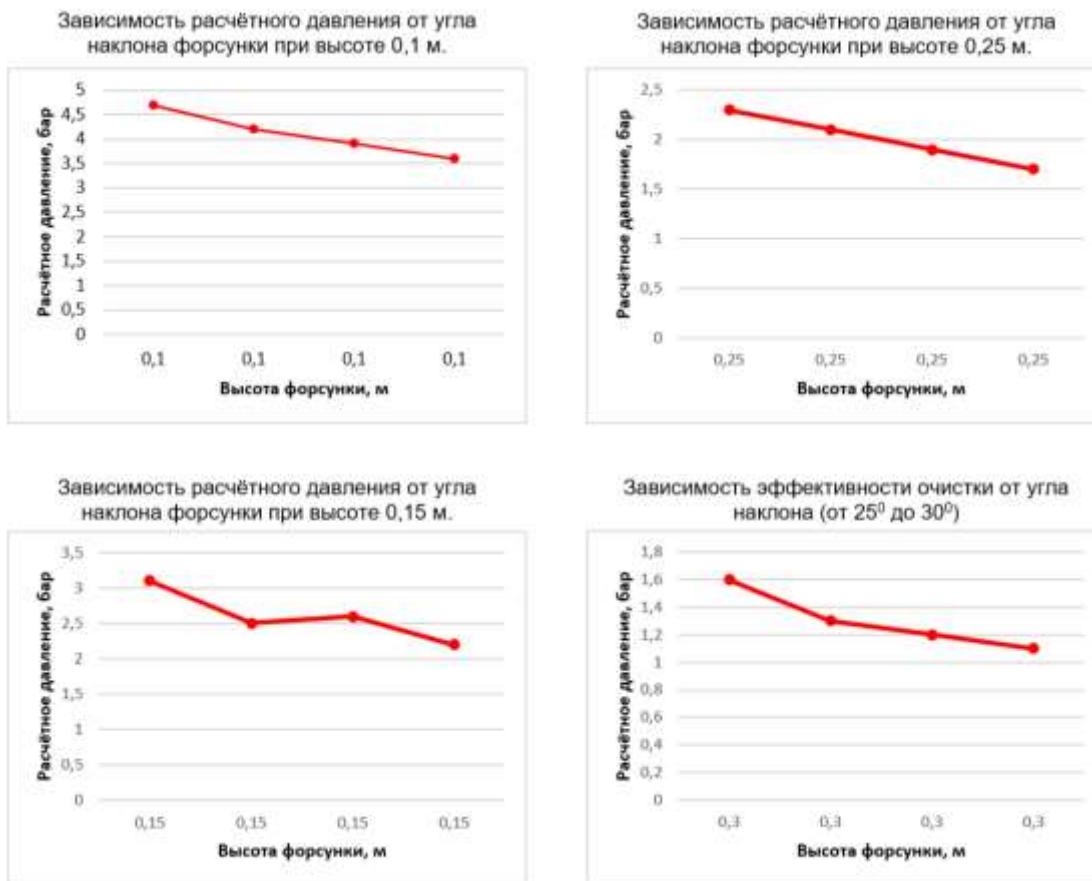


Рис. 6. Показатель давления

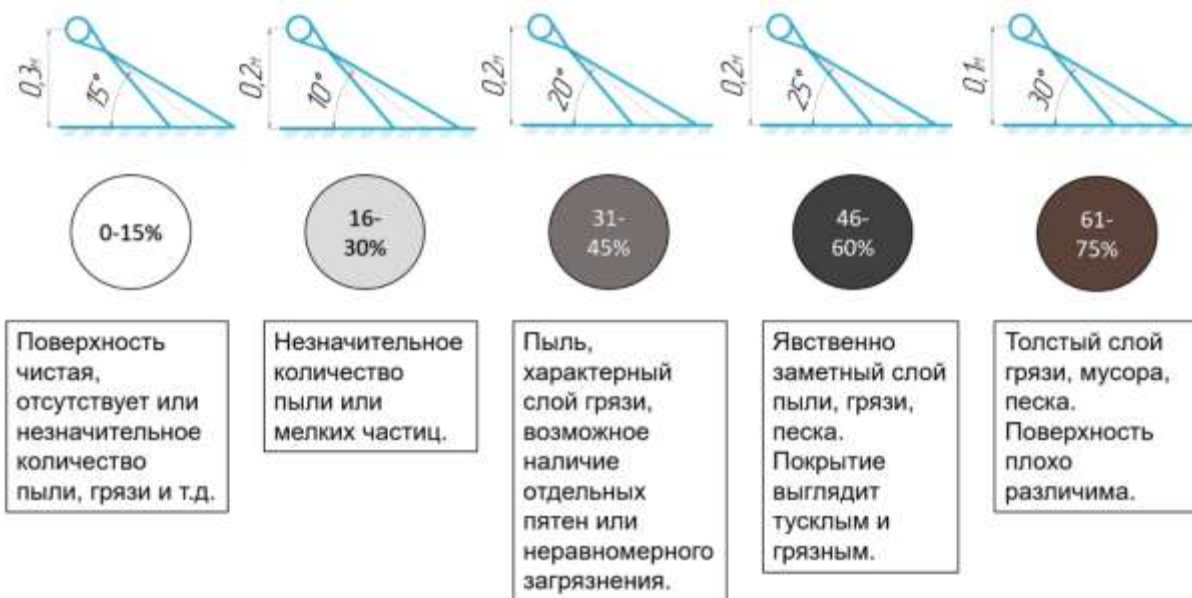


Рис. 7. Рекомендованные параметры

С увеличением высоты расположения форсунки относительно уровня поверхности давление уменьшается с 4,7 до 1,1 бар, но при этом уменьшается

эффективность очистки. Оптимальное давление будет достигаться при следующих параметрах: высота – 0,25 м и угол распыла форсунки – 55°.

В результате были сформированы рекомендации по установке параметров поливомоечного оборудования коммунальной техники.

Заключение

В ходе исследования была оценена и обоснована эффективность работы поливомоечной машины, определены рациональные параметры расположения и ориентации форсунок, а также обоснованы расчётные зависимости, необходимые для повышения качества очистки дорожных покрытий в условиях городской и аэропортовой инфраструктуры:

- оптимальный угол наклона форсунки для качественной очистки – в диапазоне 10-15°. При этом достигается высокое удаление загрязнений и большая фактическая площадь очистки равная 85-87%;

- при угле 20-30° увеличивается зона действий струи, однако снижается коэффициент очистки, возрастает доля непромытой поверхности, равная 37-40%;

- потери воды возрастают с увеличением угла распыла, в особенности при отсутствии коррекции давления;

Так же в ходе экспериментов было установлено, что оптимальный угол зависит напрямую от высоты установки форсунки и рабочего давления – в данном случае это 55°.

Рекомендованные параметры (рис. 7):

- Угол форсунки относительно дорожного покрытия: 15-18°.
- Высота установки форсунки: 0,25 м.
- Рабочее давление: 1,9-2 бар.
- Форсунки: плоскоструйные.

Список источников

1. Круглогодичное содержание автомобильных дорог, улиц и аэродромов / А. А. Кравченко, А. Л. Кашин, Д. В. Уткин [и др.] // Будущее технической науки : сборник материалов XIV Международной молодежной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 22 мая 2015 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2015. – С. 227-228. – EDN QHPWVI.
2. Регламент ГБУ «Автомобильные дороги», 2022.

3. Обоснование состава оборудования универсального уборочного комплекса на основе квалиметрической оценки / В. Ю. Анцев, П. В. Витчук, Н. А. Витчук [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 4. – С. 464-469. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-4-464-469. – EDN CFHMZG.

4. Полякова, В. В. Оптимизация системы управления и содержания улично-дорожной сети города в летний период / В. В. Полякова // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 21–22 марта 2019 года / Юго-Западный государственный университет, Московский политехнический университет. Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – С. 85-89. – EDN VYLKMI.

5. Производственное объединение Спецтехника. – Курган. – URL: <https://zavod45.com> (дата обращения: 02.03.2024).

6. Ципотан, М. В. Поливомоечные машины в городском хозяйстве / М. В. Ципотан, Н. К. Теловов // Доклады ТСХА, Москва, 03–05 декабря 2019 года. Том Выпуск 292, Часть II. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 72-75. – EDN GLEEKI.

References

1. Kravchenko A.A., Kashin A.L., Utkin D.V., Kazakov S.E., Vagin V.V., Shapkin V.A. *Budushcheye tekhnicheskoy nauki, sbornik materialov, Nizhnii Novgorod, Nizhegorodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. R.Ye. Alekseyeva*, 2015, pp. 227-228.

2. *Reglament GBU «Avtomobilnie dorogi»* (Regulations of the State Budgetary Institution "Motor Roads"), Moscow, 2022.

3. Antsev V.Yu., Vitchuk P.V., Vitchuk N.A., Nosov V.A., Sidorov A.A. *Izvestiya Tylskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, no.4, pp. 464-469, doi 10.24412/2071-6168-2023-4-464-469.

4. Polyakova V.V. *Molodezh' i nauka: shag k uspekhu*, Sbornik statei, Kursk, Zakrytoye aktsionernoye obshchestvo "Universitetskaya kniga", 2019, pp. 85-89.

5. *Proizvodstvennoye ob'yedineniye Spetstekhnika*, Kurgan, available at: <https://zavod45.com> (02.03.2024).

6. Cipotan M.V., Telovov N.K. *Dokladi TSKHA*, Sbornik dokladov, Moscow, Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet - MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2020, vol. 292, part 2, pp. 72-75.

Рецензент: А.В. Ушков, канд. техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторе

Погонина Александра Михайловна, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the author

Pogonina Alexandra M., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 02.11.2025; одобрена после рецензирования 16.12.2025; принята к публикации 26.12.2025.

The article was submitted 02.11.2025; approved after reviewing 16.12.2025; accepted for publication 26.12.2025.