

УДК 625.08

Габдуллин Т.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: talgat2204@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Земдиханов М.М. – кандидат технических наук

E-mail: mr.minsur@mail.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Разработка демаркировщика с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа

Аннотация

В данной статье авторы предлагают проект демаркировщика с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа. Проведен анализ существующих демаркировщиков известных производителей широко применяемых в дорожной отрасли РФ. Выявлены их преимущества и недостатки. На основе проведенного анализа предлагается совершенствование процесса демаркировки дорожной разметки, используя свойство кавитации воды в рабочем органе демаркировщика. Рассчитали сравнительную экономическую эффективность применения предлагаемой разработки. Сделаны рекомендации внедрения разработанного демаркировщика.

Ключевые слова: демаркировщик, кавитация, рабочий орган, дорожная разметка, производительность.

На сегодняшний день в России в основном применяются механические демаркировщики. Несмотря на их дешевизну и простоту эксплуатации механические демаркировщики имеют существенный недостаток. При проведении демаркировочных работ происходит заметное разрушение верхнего слоя асфальта (в среднем от 3 до 10 мм).

Применение гидродинамического демаркировщика решает в целом проблему с качеством выполняемых работ.

Обзор существующих демаркировщиков

В дорожно-строительной отрасли РФ используются в чаще всего два вида демаркировщиков – фреза и гидродинамические демаркировщики. Последние широко применяются также в европейских странах и Америке.

Фреза самый дешевый вид демаркировки. В основу работы машины положен принцип механического фрезерования верхнего слоя дорожного полотна с нанесенной на него разметкой. Преимущества данных демаркировщиков в простоте конструкции и дешевизне эксплуатации. К недостаткам можно отнести не полное соответствие точности среза разметки показателям заявленным заводом-изготовителем, сложность контроля толщины срезаемой поверхности и заметное повреждение верхнего слоя дорожного покрытия (рис. 1, а).

Гидродинамические демаркировщики на данный момент более перспективны. Принцип работы этих машин заключается в разрушении слоя разметки под высоким давлением воды. Преимущества данной технологии – отсутствия разрушений дорожного покрытия, пыли и отходов при снятии разметки, высокое качество выполняемых работ (рис. 1, б). Недостатки – сложность и дороговизна конструкции, необходимость создания высоких давлений воды в рабочем органе (1500...2000 МПа).

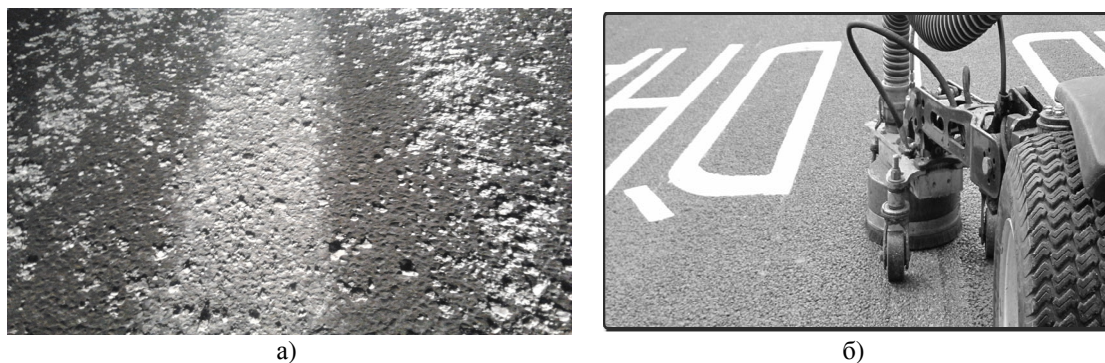


Рис. 1. Улица Большая Крыловка, г. Казань:
 а) увеличенный вид верхнего слоя дорожного покрытия после срезания разметки демаркировщиком фрезерного типа;
 б) Гидродинамический демаркировщик H2-GO. Вид дорожного покрытия после демаркировки

Существуют и другие перспективные технологии, такие как гидropескоструйные демаркировщики. Суть этой технологии заключается в том, что дорожное полотно очищается не только под действием гидродинамических сил, но и под действием сил взаимодействия песка с разметкой. Под высоким давлением смесь воды и песка подается по шлангам в сопло для разрушения разметки. Вследствие чего мельчайшие частицы песка с водой соударяясь о разметку, очищают дорожное полотно.

К недостаткам таких конструкций можно отнести сложность определения оптимальной пропорции песка и воды. Требуются также сложные и энергозатратные методы для возвращения воды и песка обратно в баки. Вследствие чего данная технология очистки дорожного полотна находится только в стадии разработки.

Исходя из выше изложенного наиболее перспективным направлением в создании демаркировщиков, на наш взгляд, являются гидродинамические демаркировщики с использованием явления кавитации воды в рабочем органе.

Кавитация – процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром самой жидкости, в которой возникает. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк схлопывается, создавая при этом ударную волну.

Доказано что кавитация увеличивает разрушительную способность струи порядка от 5 до 10 раз [2].

Преимущества данной технологии аналогичны гидropескоструйным демаркировщикам: уменьшение давления воды для снятия разметки до 200...250 МПа; повышение качества работы; удешевление самой конструкции.

До конца нерешенными задачами в гидродинамических демаркировщиках считались обеспечение устойчивой кавитации в потоке жидкости и большой расход применяемой воды.

Разработанное устройство эти задачи в целом решает положительно.

Данное устройство состоит из следующих основных частей (рис. 2).

Кавитационные сопла работают по принципу местного понижения давления в струе воды. Вследствие чего возникают каверны, при схлопывании каверн возникает ударная волна, которая усиливает процесс удаления материала разметки с асфальта (асфальтобетона). В конструкции проектируемого демаркировщика имеется специальная магнитная насадка, обеспечивающая оптимальную частоту вращения сопел.

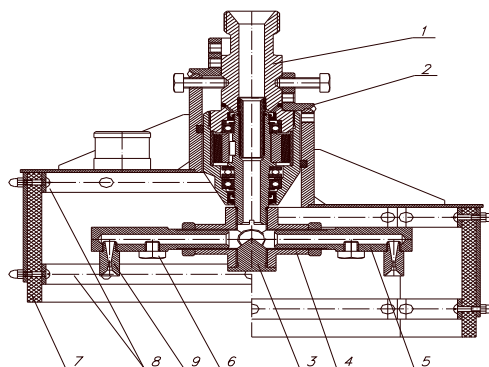


Рис. 2. Общее устройство для демаркировки дорожной разметки гидродинамическим методом с применением кавитации: 1 – магнитная насадка; 2 – камера; 3 – заглушка; 4 – головка; 5 – водовод; 6 – пробка; 7 – юбка; 8 – полоса; 9 – кавитатор

Работа демаркировщика с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа состоит из 4-х этапов:

1-ый этап.

Вода поступает в рабочий орган под давлением 250 МПа. Такое давление при кавитационном методе является достаточным для удаления разметки с дорожного покрытия.

Принцип работы магнитной насадки состоит в следующем. Магнитов четное количество (4 и более). В корпусе магнитной насадки имеется медное кольцо. При вращении вала рабочего органа магниты вращаются, создавая магнитное поле в медном кольце. Чем быстрее магниты вращаются, тем сильнее магнитное поле, которое тормозит вращение вала и не дает ему чрезмерно вращаться.

2-ой этап.

После вала вода поступает в головку, которая предназначена для распределения потока воды по водопроводу. Угол атаки кавитатора регулируется специальной контргайкой. Создаваемые выбросом жидкости из сопел реактивные силы вращают вал магнитной насадки. Оптимальный угол атаки 45 градусов. Ширина захвата кавитатора величина регулируемая, что позволяет регулировать ширину работы демаркировщика.

3-ий этап.

Вода, пройдя через водопровод, проходит в кавитатор, где, вследствие понижения местного давления в потоке жидкости, возникают каверны. Каверны, схлопываясь, создают ударную волну и усиливают силу потока воды для разрушения (удаления) дорожной разметки.

4-ый этап.

Кавитационный метод гидродинамической демаркировки не может быть осуществлен без частичной герметизации рабочего пространства кавитационных сопел. Для того что бы движение воды имело замкнутый цикл, на данном устройстве устанавливается «юбка» из износостойкого материала, которая, прижимаясь к асфальту внутри «кастрюли» создает частичную герметизацию. Вследствие чего вода, наполнив «кастрюлю», через отверстие на крышке возвращается в емкость для воды.

Подобная конструкционная компоновка позволяет:

1. Компенсировать отсутствие вакуумного насоса для откачки воды из «кастрюли»;
2. Уменьшает расход воды.

Одним из важных рабочих параметров гидродинамического демаркировщика является число оборотов кавитационных сопел. Для расчета данного числа определяются условия работы установки. Предполагается, что разрабатываемый рабочий орган установлен на машине ДКТ 225.

Средняя скорость истечения жидкости из сопла V (м/с) рассчитывается по формуле [2]:

$$V = Q/S, \quad (1)$$

где Q – расход жидкости; м³/с;

S – суммарная площадь сечения сопел, м².

$$S = n s, \quad (2)$$

где n – количество сопел;

s – площадь одного сопла.

Используя уравнение Бернулли [2], получаем:

$$H = (1 + \xi) \frac{\rho}{2} V^2, \quad (3)$$

где ρ – плотность воды; кг/м³;

H – давление жидкости перед соплом, Па;

ξ – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления сопла.

Коэффициент гидравлического сопротивления для круглых коротких сопел в соответствии с экспериментальными исследованиями ООО «Доркомтехника» $\xi=0,25$.

Это значение является постоянным, так как по числам Рейнольдса режим течения жидкости турбулентное [2].

Реактивная сила струи R_1 (Н), вытекающей из одного сопла рассчитывается по формуле [2]:

$$R_1 = \rho V^2 s. \quad (4)$$

Момент реактивной силы M_1 (Нм) находим по зависимости [2].

$$M_1 = R_1 \cos \beta L, \quad (5)$$

где β – угол наклона реактивной силы к плоскости вращения ротора;

L – плечо реактивной силы относительно оси вращения, м.

Общий момент силы $M_{\text{общ}}$ (Нм) определяется по формуле:

$$M_{\text{общ}} = M_1 n. \quad (6)$$

При проведении расчетов площадь сечения сопла был определен в самом узком месте:

$$s = 0,00000314 \text{ м}^2.$$

Используя вышеприведенные формулы, рассчитываются: суммарная площадь сечений сопел, средняя скорость истечения жидкости из сопел, реактивная сила струи, вытекающего из одного сопла, момент реактивной силы и общий момент силы.

Расход жидкости берется из технических характеристик машины ДКТ 225, где $Q = 0,0001667 \text{ м}^3/\text{с}$.

Используя график зависимости расхода жидкости от создаваемого момента и оборотов кавитатора были определены оптимальные обороты кавитатора равные $N = 65$ об/мин.

Вторым основным параметром (характеристикой) демаркировщика является скорость демаркировки дорожной разметки.

Скорость движения демаркировщика рассчитывается исходя из числа оборотов кавитационных сопел и длины разрушения разметки за один проход сопел.

Расчеты были проведены для работ по демаркировке наиболее распространенных горизонтальных линий разметок типа 1.1 (сплошная) и типа 1.5 (1 метр штрих, 3 метра пунктир), ширина линий 15 см (ГОСТ 51256-2011).

В ходе экспериментальных исследований, проведенных ООО «Доркомтехника» было выявлено, что за один проход сопел линии разметки типа 1.1 удаляются в среднем на отрезке ($L_{\text{ос}}$) до 50 мм. Количество сопел $n=4$.

Общая длина, демаркируемая за один оборот всех сопел $L_{\text{од}}$ (м) рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{од}} = L_{\text{ос}} n. \quad (7)$$

Следовательно, за один оборот всех сопел линии разметки типа 1.1 демаркируется на отрезке в 0,2 м.

Длина линии разметки типа 1.1 демаркируемой за одну минуту рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{од.за 1 мин}} = N L_{\text{од}}, \quad (8)$$

$$L_{\text{дем.за 1 мин}} = 65 \times 0,2 = 13 \text{ м}.$$

Следовательно, за один час работы демаркировщика линия разметки типа 1.1 демаркируется на отрезке дороги равным 780 м.

Учитывая, что в основном дорожные работы ведутся в ночное время и продолжительность рабочей смены составляет от 8 до 10 часов, за одну смену

демаркировщик с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа может удалить до 8000 м линии разметки типа 1.1 и до 21000 м линии разметки типа 1.5.

Экологичности применения предлагаемого демаркировщика.

Замкнутый цикл применения воды требует её непрерывную очистку в ходе работы. На рис. 3 показана схема очистки воды.

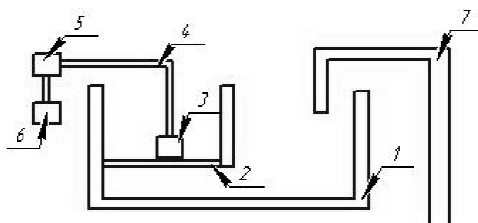


Рис. 3. Схема системы очистки воды:

- 1 – Емкость для воды; 2 – Фильтр сетчатого типа; 3 - Приемник воды; 4 – Шланг;
5 – Фильтр грубой очистки воды, 6 – Фильтр тонкой очистки;
7 – Линия возврата воды из рабочего органа

Предлагается 4-хступенчатая схема очистки воды. После первичного заполнения емкости водой (1) крупные фракции грязи отстаиваются на её дне естественным образом. В приемник (3) вода проходит через сетку (2, размер клеток 1x1 мм). Далее вода последовательно очищается фильтрами грубой (5) и тонкой очистки (6). Очищенная вода поступает в рабочий орган. По заполнению «кастрюли» использованная вода под давлением возвращается в цистерну для повторного применения. Грубые частицы, оставшиеся внизу цистерны необходимо после смены утилизировать.

Экономическое обоснование проекта

Расчеты показали, что эксплуатация, обслуживание и содержание предлагаемого демаркировщика выгоднее по всем показателям, а стоимость работ по демаркировке линий разметок типов 1.1 и 1.5 дешевле почти в два раза, чем у выбранного для сравнения аналога.

Следовательно, применение предлагаемого демаркировщика с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа позволяет существенно уменьшать эксплуатационные и другие расходы

Внедрение. Изготовлен опытный образец рабочего органа в ООО «Доркомтехника», который в настоящее время проходит натурные испытания. Предварительные отзывы положительные.

Список библиографических ссылок

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
2. Мягков В.Д. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х частях. – Л.: Машиностроение, 1983. – 486 с.
3. Самойлович Г.С. Гидродинамика. – М.: Машиностроение, 1980. – 290 с.
4. Зотов Б.И., Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве. – М.: КолосС, 2006. – 432 с.
5. Костюк В.Н. Очистка сточных вод машиностроительных предприятий. – Л.: Химия, 1990. – 337 с.
6. Сахапов Р.Л., Абсалямова С.Г. Инновационная пауза как шанс на технологическую модернизацию российской экономики. // Известия КГАСУ, 2012, № 3 (21). – С. 203-208.
7. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. – М.: Академия, 2009. – 208 с.
8. Долгополов Б.П., Доценко Г.Н., Зорин В.А. и др. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. – М.: Академия, 2010. – 576 с.

Gabdullin T.R. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: talgat2204@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Zemdikhanov M.M. – candidate of technical sciences

E-mail: mr.minsur@mail.ru

Kazan (Volga Region) Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaia st., 18

**Development of the machine to remove the markup
with hydrodynamic working body of cavitation type**

Resume

In this paper, we propose a project to remove the marking machine with hydrodynamic working body of cavitation type. The analysis of existing well-known manufacturers of machines are widely used in the road sector of the Russian Federation. Revealed their advantages and disadvantages. Based on the analysis proposed improving the process of removing road markings, using the property of water cavitation in the working body of the machine. Calculated the relative cost-effectiveness of the proposed development. Calculations showed that the operation, maintenance and content of the proposed demarkirovschika profitable on all counts, and the cost of work on the types of layouts marking lines 1.1 and 1.5 is almost twice cheaper than analogue selected for comparison. Recommendations for the implementation of the developed machine to remove the markings are made. Application of hydrodynamic marking machine solves the whole problem with the quality of work performed.

Introduction. The prototype of the working body in LTD «Dorkomtehnika», which is currently undergoing field tests. Preliminary reviews are positive.

Keywords: the machine to remove the marking, cavitation, working body, road markings, performance.

Reference list

1. Anuriev V.I. Reference Design-mechanic. In 3 Vols. Ed. I.N. Zhestkova. – M.: Mechanical Engineering, 2001. – 920 p.
2. Samoilovich G.S. Hydrodynamics. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 290 p.
3. Miagkov V.D. Limits and fits: Handbook. In 2 Vols. – L.: Engineering, 1983 – 486 p.
4. Zotov B.I., Kurdiunov V.I. Life safety in the workplace. – M.: KolosS, 2006 – 432 p.
5. Kostyuk V.N. Water purification machine-building enterprises. – L.: Chemistry, 1990. – 337 p.
6. Sahapov R.L., Absalyamova S.G. Innovative pause as a chance for the technological modernization of the Russian economy. // News of the KGASU 2012, № 3 (21). – P. 203-208.
7. Zorin V.A. The Bases of Efficiency of Technical Systems. – M.: Akademia, 2009. – 208 p.
8. Dolgopolov B.P., Dotsenko G.N., Zorin V.A. etc. The technology of mechanical engineering, manufacture and repair of lifting and transportation, construction and road machines. – M.: Akademia, 2010. – 576 p.