

Способы борьбы с мелкодисперсной пылью на строительной площадке при производстве каменно-монтажных работ

С.Е. Манжилевская, А.И. Кирюхин, А.В. Колесников

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье рассматривается способ подавления пылевыделения на строительной площадке. Результаты эффективности применения разработанного оборудования, пушки туманообразования, были получены в ходе проведения натурных измерений в ходе проведения каменно-монтажных работ на строительной площадке объекта в г. Ростове-на-Дону. Для оценки запыленности воздушной среды рабочего места строителя и степени воздействия пушки туманообразования исследовалась статистическая зависимость числа пылевых частиц $PM_{2,5}$ - PM_{10} от следующих факторов: месторасположение рабочего места на строительной площадке, относительной влажности и температуры. В ходе исследования соблюдались следующие условия: помещения были закрыты, исследование проводилось в процессе выполнения каменно-монтажных работ. Результаты эксперимента показали эффективность применения пушки туманообразования.

Ключевые слова: экологическая безопасность, мелкодисперсная пыль, оседание пыли, пылеподавление, экология в строительстве, пылеуловители, строительные работы, защита атмосферного воздуха, охрана труда в строительстве, пылевое загрязнение.

С развитием состояния охраны труда все большее внимание стало уделяться не только рискам, представляющим угрозы явной травмоопасности для работника, но и таким малозаметным и мало ощутимым явлениям как пыль и вибрация. Эти факторы малозаметны, но со временем, при накоплении их действия изо дня в день, у работника могут возникнуть серьезные проблемы со здоровьем, в этом и заключается опасность. В данной статье мы рассмотрим новый метод пылеподавления на строительном производстве и на строительной площадке.

Работа на строительных площадках, на строительном производстве несет в себе скрытую угрозу. Также пыль, выделяемая при строительных работах, представляет угрозу для жителей близко расположенных мест от строительства, на которых нет средств по удалению пыли. Особенно

представляют опасность частицы мелкодисперсной пыли размерами 0,5-10 мкм (PM_{0,5}-PM₁₀). [1, 2].

В этой связи появилась необходимость улавливания и подавления мелкодисперсных частиц, которые представляют наибольшую опасность.

Высвобождаемое в пространство облака пыли при производстве строительных работ, имеют довольно обширное поле воздействия, поэтому необходимо подавлять очаг возникновения пыли. Для этого лучшим решением выступают мелкодисперсные капли воды. Попадая под большим давлением в область распространения или возникновения пыли, капли обволакивают пылевые частицы и оседают вместе с ними [3].

Это очень эффективное решение реализовано в пылеулавливателях мокрого типа, а именно в пушках пылеподавления или, благодаря получаемому эффекту, их также называют пушками туманообразования.

Существуют различные виды конструкций пылеуловителей мокрого типа, где состояние жидкой фазы может быть представлено в виде сочетания или по отдельности струй, капель, пены и пленки. Процесс пылеулавливания при помощи данного оборудования происходит посредством столкновения капель жидкости виде тумана, как например, в пушке туманообразования, с частицами пыли. Данное действие является основным для процесса осаждения пыли. Частицы крупной фракции, сталкиваясь с каплями воды, под действием инерции, осаждаются вместе с ними на поверхности. Частицы мелкодисперсной пыли не обладают достаточной кинетической энергией и в процессе воздействия оборудования в большинстве огибают каплю и остаются в воздухе.

Количество осажденных частиц под воздействием капель зависит от массы частиц и скорости их движения по отношению к капле, также важным фактором является диаметр капли и условия окружающей среды [4].

Результаты исследований показывают, что при использовании стандартных пылеуловителей мокрого типа эффективно осаждаются с помощью капель частицы диаметром более 1мкм, в условиях туманообразования диаметр осажденных частиц уменьшается. Осаждению частиц на каплях также способствует взаимодействие электрических зарядов частиц и капель. Это обусловлено тем, что частицы мелкодисперсной пыли несут на себе заряд, получающийся в момент их образования и накапливают его в процессе движения, в зависимости от скорости. Степень взаимодействия электрических зарядов частиц и капель зависит от скорости их движения. Важным фактором является температура воды. В процессе образования пылевого потока частицы должны охлаждаться каплями тумана, так как это вызывает большую возможность конденсации тумана на частицах пыли под действием поляризационной диффузии. В таких условиях частицы растут в размере, и возможность оседания их увеличивается [5, 6].

Для реализации процесса оседания пыли в пушке туманообразования должны быть внедрены следующие характеристики: расход воды – 0,2- 0,6 л/м³, гидравлическое сопротивление – 400-600 Па. В таких условиях степень оседания частиц размером более 1мкм составит 95—99%, для частиц размером менее 1мкм – 45-50%.

Эффективность оседания частиц пыли от строительных работ при использовании пылеуловителей мокрого типа зависит от расхода жидкости, диаметра капель воды, скорости образования капель и давления в установке.

В связи с этим в процессе эксплуатации оборудования следует контролировать давление жидкости, поступающей к распылительным форсункам. В соответствии с поставленной задачей по разработке мероприятий и экономически эффективных средств по борьбе с частицами мелкодисперсной пыли было разработано устройство, представляющее пушку пылеподавления, состоящей из станины, трубок водоснабжения,

вентилятора, фильтра, пневмонасоса и системы форсунок. Данная пушка также дополнительно снабжена источниками постоянного электромагнитного поля, позволяющими придать потоку воды физические свойства, способные притягивать частицы мелкодисперсной пыли. Схема оборудования представлена на рисунке 1.

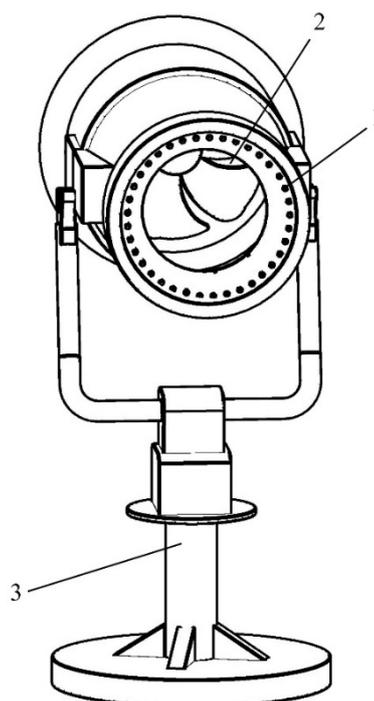


Рис.1. – Схема устройства по пылеподавлению на строительной площадке: 1 – фильтр, пневмонасос и система форсунок, 2 – трубки водоснабжения и вентилятор, 3 – станина.

Вокруг форсунок, внутри тела пушки пылеподавления, располагаются источники электромагнитного поля, таким образом, чтобы обеспечить воздействие со всех сторон потока жидкости. На участке, близкорасположенным к форсункам, монтируются источники

электромагнитного поля круглой формы с отверстием таким образом, что тело источника поля закрывает этот участок трубки по всему диаметру.

Под давлением, создаваемым насосом, вода попадает в систему трубок и проходит через участок воздействия электромагнитного поля.

Поток воды, подверженный воздействию постоянного электромагнитного поля, приобретает на выходе новые физические свойства, становится способным притягивать мелкие частицы. Частица воды, проходящая потоком жидкости через электромагнитное поле, становится заряженной. Попадая в пылевоздушную смесь, она вступает во взаимодействие с диэлектриком. Находясь под воздействием поля созданного заряженной частицы, на теле диэлектрика возникнут полярные заряды, при этом знак заряда, противоположный знаку заряда изначально заряженной частицы, будет находиться ближе к источнику электромагнитного поля. За счет более близкого расположения и разности зарядов сила притяжения будет большей, чем сила, с которой частица будет отталкиваться. Пушка пылеподавления состоит из станины и корпуса, насоса высокого давления, системы трубок для подвода воды, вентилятора и системы.

Пушка подключается к системе центрального водоснабжения. Вода, пройдя через фильтр, с помощью насоса, под давлением подается по внутренним трубкам к форсункам (диаметром до 0.1 мм), в форсунках происходит смешиванием под большим давлением потока воздуха и потока воды, а также изменением физических свойств водяных частиц за счет воздействия источника постоянного электромагнитного поля. В результате получается облако, состоящее из мелкодисперсных капель воды, которые оседая в секторе воздействия, действуют эффективно не только по отношению к крупным пылевидным частицам, а также эффективно притягивают к себе и самые мелкие пылевидные частицы, представляющие наибольшую угрозу для здоровья человека.

Для получения практических результатов применения пушки туманообразования был проведен отбор проб мелкодисперсных частиц пыли $PM_{2,5}$ - PM_{10} на каменных работах в процессе их производства. Место проведения эксперимента была определена строительная площадка 20-этажного жилого дома по ул. Магнитогорская 2в в г. Ростове-на-Дону. [7].

Отбор проб проводился на разном расстоянии от рабочего места и разной степени влажности атмосферного воздуха. Параметрами оптимизации в расчетах и анализе были определены концентрация частиц мелкодисперсной пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$, отнесенные к максимально разовой предельно допустимой концентрации (ПДК_{м.р.}) и скорость оседания частиц пыли. Измерительный прибор - Handheld 3016. Согласно полученным результатам была выполнена статистическая обработка данных. [8].

На рисунках 2-4 представлены зависимости содержания концентрации пыли при различной влажности атмосферного воздуха. Эксперимент показал, что концентрация пыли уменьшается с увеличением влажности воздуха в результате его увлажнения пушкой туманообразования, частицы мелкодисперсной пыли, сталкиваясь с каплями тумана, увеличивались в размерах и оседали.

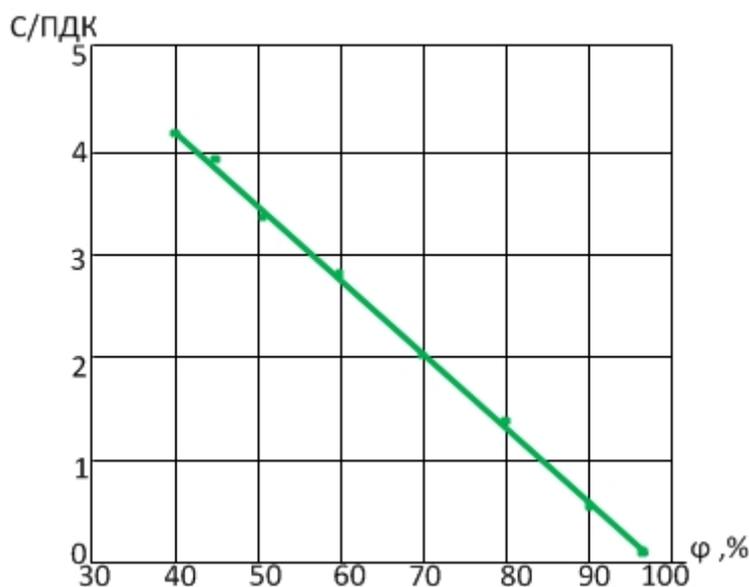


Рис.2. – Изменение концентрации частиц пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ в зависимости от влажности, образующейся от воздействия пушки

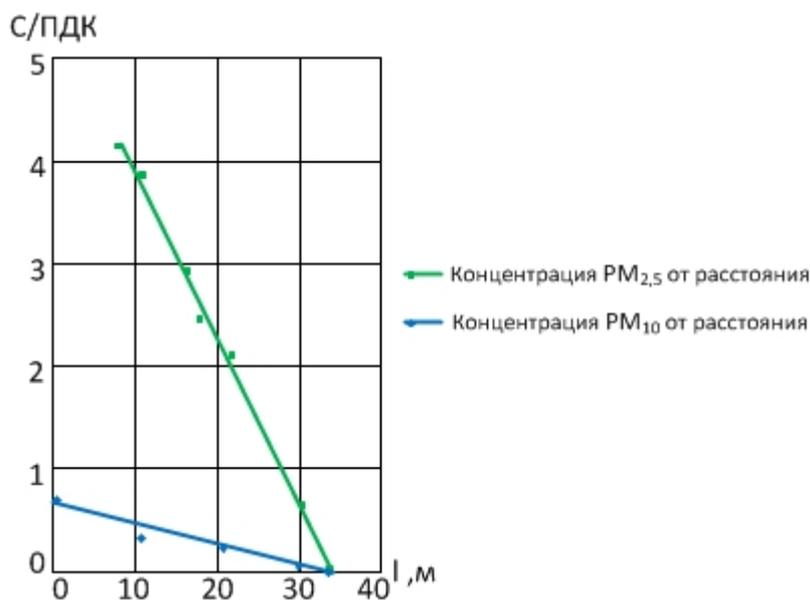


Рис.3. – Изменения концентрации пыли PM_{10} (при влажности 60%) и $PM_{2,5}$ (при влажности 65%) в воздухе на строительной площадке при выполнении каменных работ

С удалением от источника пылевыведения сразу после увлажнения уменьшается концентрация мелкодисперсных частиц пыли и на расстоянии 35м она соответствует ПДКм.р. Проведены экспериментальные исследования по определению скорости оседания. На рисунке 4 показаны зависимости скорости оседания частиц пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ от среднего эквивалентного диаметра и среднего геометрического коэффициента формы.

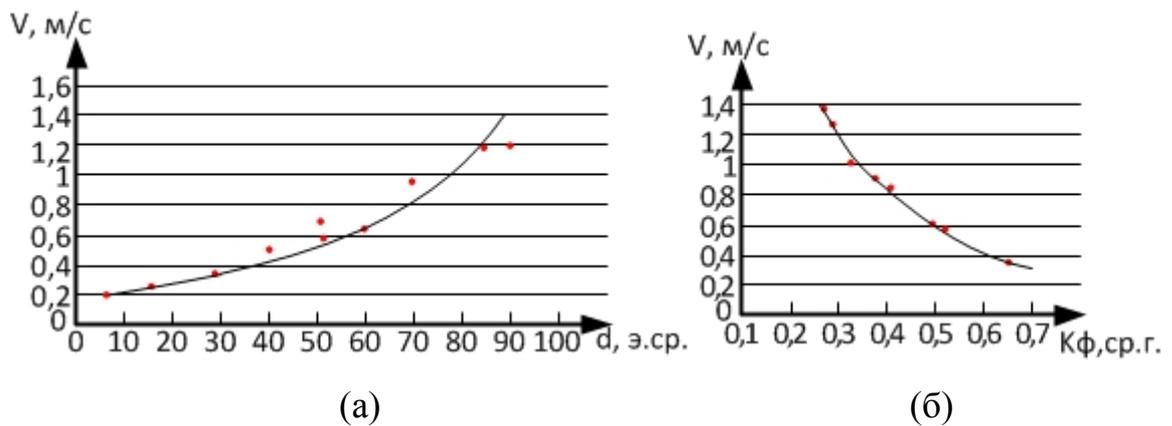


Рис.4. – Зависимость скорости оседания частиц пыли от процесса резки газоблоков от (а) - среднего эквивалентного диаметра частиц; (б) – от среднего геометрического коэффициента формы

Медианный диаметр частиц пыли, выделяющийся при каменных работах снижается в течение 10 секунд с 50мкм до 10мкм.

Для определения концентрации пыли в воздухе при строительных работах с помощью весового метода анализа можно использовать уравнение регрессии, которое является математической моделью концентрации пыли K , мг/м³, в зависимости от расстояния между рабочим местом и местом взятия проб по вертикали H , м и по горизонтали R , м. Данное уравнение имеет вид:

$$\ln K = a_0 + a_1 + a_2 H + a_{11} R^2 + a_{22} H^2 + a_{12} RH + \epsilon. \quad (1)$$

Статистические оценки параметров $a_0, a_1, a_2, a_{11}, a_{12}, a_{22}$ получаются методом наименьших квадратов при расчете множественной линейной регрессии.

Уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$\hat{K} = \exp\{2,0069 - 478R + 5,78H + 2,2R^2 + 4,191H^2 + 1,608RH\}. \quad (2)$$

Зависимости представлены на рисунке 5.

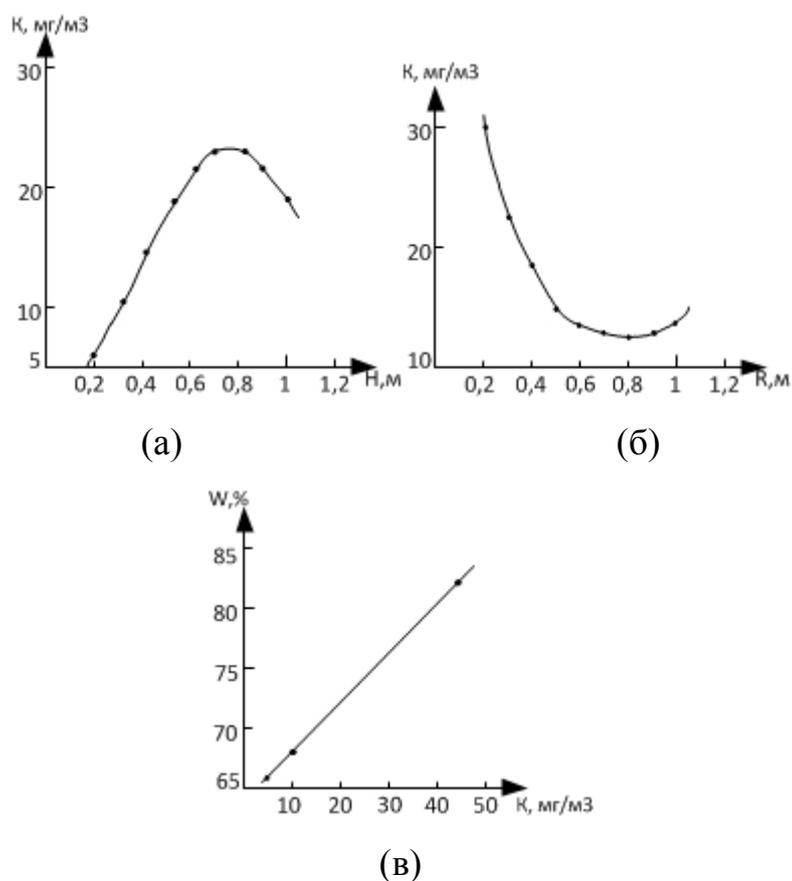


Рис.5. – Эмпирические регрессионные зависимости: (а) - концентрации пыли K от высоты H ; (б) – расстояния от рабочего места взятия проб R ; (в) – между влажностью (W) и концентрацией пыли K .

По диаграмме рассеивания экспериментальных точек предположено, что между случайными величинами концентрации пыли K и высоты существует линейная регрессионная зависимость

$$\bar{M} = \beta_0 + \beta_1 K. \quad (3)$$

Эмпирическое уравнение регрессии имеет вид:

$$\bar{M} = 0,017049 + 0,0015367K. \quad (4)$$

В результате проведенных исследования можно сделать вывод, что наибольшие концентрации пыли и влажность зафиксированы на расстоянии

30см от места взятия пробы и на высоте 60-90см, т.е. в рабочей зоне каменщиков [9, 10].

Для оценки запыленности воздушной среды рабочего места строителя и степени воздействия пушки туманообразования исследовалась статистическая зависимость числа пылевых частиц $PM_{2,5}$ - PM_{10} от следующих факторов: месторасположение рабочего места на строительной площадке, относительной влажности и температуры. В ходе исследования соблюдались следующие условия: помещения были закрыты, исследование проводилось в процессе выполнения каменно-монтажных работ.

Концентрация пыли с увеличением влажности в помещении уменьшается уже на расстоянии 0,3-0,5м. Таким образом, санитарно-защитная зона значительно уменьшается, загрязнение воздушной среды в жилой зоне ослабевает, ПДК достигается значительно ближе к объекту от санитарно защитной зоны и составляет 35м от объекта строительства.

Литература

1. Беспалов В.И., Котлярова Е.В., Бондаренко А.С. Научно методические основы обеспечения экологической безопасности территорий в условиях урбанизации// Инженерный вестник Дона, 2019. № 1. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5553
2. Азаров В.Н., Кошкарев С.А., Николенко М.А. Снижение выбросов систем обеспыливания с использованием дисперсного анализа пыли в стройиндустрии// Инженерный вестник Дона, 2015. № 1, часть 2. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2838
3. Желтобрюхов В.Ф., Ильинкова Ю.Н., Колодницкая Н.В., Осипов В.М. Способ обеспечения экологической и технической безопасности на объектах дорожного хозяйства// Инженерный вестник Дона, 2013. № 4. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2008

4. Сергина Н.М., Семенова Е.А., Кисленко Т.А. Система обеспыливания для производства керамзита// Инженерный вестник Дона, 2013. № 4. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2013

5. Ганичева Л.З. Анализ состояния атмосферного воздуха в промышленных городах Ростовской области// Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1701

6. Чебанова С.А., Азаров В.Н., Азаров А.В., Поляков В.Г. Влияние организационно-технологических решений строительства в стесненных условиях на окружающую среду// Инженерный вестник Дона, 2018. № 1. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790

7. Калюжина Е.А., Сахарова А.А., Козловцева Ю.И., Гвоздииков И.А., Кисленко Т.А., Килих Е.О., Боженкова А.С., Маркин В.С. Анализ неорганизованных пылевых выбросов в атмосфере города от электросталеплавильного цеха// Инженерный вестник Дона, 2018. № 2. - URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_121_Kalyuzhina_N.pdf_c4d92a4656.pdf

8. Калюжина, Е.А., Несветаев Г.В., Азаров В.Н. Исследования значений РМ [10] и РМ [2,5] в выбросах в атмосферу и рабочую зону при ремонтно-строительных работах // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Политематическая, 2012. №1 (20). – URL: vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=785

9. Hritonenko N. Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment. Springer Science & Business Media, 2014. 296 p.

10. Gillman M. An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space. John Wiley & Sons, 2009. 158 p.

References

1. Bepalov V.I., Kotlyarova E.V., Bondarenko A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5553



2. Azarov V.N., Koshkarev S.A., Nikolenko M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015. № 1, ch.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2838
3. Zheltobruhov V.F., Ilinkova U.N., Kolodnitskaya N.V., Osipov V.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2008
4. Sergina N.M., Semenova E.A., Kislenco T.A. Inzhenernyj vestnik Dona 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2013
5. Ganicheva L.Z. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1701
6. Chebanova S.A., Azarov V.N., Azarov A.V., Polyakov V.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790
7. Kaluzhina E.A., Saharova A.A., Kozlovceva U.I., Gvozdikov I.A., Kislenco T.A., Kilich E.O., Bozhenkova A.S., Markin V.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018. № 2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_121_Kalyuzhina_N.pdf_c4d92a4656.pdf
8. Kaluzhina E.A., Nesvetaev G.V., Azarov V.N. Internet-vestnik VolgGASU (Rus), 2012. № 1. URL: vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=785
9. Hritonenko N. Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment. Springer Science & Business Media, 2014. 296 p.
10. Gillman M. An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space. John Wiley & Sons, 2009. 158 p.