Ю.С. Корюкаев.

Заслуженный эколог РФ

**Силосы – цементная бомба. Особенности и защита.**

**Цементные заводы – I категория экологически опасных промышленных объектов.**

В 2019 году более 50 цементных заводов страны изготовили почти 60 миллионов цемента. Весовая доля пылевой фракции готового цементе составляет 4%, в результате произведенный страной цемент принес в окружающую среду порядка 2,5 миллиона тонн цементной пыли. Образование пыли при производстве цемента чрезвычайно велико. Механическая обработка, сушка, обжиг рудных материалов (известь, глина), и добавок (шлаки и зола), перемещение и складирование фабрикатов и готовой продукции являются стационарными источниками загрязнения атмосферы населенных мест, где расположены цементные заводы. Влияние выбросов вредных веществ от производства цемента на атмосферу населенных мест и здоровье населения городов, где расположены предприятия по производству цемента достаточно известно, широко освещается в СМИ и научной печати. От цементной пыли страдают флора, фауна и человек.[1,2]

По этой причине производство цемента отнесено к I категории опасных объектов, оказывающих воздействие на окружающую среду. Профильные предприятия цементной промышленности рассматриваются как объекты, деятельность которых оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, отнесены к областям применения наилучших доступных технологий (НДТ) и обязаны получать комплексные экологические разрешения на осуществление своей деятельности. [3-6]

Процесс внедрения новых технологий производства цемента с сокращение вредных выбросов в окружающую среду в настоящее время активизировался. Появились новые предложения по пылеулавливанию, которые осваиваются предприятиями с разной эффективностью. [7] Например, АО «Искитцемент» Новосибирской области после замены батарейных циклонов на колосниковом холодильнике рукавным фильтром австрийской фирмы Scheuch, с Кэф 99,9% получил в Госэконадзоре «Полное комплексное экологическое разрешение». Несмотря на это концентрации пыли в городе Искитим по данным Госдоклада о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области остаются высокими и превышают ПДК.[8]

Произведенные на предприятиях цементной промышленности миллионы тонн цемента перевозятся по всем федеральным округам страны и на предприятиях железобетонных изделий (ЖБИ) и бетонных заводах превращаются в товарный бетон и раствор, использованный при строительстве зданий и сооружений. Количество потребителей цемента в сотни раз превышает количество производителей. Только в Петербурге бетонный раствор предлагают более 80 предприятий, а изделия из железобетона производят около 200 различных предприятий города. Практически все они расположены в селитебных зонах города и фактически перераспределяют пыль цемента по всей жилой территории страны.

**Цементная пыль – концентратор токсичных веществ.**

Цементная пыль токсикологами первоначально отнесена к умеренно токсичным соединениям кальция. Предельно допустимые концентрация пыли цемента в воздухе приближаются к малотоксичным веществам. Среднесменная концентрация пыли в воздухе рабочей зоны ПДК равна 8 мг/м3. В атмосферном воздухе населенных мест максимально разовая ПДК равна 0,3 мг/м3 и среднесуточная 0,1 мг/м3 .

Исследованиями последних лет установлено наличие токсичных микропримесей в цементной пыли, удельное содержание которых возрастает с увеличением дисперсности.

Поэтому для выбросов цементного производства с 2019 года установлены маркерные показатели загрязнения атмосферы. В таблице 1 приведены металлы, вклад соединений которых в общее количество цементной пыли составляет более 1%.

Таблица 1

Содержание токсичных металлов в цементной пыли [9]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Металл и его соединение  | Содержание в цементной пыли % | ПДК в атмосферном воздухе мг/м3 | Токсическое действие \* |
| Диэтилртуть | 3,7 | 0,0003 | Поражение ЦНС, почек, зрения, слуха. Пороки развития плода |
| Кадмий оксид | 0,89 | 0,0003 | Многополярное действие - от гипертонии до канцерогенеза |
| Медь оксид | 1,24 | 0,002 | Повреждение плода, нарушение овариально-менструального цикла (ОМЦ), течения родов и лактации. Поражение печени и почек. Изменение обмена веществ. |
| Свинец и его неорганические соединения | 1,51 | 0,001 | Поражение ЦНС, почек, органов к Поражение ЦНС, желудочно-кишечной системы, печени, почек. Боли в конечностях, нарушение сна кроветворения, авитаминозы |
| Таллий карбонат | 1,07 | 0,0004 | Неврологические и желудочно-кишечные расстройства. Поражение почек. Выпадение волос |

Цементная пыль, так же как и цементный порошок неоднородна по химическому составу, так как товарный цемент состоит из собственно портландцемента и минеральных добавок, процентное содержание которых может достигать 35% по массе. [10]

Поэтому цементная пыль помимо собственно цемента может на одну треть состоять, например, из каменноугольной золы – уноса, ПДК которой в атмосферном воздухе на порядок ниже ПДК пыли цемента и равна 0,05 и 0,03 мг/м3.

К сожалению, список маркерных показателей, установленных ГОСТ Р 56828.47-2019 может быть расширен за счет минеральных добавок к цементу, которые (зола) так же как и портландцемент содержат примеси токсичных металлов (галлий, цирконий, бериллий и др.) в пределах 0,3 – 0,5% от массы золы. Особенностью микропримесей металлов является то, что их концентрация увеличивается в высокодисперсных фракциях цементной пыли. [11 -13]

**Цементная пыль – вокруг нас**

Сухой, не слежавшийся цемент, по существу сам является пылью, так как максимальный размер его зерен не превышает 200 мкм. Доля долго витающих частиц (скорость осаждения от 0,2 до 6,0 см/с) в порошке достигает 25%. Поэтому, любое осыпание цементного порошка сопровождается облаком пыли.[14,15]

Порошок цемента насыщен воздухом, имеет низкую плотность (1100 до 1300 кг/т) и находится некоторое время после изготовления или транспортировки в псевдосжиженном состоянии, может перемещаться как жидкость на значительные расстояния в шлангах под небольшим избыточным давлением (до 1 бар) и легко вытекать из емкостей при нарушении герметичности. Из-за текучести цемент проникает через малейшие неплотности (например, фланцы силосов) и сильно загрязняет производственные и складские помещения, а при аварийном высыпании или разрушениях емкостей хранения цемента -силосов образует облака пыли.[16]



Рисунок 1. Облако цементной пыли

Переработка насыпного цемента в раствор и изделие на бетонорастворных узлах и предприятиях ЖБИ сопровождается образованием пыли. Данные по источникам выбросов цементной пыли на этих предприятиях, к сожалению, сильно устарели, но для общего представления о количестве пыли можно пользоваться материалами таблицы 2. [17]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Цех, участок | Источники выделения пыли | Источники выбросов | Величин выбросов, кг/час |
| Склад хранения цемента | Пост разгрузки и разгрузки железнодорожных вагонов | Неорганизованный выброс | 1,5 -8,4 |
| Загрузка силосов | Трубы пылеуловителей | 0,57 -28,5 |
| Разгрузка силосов в автосамосвалы | Неорганизованный выброс | 1,2 – 7,4 |
| Бетонный смесительный узел | Грохот | Трубы пылеуловителей | 0,6 - 12,6 |
| Расходные бункера и дозаторы  | То же  | 1,8 -2,6 |
| Бетоносмесители  | То же | 1,7 -11,8 |
| Расходные бункеры | То же | 1,5 -8,4 |
| Узлы пересыпки с транспортеров | То же | 1 -3,0 |

В результате, проблема цементной пыли в атмосферном воздухе городов производителей цемента становится общей проблемой для городов страны, использующих цемент в строительстве. Присутствие цементной пыли в атмосфере селитебных зон городов и поселках несет скрытую опасность для здоровья населения. Она не так очевидна, как раздражающее действие пыли цемента на органы дыхания, глаза и кожу, но действует постоянно и неотвратимо.

**Силосы – источник цементной пыли в атмосферном воздухе населенных мест.**

На предприятиях по изготовлению бетонного раствора и железобетонных изделий цемент хранится в силосах. Стационарные цементные силосы являются промежуточным складом для загрузки, кратковременного хранения и выгрузки цемента. Объем силоса рассчитывается из условий полного использования загруженного материала в течении трех суток. Проектирование и изготовление силосов регламентируется строительными правилами. [18] Силосы разных объемов и вместимости представлены в таблице 3[19]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Изготовитель | Объем куб. м | Вместимость тонн |
| ООО Cевметаллстрой | 7 - 45 | 10 - 65 |
| ООО Руссамет | 10 -130 | 8 - 182 |
| ООО Стройбетон | 8 - 120 | 10 -156 |
| ООО ЗЗБ | 22 - 313 | 30 - 450 |

 [Загрузка и выгрузка цемента](https://compasstech.ru/catalog/tekhnologicheskie-linii-dlya-razgruzki-zh-d-vagonov/) осуществляется пневмотранспортом. [20] Пневмотранспорт цемента состоит из следующих основных узлов: нагнетательная линия → приемный узел →фильтр. В приемном узле воздушно цементный поток разделяется на основную и пылевую массу, которая для уменьшения потери цемента направляется на доочистку.[21]

Заполненный цементом силос из-за высокой слипаемости и гигроскопичности порошка быстро слеживается. Для предупреждения уплотнения порошка цемента в состоянии покоя и обеспечения эффективной работы силосов в качестве временных складов цемента производится периодическая аэрация силосов сжатым воздухом и аэродинамическая продувка перед разгрузкой. Расход сжатого воздуха при аэрации составляет 1 м3 на 1 т цемента при давлении 0,2…0,3 МПа. По техническим требованиям силосы должны освобождаться от цемента не позже чем через 7 - 15 дней после загрузки. Производительность разгрузки максимально достигает величины 120 т/ч.[22]

Условия образования пыли при работе пневмотранспорта и аэрации не изучены и количественная оценка количества образующейся пыли является ориентировочной.

**Условия образования пыли при загрузке силосов.**

Концентрация твердой фазы в пылевоздушном потоке по разным данным составляет 20 - 40 кг цемента на кг воздуха. По расчетам экологов, каждая тонна цемента содержит 30 - 40 кг пыли. Следовательно, с каждой тонной цемента в силос при однородном пылевоздушном потоке должно поступить 50 – 100 кг воздуха (порядка 40 - 80 м 3 на одну тонну цемента.) При разделении пылевоздушного потока на цементный порошок и аэрозоль, каждый кубометр выходящего из силоса воздуха будет нести максимум 0,5 – 1,0 кг пыли. [23,24] Количество поступающего в силосы воздуха не описано.

Движение пылевоздушной смеси при загрузке силосов обеспечивается стационарными и передвижными насосами. Первые применяются на предприятиях по производству цемента, при выгрузке из железнодорожных вагонов – хопперов и пересыпке из силоса в силос, вторые устанавливаются на автоцементовозах, которые в настоящее время являются основным средством погрузки и разгрузки цемента силосов, бетонных заводов и предприятий по производству железобетонных изделий.

Воздух, накачиваемый в систему транспортировки пыли, освобождается от порошка цемента при выходе из транспортного трубопровода и выходит из силоса через силосные фильтры, которые сохраняют от потерь самые ценные высокодисперсные фракции порошка цемента, или при давлении выше 3000 – 8000 Па, аварийные клапаны.

Количество выходящего из силоса воздуха можно определить по производительности насосов перекачивающих цементный порошок.

В таблице 2 представлены результаты расчета поступления воздуха в силос объемом 22 м3 при перекачке цемента пневмокамерным насосом Посейдон ПКН Т10 фирмы «Строймеханика». Насос имеет объемом рабочей камеры 0,110 м3; рабочее давление 0,4 - 0,6 МПа; расход сжимаемого воздуха от 5 до 12 м3/минуту; производительность по цементу 10 тонн/час; диаметр трубопровода 100мм; высота подъема воздушно-цементной смеси - 30м.

Расчет выполнен по расходу воздуха насосом и по отношению массы перемещаемого цемента и воздуха в пневмотранспорте. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчет поступления воздуха в силосы при перекачке цемента

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Расчетное время заполнения силоса, мин | Расчетный объем поступающего в силос воздуха, м3/час | Кратность обмена воздуха в силосе, без учета наполнения цементом. |
| Объем силоса, м3 | Кратность по отношению к объему, раз |
| пообъемусжимаемоговоздуха | по массе перемещенного цемента |
| 2 ч 30 мин | 300 - 720 | 260 - 700  | 25 | От 10 до 28 |

Расчетная скорость V поступления воздуха в силос из трубопровода диаметром 100 мм, исходя из объема Lo = 0,19 м3/с, площади F = 0,008 м2, равна 23,7 м/с. По некоторым данным, скорость потока в импульсе может достигать 60 м/ с при работе пневмокамерных и 40 м/с – винтовых пневмонасосов. [25]

Особенностью движения пылевоздушной смеси при использовании пневмокамерных насосов является неравномерность потока. Псевдожидкая, насыщенная воздухом масса цемента движется по трубопроводу импульсами (пробками), разделенными воздушными пузырями, находящимися под избыточным давлением, создаваемым насосами. В пробке содержание пыли цемента составляет 60 кг/ кг воздуха. В пузырях -10 и меньше кг/кг воздуха. В эксперименте наблюдались импульсы частотой 4 до 15 в минуту и движущиеся пробки длинной 5 -20 метров и массой 50 -200 кг.

Пульсация давления воздуха в силосах и импульсная подача воздушно-цементной смеси в силосы осложняют работу фильтров очистки от пыли. Циклоны в системах с пневмотранспортом снижают эффективность улавливания пыли до 20 - 40% от величин, установленных ТУ, и практически не работают. Фильтры рукавного и карманного типа разрываются, плохо очищаются от слипшейся пыли, создают большое противодавление в силосе, и снижают эффективность работы пневмотранспортной линии.[26-29]

Автоцементовозы практически являются передвижными пневмокамерными насосами, состоящих из компрессора, приводимого в действие атоомобильным двигателем и камеры – герметичной цистерны в оторой создается давлени воздуха, вытесняющего порошок цемента в приемный пылевоздуховод. [30]

На рисунке 2 представлена схема автоцементовоза производства АО НПП «РНГИ»



Рисунок 2 Схема автоцементовоза АЦВ 17-Р1. Объём бункера, 17м3 .Масса цемента, 19, 025 т Наибольшая производительность разгрузки, 0,8 т/мин (7 м3/мин) Давление в цистерне максимальное (избыточное) 0,21МПа. [31]

При разгрузке автоцементовозов условие содержания цемента в килограмме воздуха 20 - 40 кг/кг не выдерживается. Полное опорожнение бункера производится сжатым до 2,1 избыточной атмосферы воздухом, который за короткое время выдавливает 19 тонн цемента в бункер. Для автоцементовоза АЦВ 17-Р1 это время составляет 2,5 минуты. В силос за это время с цементом поступит 17 м2 сжатого до 2,1 ати воздуха. Объем приведенного к нормальному давлению воздуха (≈35 м3) больше объема приведенного в таблице 2 силоса. Расчетная скорость перемещения пылевоздушной смеси по трубопроводу диаметром 100 мм 13, 7 м/с.

Пульсация пылевоздушного потока от автоцементовозов не изучена, но известна. Для предупреждения срыва гибкой вставки между автоцементовозом и силосом гибкий шланг прижимают к земле подручными материалами. По статистике при перекачке цемента автоцементоовозами в расходные емкости потери могут достигать от 2 до 5%. [32]

Пневматическая загрузка силосов производится с защитой от потерь цемента силосными фильтрами и с защитой от разрушения – аварийными клапанами сброса давления. [33]Аварийные клапаны рассчитаны на давление 0,03 - 0,08 атм. (2900 -7800 Па).

**Условия работы силосных фильтров при пневмотранспортной загрузке силосов.**

Предлагаемые в настоящее время потребителям силосы для хранения цемента загружаются пневмотранспортом. Смесь воздуха с цементом поступает напрямую в силос в непосредственной близости от тканевого фильтра. 

 Рисунок 3. Верхняя часть цементного силоса.

Пылевоздушный поток циркулирует в силосе, разделяясь на порошковую и аэрозольную части. Масса, распределение частиц пыли по дисперсности и скорости движения воздушных потоков в силосе неизвестны, но могут изменяться по мере насыпки цемента за счет повторного взметывания частиц пыли при аэродинамическом взаимодействии струи воздуха с поверхностью насыпанного цемента и создавать неравномерность концентрации пыли.

Давление воздуха в силосе регулируется сопротивлением фильтра и аварийным клапаном. Заводская установка сопротивления напорных силосных фильтров SFB/SFBWP 200 -600 Па, критическое сопротивление 1200 -2000 Па, позволяют работать фильтрам самотеком в диапазоне до аварийного срабатывания клапана - 2900 Па.

Избыточное давление воздуха в силосе за счет поступления воздуха в объёмах, превышающих объем силоса, вытесняет воздух со скоростью, зависящей от площади впускного отверстия картриджей силосного фильтра.

Номинальная производительность напорных силосных фильтров SFB/SFBWP по воздуху выше объема приточного воздуха. Расчетная скорость движения воздуха перед фильтром и скорость фильтрации через картриджи обеспечивает нормальную работоспособность и задержку более 99% частиц пыли размером от 1 мкм и более.

Масса насыпаемой цементной пыли постоянно уменьшает объем силоса, в соответствие с этим скорость выхода воздуха из силоса и концентрация пыли должны возрастать и повышать нагрузку на силосные фильтры.

Скорость образования слоя пыли, и эффективность очистки картриджей силосного фильтра могут зависеть от колебаний давления в силосе и слипаемости цементной пыли .

**Заключение**

Умеренно токсичная цементная пыль за счет минеральных добавок и примесей тяжелых металлов первого второго класса токсичности представляет высокую опасность для здоровья человека и природной окружающей среды.

Строительство зданий и сооружения с использованием бетонных смесей и железобетонных изделий распространяет цементную пыль в атмосферный воздух населенных мест практически всей страны.

Рассеянными по стране локальными источниками цементной пыли являются хранилища цемента – силосы. Образование пыли при эксплуатации силосов определяется особенностями работы пневмотранспорта для их заполнения и разгрузки. Совершенствование техники перекачивания с уменьшением пульсации пылевоздушных потоков и концентрирование цемента в воздушной фазе – техническое решение борьбы с пылью при хранении цемента в силосах

Современные средства предупреждения потерь цемента при транспортировке: силосные фильтры - способны защищать атмосферный воздух населенных мест от поступления высокодисперсной токсичной пыли.

Повышение надежности работы силосных фильтров может идти по пути выравнивания колебаний давления воздуха и концентраций пыли в выходящем потоке. Для этой цели следует отдалить фильтр от поступающего пылевоздушного потока путем:

* Устройства промежуточных объемов между силосом и силосным фильтром по опыту применяемых в 60-х годах прошлого века бункеров-гасителей (осадителей), переходных коробов, цик и др., как промежуточного элемента между силосом и фильтром;
* Устройства козырька, или, соединенной с фильтром перегородки для разделения приточного и вытяжных отверстий, которые должны препятствовать уносу крупных частиц и снижающих нагрузку на фильтр.

Использованная литература

1.URL:https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=556526

2.URL:https://sworld.com.ua/simpoz2/14.pdf

3.URL:https://beton.ru/news/detail.php?ID=437556

4.Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов ЗАО «НИПИОТСТРОМ» Новороссийск 2000г.

5.[Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды"](http://docs.cntd.ru/document/901808297)

6.ИТС 6-2015. Производство цемента.

7.Д.К. Мысливец. Комплексное решение вопросов пылеулавливания с применением современного фильровентиляцонного оборудования в цементном производстве. Цемент и его применение. 2008г. №1

8.URL: <http://mpr.nso.ru/page/2864>

9.ГОСТ Р 56828.47-2019 «Наилучшие доступные технологии. Производство цемента. Выбор маркерных показателей для выбросов в атмосферу от промышленных источников»,

10.ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»

11.С.А. Куценко. Основы токсикологии. СПб «Фолиант», 2004г. 720 с

12.В.А Салихов Перспективы извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/

13.Э.Б. Хоботова, М.И. Уханёва, и др. Изучение распределения тяжёлых металлов по дисперсным фракциям цементной пыли. Вестник Харьковского автомобильно-дорожного университета. 2005г.

14.URL:https://vuzlit.ru/750493/dispersnost\_portlandtsementa\_svoystva

15.URL: <https://yandex.ru/patents/doc/RU2558095C1_20150727>

16.П.Б .Балтренис. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов. М. Стройиздат 1990г.

17.ВРД 66 72-84. Методические указания по расчету валовых выбросов вредных веществ в атмосферу предприятиями министерства строительства СССР. Часть 2 . Заводы по производству железобетона.

18.СП 359.1325800.2017 Силосы стальные вертикальные цилиндрические для хранения сыпучих продуктов. Правила проектирования.

19.URL:https://cementim.ru/silos-dlya-tsementa/

20. А.А. Воробьев, А.И. Матвеев и др. Пневмотранспортные установки. Справочник. Машиностроение. Ленинград. 1969.

21.URL : <https://compasstech.ru/>

22.URL:https://lektsia.com/4x6da0.html

23.Гавриленко А. В. Совершенствование мультисоплового аэрационного устройства в пневмокамерном насосе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Белгород 2017 г.

24.Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. ЗАО НИПИОТСТРОМ Новороссийск 2000г.

25.И.Н. Логачев, К.И. Логачев. Аэродинамические основы аспирации СПб. Химия. 2005г. 4.1.2.Расчет траекторий пылевых частиц в полости бункеров силосного типа.

26.В.С. Богданов, Ю.М. Фадеев и др. Характеристика потоков цементно-воздушной смеси при транспортировании цемента. Вестник ВГТУ им. В.Г. Шухова.2016, №2.

27.Василевский М.В., В.И. Романдин, Е.Г. Зыков. Транспортировки и осаждение частиц в технологиях переработки дисперсных материалов. Изд-во Томского политехнического университета, 2013. - 287 с.

28.URL:https://isilos.ru/aware-vcp.php

29.Нестеров А.В. Расчет пневмотранспортной системы для перемещения цемента из бункера в силос. URL:https://docplayer.ru/39955268-Raschet-pnevmotransportnoy-sistemy-dlya-peremeshcheniya-cementa-iz-bunkera-v-silos.html

30.ГОСТ 27614-2016 «Автоцементовозы. Общие технические условия»

31.URL: acv17.com›Автоцементовоз-АЦВ17

32.URL: https://tts-kazan.ru/company/articles/tsementnye-sklady-i-terminaly/

33.URL:http://www.silosa.ru/avariynyi\_klapan\_silosa.html

2020-11-24. Исполнил: Корюкаев.