

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

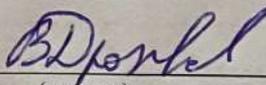
На тему: Проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве в г.  
Пикалево Ленинградской

Исполнитель Рахманов Атаджан Агамуратович  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат биолого-минералогических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«05» апрель 2022 г.

Санкт-Петербург,  
2022

## Содержание

Введение .....	3
Глава 1. Общие сведения об охране окружающей среды на цементном производстве.....	5
1.1 Негативные факторы цементного производства, воздействующие на окружающую среду .....	5
1.2 Задачи и направления охраны окружающей среды на цементном производстве.....	7
1.3 Современные методы охраны окружающей среды на цементном производстве.....	10
Глава 2. Оценка влияния цементного производства на загрязнение окружающей среды.....	13
2.1 Источники загрязнения окружающей среды на цементном производстве	13
2.2 Особенности влияния цементного производства на окружающую среду	15
2.3 Виды загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, на цементном производстве.....	19
Глава 3. Состояние окружающей среды на цементном производстве в г. Пикалево Ленинградской области .....	22
3.1 Характеристика цементного производства г. Пикалево Ленинградской области .....	22
3.2 Анализ цементного производства г. Пикалево Ленинградской области ..	29
3.3 Анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на цементном производстве.....	33
Глава 4. Методы охраны окружающей среды на цементном производстве г. Пикалево Ленинградской области .....	36
4.1 Анализ методов и способов очистки загрязняющих выбросов цементного производства.....	36
4.2 Проект расчета внедрения системы очистки вредных выбросов цементного производства .....	41
3.3 Оценка предотвращенного экологического ущерба и экономической эффективности предложенной системы фильтрации воздуха.....	49
Заключение .....	55
Выводы .....	59
Список литературы .....	60
Приложение 1 .....	64
Приложение 2 .....	65
Приложение 3 .....	66

## Введение

Цементное производство относится к ведущим отраслям в Российской Федерации и имеет огромный экономический потенциал, оказывая существенное влияние на промышленное развитие страны в целом. В основе динамично развивающегося строительного-инвестиционного комплекса в России лежит цементная промышленность, так как производство цемента является ключевым для развития строительной отрасли. В России действует несколько десятков цементных производств, большинство предприятий работает по полному производственному циклу, имеет собственные карьеры по добыче сырья для производства цемента и осуществляет все стадии цементного производства до готовой продукции. Основными потребителями цемента являются крупные заводы железобетонных и асбестоцементных изделий и конструкций, строительные предприятия, другие промышленные предприятия.

Около 80 % всего производимого в России цемента используется в производстве крупных заводов железобетонных и асбестоцементных изделий, около 15 % цемента используется в строительстве и в проведении строительномонтажных работ и около 5 % продается физическим лицам.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью сохранения темпов развития цементного производства и проблемами охраны окружающей среды. Цементное производство оказывает влияние на окружающую среду, осуществляя выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Практическая актуальность исследования обусловлена тем, цементное производство является источником примерно 5 % выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в мире. Причем около 60 % выбросов углекислого газа происходят вследствие переработки известняка при высоких температурах и около 40 % выбросов являются результатом сжигания топлива при нагреве материала до нужной температуры, так как необходимой температурой для образования клинкера является температура в среднем 1500 °С. Кроме выбросов углекислого газа ключевой экологической проблемой является

пылеобразование, выбросы неорганической цементной пыли, которые являются прямым следствием производства цемента. Проблемы выброса загрязняющих веществ на цементном производстве должны иметь эффективное практическое решение, чем и обусловлена практическая актуальность настоящей работы.

Цель исследования – изучить проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве в г. Пикалево в Ленинградской области и предложить мероприятия по совершенствованию системы очистки вредных выбросов в окружающую среду.

Задачи исследования:

1. Изучить негативные факторы цементного производства, влияние цементного производства на загрязнение окружающей среды, выделить основные источники загрязнения.

2. Провести анализ состояния окружающей среды на цементном производстве в Ленинградской области, провести анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

3. Определить наиболее эффективные методы и способы очистки загрязняющих выбросов цементного производства.

4. Осуществить расчет внедрения системы очистки вредных выбросов цементного производства.

5. Провести оценка предотвращенного экологического ущерба и экономической эффективности предложенной системы фильтрации воздуха.

Объект исследования – проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве г. Пикалево Ленинградской области.

Предмет исследования – мероприятия по совершенствованию охраны окружающей среды на цементном производстве.

# **Глава 1. Общие сведения об охране окружающей среды на цементном производстве**

## **1.1 Негативные факторы цементного производства, воздействующие на окружающую среду**

Основные воздействия на окружающую среду цементного производства определяются самой спецификой данного производства [16]:

- пыль (выбросы из дымовых труб цементного производства и быстроиспаряющиеся компоненты);
- газообразные выбросы в атмосферу (диоксид азота  $\text{NO}_x$ , диоксид серы  $\text{SO}_2$ , диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , летучие органические вещества  $\text{VOC}$  и другие).
- другие вредные выбросы цементного производства (шум и колебания, запах, техническая вода, отходы производства и т.д.).

Негативные факторы цементного производства характеризуются тем, что имеют разнородную природу – пыль, газообразные выбросы, другие выбросы. Следовательно, влияние на окружающую среду цементного производства является неоднородным и необходимо изучение всех факторов для разработки эффективной системы природоохранных мероприятий.

Выбросы пыли особенно от печей обжига на цементном производстве представляют собой самый опасный фактор загрязнения окружающей среды и вызывает наибольшее беспокойство у специалистов. В основном причиной выбросов пыли цементного производства являются сырьевые заводы, печи для обжига, клинкерные холодильники, цементные мельницы [21].

Основная особенность технологических процессов цементного производства заключается в том, что горячий отработанный газ или отработанный воздух проходит через измельченный до состояния пыли материал, что неизбежно приводит к образованию дисперсионной смеси газа и пыли. Основные свойства частиц выбрасываемой пыли в атмосферу на

цементном производстве зависят от исходного материала, клинкера или цемента.

Пылеобразование из рассредоточенных источников на территории цементного производства (сдуваемая пыль), также может происходить в результате хранения и погрузки сырья и готовой продукции, в транспортной системе, складских запасах, во время движения подъемного крана, упаковки в мешки, и в процессе транспортировки, во время движения транспорта по грунтовым дорогам. Важно подчеркнуть, что химический и минералогический состав цементной пыли подобен природному камню, поэтому воздействие на здоровье человека считается вредным, но не токсичным [11].

На современных цементных производствах применяются различные технические методы снижения пыли (электростатические осадители, циклоны, различные фильтры (рукавные, электрофильтры), что снижает пылеобразование в производстве в среднем до 90 %. Важно подчеркнуть при этом, что снижение и контроль за пылеобразованием на современном цементном заводе нуждается в постоянном инвестировании и компетентных методах управления

Выделение газов в атмосферу на цементном производстве также представляет собой достаточно высокую степень опасности.

Газообразные выделения от системы печей, выбрасываемые в атмосферу, являются основной экологической проблемой при решении проблем загрязнения окружающей среды на современном цементном производстве.

Основные газы, которые выбрасываются в атмосферу на цементном производстве – диоксид азота ( $\text{NO}_x$ ) и диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ). Менее вредными считаются выбросы соединений –летучие органические соединения (VOCs), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), аммиак,  $\text{HCl}$ , и тяжелые металлы. Диоксид углерода представляет собой газ, который в значительных количествах выделяется на различных циклах производствана цементном производстве [32].

Формирование диоксида азота ( $\text{NO}_x$ ) является неизбежным следствием высоко температурных процессов горения на цементном производстве. Также

естественным выбросом цементного производства является диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ). Сера, поступающая в печи обжига клинкера вместе с сырьем и топливом, в значительной степени поглощается продуктами печи [17].

Сера, содержащаяся в сырье как сульфиды (или органические сернистые вещества) легко улетучивается при низких температурах ( $400-600^\circ\text{C}$ ), что может привести к значительным испарениям  $\text{SO}_2$  через дымовые трубы.

Следует отметить, что другие легко испаряющиеся нежелательные вещества, поступающие в систему печей, эффективно разрушаются при высоко температурном горении, или почти полностью поглощаются продуктом.

Таким образом, неотъемлемой частью процесса в печах для обжига цемента являются выделения газов, таких как VOCs, HCl, HF,  $\text{NH}_3$  или тяжелые металлы. Наличие органических компонентов в природном сырье может существенно повысить уровень углеводорода и выбросы диоксида углерода  $\text{CO}_2$ . Выделение хлорсодержащих углеводородов типа диоксинов и фуранов обычно значительно ниже существующих предельных норм

В результате обжига исходного сырья (мергеля и известняка) и сгорания ископаемого топлива выделяется углекислота. Выделение углекислого газа, как результат потребления топлива, снижено в результате воздействия сильного экономического стимула к минимизации потребления топливной энергии.

## **1.2 Задачи и направления охраны окружающей среды на цементном производстве**

Важно понимать, что негативное воздействие цементного производства на окружающую среду существенно зависит от территориального расположения производства, от объемов потребления сырья, материалов и энергии, от возможности утилизации отходов и степени завершенности энерго-производственных циклов. Воздействие цементных производств на окружающую среду не будет одинаковым, несмотря на перечисленные негативные факторы, которые являются естественными для производства.

Разумеется, все будет зависеть от того, насколько эффективно организованы мероприятия по охране окружающей среды на цементном производстве, и какие применяются методы по защите окружающей среды.

Снижение негативного воздействия цементного производства на окружающую среду осуществляется по следующим направлениям [4]:

- предотвращение дальнейшего загрязнения и уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- предотвращение загрязнения водных объектов;
- снижение образования отходов производства.

Охрана окружающей среды от выбросов вредных компонентов в атмосферу является актуальной проблемой цементного производства. Как было показано ранее в работе, цементная пыль, которая содержится в выбросах оказывает на природную среду больше негативное воздействие. Производственная пыль цементного производства представляет собой мельчайшие твердые частицы, выделяющиеся при дроблении, размоле и механической обработке различных материалов, погрузке и выгрузке сыпучих грузов и т.п., также образующиеся при конденсации некоторых паров [37].

Пыль на цементном производстве образуется от вращающихся печей, цементных мельниц и силосов. Основным источником пылевыведения являются клинкеро-обжигательные печи, около 80 % пыли поступает от печей.

Для снижения пылеобразование эффективное воздействие оказывают теплообменные аппараты – цепные завесы, которые являются не только теплообменниками, но и задерживают пыль, которая выносятся из печи газами. Кроме клинкеро-обжигательных печей на цементном производстве существует множество локальных источников пыли – оборудование для внешней и внутренней транспортировки размолотых или других пылесодержащих материалов, на которых образуется множество выбросов.

Все перечисленное оборудование цементного производства должно иметь устройства по фильтрации, вытяжке и очистке воздуха. Затворы и аэрационные люки должны быть снабжены фильтрующими рукавами для предотвращения

попадания пыли в атмосферный воздух. Для силосов с пневматической загрузкой и оборудования для смешения и транспортировки порошковых материалов необходимо использование коллекторов [22].

Погрузочные бункера и хранилища, предназначенные для хранения клинкера, доменного шлака, сырьевых материалов и угля, должны иметь соответствующее покрытие для предотвращения распространения пыли. В процессе работы с пылящими продуктами необходимо осуществлять вытяжку воздуха для очистки в коллекторе, что обеспечит снижение выбросов в воздух.

В целом для обеспечения снижения пылевых выбросов на цементном производстве (даже в случае выброса воздуха из хранилищ в окружающую среду через обыкновенные низкие вентиляционные металлические трубы) удаление пыли осуществляется во вращающихся коллекторах или рукавных фильтрах, иногда устанавливаемых после механического сепаратора [13].

Выполнение мероприятий по охране окружающей среды является не желанием, но обязанностью всех цементных производств.

Проведение мероприятий по рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, контроль за своевременной разработкой и соблюдением установленных нормативов, лимитов допустимого воздействия на окружающую среду и соответствующих разрешений и контроль за соблюдением нормативов допустимых и временно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в окружающую среду, является прямой задачей экологического контроля на цементном производстве [8].

В рамках экологического контроля должен контролироваться уровень оказываемого физического и биологического воздействия цементного производства на окружающую среду. Каждое цементное производство имеет различные устройства для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, многое зависит от руководства предприятия, от уровня эффективности экологической службы, от количества и качества реализуемых природоохранных мероприятий по защите окружающей среды.

Задачи охраны окружающей среды на цементном производстве

- снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- снижение выбросов пыли и газообразных выделений.

### **1.3 Современные методы охраны окружающей среды на цементном производстве**

На основании вышеизложенного становится очевидным, что цементное производство сопровождается значительными выбросами газов и запыленного воздуха, уровнем шума и другими неблагоприятными в экологическом плане воздействиями на людей и окружающую среду.

Выбросы пыли являются основными загрязняющими окружающую среду выбросами цементного производства. Общее количество пыли на цементных производствах достигает 30-40% от количества выпускаемой продукции.

Согласно установленным нормативам величина допустимого содержания пыли в воздухе помещений не должна превышать 0,04 мг / м<sup>3</sup>. При этом в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, концентрация пыли не должна быть более 0,06 г/ м<sup>3</sup>. Перечисленные требования по содержанию пыли в воздухе обеспечиваются при условии, когда агрегаты и связанные с ними транспортные устройства на цементном производстве, в процессе которых происходит выделение пыли, имеют аспирационные (пылеулавливающие) системы.

Главными источниками пылевыведения на цементном производстве являются отходящие газы тепловых агрегатов. Концентрация пыли в отходящих газах зависит от режима работы печей, конструкции теплообменных устройств и др. Очитка отходящих газов вращающихся печей производится в различных системах, в частности, в различных видах электрофильтров.

Принцип очистки газов от пыли на цементном производстве в электрофильтрах основан на воздействии электрического поля на газопылевую смесь, в результате которой происходит ионизация с образованием ионов и электронов. В результате столкновения ионов с частицами пыли ионы

приобретают отрицательный заряд и стремятся к стенкам осадительных электродов – пластинам или трубам фильтров. В результате такого воздействия выброшенная в воздух пыль собирается в установленные под электродами бункера, из которых удаляется системой конвейеров[19].

Электрофильтры изготавливаются вертикальными и горизонтальными. В вертикальных фильтрах запыленные газы движутся параллельно оси коронирующих электродов, в горизонтальных электрофильтрах запыленные газы движутся перпендикулярно к коронирующим электродам.

Горизонтальные электрофильтры могут быть двух-, трех- и четырехпольными. Во многих цементных производствах в настоящее время широко применяют горизонтальные трех-четырепольные электрофильтры, которые способны обеспечить высокую степень очистки газов.

Оптимальные показатели работы электрофильтров в рамках решения проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве обеспечиваются при влажности газов 20-30% и температуре до 200°C. Степень очистки запыленных газов в электрофильтрах достигает 97-98%, причем в электрофильтрах улавливаются частицы менее 10мкм[34].

Важно отметить при этом, что недостатками применения электрофильтров является постоянное использование электроэнергии, что выражается в существенных суммах платы за электроэнергию. Также стоит отметить достаточно высокую стоимость различных электрофильтров.

На цементном производстве в рамках решения проблемы охраны окружающей среды для очистки газов от пыли, образуемой при работе различных аппаратов, широко применяют циклоны[27].

Циклоны имеют простую конструкцию, отличаются надежностью в работе, температура очищаемых газов может достигать 450°C. Простейший циклон представляет собой цилиндр с конусом, внутри которого расположена труба. Газы, содержащие пыль, поступают через тангенциально расположенный патрубок и направляются в пространство между стенками цилиндра и трубы, приобретая вращательное движение. Твердые частицы

центробежной силой отбрасываются к стенкам цилиндра и соскальзывают вниз. Очищенный газ выходит через трубу. Степень очистки в циклоне составляет 70-80%, очень тонкие частицы не улавливаются.

Циклоны используются при двухступенчатой очистке газов (циклон – электрофильтр или циклон – рукавный фильтр). Эффективным решением проблемы охраны окружающей среды на цементных производствах для очистки запыленного воздуха из аспирационных камер цементных мельниц являются рукавные фильтры. В рукавных фильтрах запыленные газы попадают во вход, проходят внутрь рукавов из фильтрующей ткани.

Воздух проходит через ткань, в блоках фильтров работают вентиляторы и стоит заслонка, при этом пыль остается на внутренней поверхности рукавов. В рукавных фильтрах рукава собираются в секции, которые отделяются перегородками. По степени очистки газов от пыли рукавные фильтры при оптимальных условиях эксплуатации не уступают электрофильтрам. Предельная рабочая температура тканей рукавных фильтров обычно не превышает 100°C, при этом некоторые ткани в блоках фильтров (лавсан) выдерживают длительное повышение температуры до 150°C. Ткани легко замазываются при поступлении пыли с повышенной влажностью.

При этом стоимость рукавных фильтров существенно меньше и энергозатраты намного меньше по сравнению с электрофильтрами.

## **Глава 2. Оценка влияния цементного производства на загрязнение окружающей среды**

### **2.1 Источники загрязнения окружающей среды на цементном производстве**

В работе ранее рассматривались основные негативные факторы цементного производства. Также отмечалось, что эмиссия пыли является основным загрязняющим фактором в воздействии цементного производства на окружающую среду, кроме того, проблемой являются выделения газов.

Дисперсный состав пыли представляет собой характеристику состава дисперсной фазы, которая определяется по размерам или скоростям оседания частиц. Дисперсная фаза показывает, какую долю по массе, объему, поверхности или числу составляют частицы в любом диапазоне размеров или скоростей оседания. Дисперсный состав пыли может быть выражен в виде таблицы, кривой или формулы распределения частиц пыли. Степень дисперсности представляет качественный показатель, характеризующий «тонкость» пыли[6].

В качестве условных показателей дисперсии пыли, как основного источника загрязнения окружающей среды, используются удельная поверхность, средний диаметр частиц, медианный диаметр и другие величины. Данные показатели дисперсии цементной пыли определяются массовым содержанием частиц меньше заданного размера в отобранной из потока пробе.

Таким образом, необходимо отметить, что размер частиц цементной пыли является одной из основных характеристик, определяющих выбор типа аппарата или системы аппаратов для очистки газа на цементном производстве.

Данный показатель основан на том, что крупная пыль легче мелкой оседает из газового потока и может улавливаться в аппарате простейшего типа. Очевидно, что для очистки газа от крупной пыли достаточно одного очистного аппарата (фильтрующего механизма), для очистки от мелкой пыли требуется не один, но несколько аппаратов, установленных последовательно по ходу газов.

Необходимо при этом учитывать физико-химические свойства пыли на цементном производстве. Физико-химические свойства пыли на цементном производстве делятся на следующие группы по источникам [30]:

1. Пыли могут образовываться при дроблении и транспортировке сырья; данные виды пыли имеют грубодисперсные компоненты (около 70 % частиц крупнее 5 мкм), которые оказывают существенное воздействие на температуру и влажность окружающей среды в цементном производстве.

2. Пыли образуются в сушильных барабанах пыли сырья и добавок, данные виды пыли имеют повышенное влагосодержание (температура точки росы достигает в среднем 40-60 ° С), имеют большой диапазон колебаний концентрации аэрозоля в среднем 15-70м<sup>3</sup>.

3. Пыль в сырьевых мельницах содержится в высокой концентрации в среднем до 500 г/м<sup>3</sup> и характеризуется огромным количеством частиц тонких фракций от 5 мкм до 65 %. Такие мелкие частицы требуют более совершенных очистных устройств (или применения нескольких видов устройств) для фильтрации воздуха, чем крупные виды цементной пыли.

4. Пыли при сухом способе производства во вращающихся печах пыли имеют тонкий дисперсный состав частиц от 5 мкм до 75%. Данные виды пыли имеют высокое удельное электрическое сопротивление до 109 Ом-м и низкое влагосодержание (температура точки росы 29-44°С).

5. Пыль во вращающихся печах с конвейерными кальцинаторами имеет пониженное влагосодержание (температура точки росы в среднем 32-48 °С) и содержат грубодисперсные частицы (80 % частиц размером свыше 5 мкм).

6. Пыль в клинкерных холодильниках пыль имеет низкое содержание влаги (температура точки росы в среднем 30 °С), данный вид пыли имеет широкий диапазон колебаний температур от 90 до 290 °С и характеризуется содержанием грубодисперсных частиц (80 % частиц размером свыше 5 мкм).

7. Пыль в цементных мельницах имеет высокую входную концентрацию, которая достигает до 960 г/м<sup>3</sup>, данный вид пыли характеризуется тем, что для фильтрации и пылеудаления необходимы мощные очистные устройства.

Важно учитывать при этом, что большая часть пыли на цементном производстве, более 80 % поступающей пыли в атмосферу, выбрасывается за счет вращающихся печей обжига клинкера, остальное количество пыли (менее 20 %) выбрасывается в воздух цементными и сырьевыми мельницами (сухого способа производства), дробильно-сушильными установками, также силосами хранения сырьевых материалов, добавок, клинка и цемента[24].

Таким образом, четкое знание источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, особенно знание источников выбросов различных видов пыли на цементном производстве позволит подобрать наиболее эффективные устройства для фильтрации и очистки воздуха в рамках решения проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве.

## **2.2 Особенности влияния цементного производства на окружающую среду**

Ранее в работе было показано, что все цементное производство сопровождается большим пылевыделением и выбросом вредных веществ в атмосферный воздух, что и является основными проблемами охраны окружающей среды цементного производства, требующими решения.

Цементные производства в основном загрязняют атмосферный воздух цементной и кварцсодержащей пылью. Основными проблемами негативного воздействия цементного производства на окружающую среду являются: выбросы из труб – пыль, вредные газы, шум, запах, отходы и др. [18].

Наиболее опасным являются выбросы пыли в атмосферу. Источником загрязнения окружающей среды в основном считаются печи в которых происходит обжиг, клинкерные холодильники, мельницы в которых происходит помол цемента. К образованию пыли или смеси газа с пылью приводит то, что в процессе производства цемента через материал, который измельчен до пылеобразного состояния проходит отработанный горячий газ.

На различных стадиях технологического процесса образовывается дисперсный газ и пыль, что вызывает большое загрязнение атмосферы.

Основные технологические процессы цементного производства – измельчение и термическая обработка шихт, полуфабрикатов и продуктов в потоках горячих газов – и приводит к выбросам пыли в атмосферу. При работе вращающихся печей на цементном производстве выброс пыли достигает более 82 % к весу сухого сырья, запыленность газа составляет 10-60 г/м<sup>3</sup>, четверть сырьевой массы, частично обожженной, выбрасывается в воздух [23].

Процесс производства портландцемента в целом складывается из следующих основных операций, на каждой из которой производятся выбросы загрязняющих веществ в атмосферу [11]:

- добыча сырьевых материалов;
- приготовления сырьевой смеси, состоящей из дробления, помола и усреднения состава смеси;
- обжиг сырьевой смеси (получение клинкера);
- помол клинкера в тонкий порошок.

При мокром способе производства клинкера измельчение сырьевых материалов, их перемешивание, усреднение и корректирование сырьевой смеси осуществляются в присутствии определенного количества воды, при сухом способе все перечисленные операции выполняются с сухими материалами.

При комбинированном способе сырьевую смесь готовят по мокрому способу, затем максимально обезвоживают (фильтруют) на специальных установках и в виде полусухой массы обжигают в печи. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки.

Способ производства портландцемента выбирают в зависимости от технологических и технико-экономических факторов: свойств сырья, однородности и влажности, наличия достаточной топливной базы и др. [21].

К недостаткам мокрого способа изготовления цемента относится высокий расход топлива на обжиг – в 1,5-2 раза больший, чем при сухом. Следовательно, при мокром производстве цемента производится больший выброс дисперсной пыли и газа в атмосферный воздух. Выбросы загрязняющих веществ при мокром способе производства цемента являются очень существенными.

Цементная промышленность входит в число наиболее вредных для окружающей среды производств. Наиболее опасными и негативными воздействиями цементного производства на окружающую среду являются [32]:

- выбросы пыли из дымовых труб и быстроиспаряющиеся компоненты);
- газообразные выбросы в атмосферу (диоксид серы, диоксида азота, диоксид углерода и другие газовые выбросы);
- выбросы пыли (особенно от печей обжига клинкера).

Перечисленные выбросы являются существенными факторами загрязнения окружающей среды на цементном производстве.

Наименование сырья	Наименование производства, где используется сырье	Единица измерения	Потребление сырья на 2020г.
Известняк и сланцы	Дробильно-сырьевой цех	тыс.т	1315.865
Зола	Дробильно-сырьевой цех	тыс.т	27
Пиритные огарки	Дробильно-сырьевой цех	тыс.т	23
Гипсовый камень	Цех «Помол»	тыс.т	52
Шлак	Цех «Помол»	тыс.т	178
Природный газ (I вариант)	Цех «обжиг»	тыс. м <sup>3</sup>	162930
Природный газ (II вариант)	Цех «обжиг»	тыс. м <sup>3</sup>	15000
Мазут марки М-100	Цех «обжиг»	т	10000
Каменный уголь	Угольная фабрика	т	310906
Мазут марки М-100	РМЦ	т	36
Каменный уголь	РМЦ	т	1,5
Бензин	ОАО «КЦЗ»	т	160
Дизельное топливо	ОАО «КЦЗ»	т	1700
Керосин	ОАО «КЦЗ»	т	16
Электроды УОНИ-13/65	ОАО «КЦЗ»	кг	12425
Электроды МР-3	ОАО «КЦЗ»	кг	10603
Пропан-бутановая смесь	ОАО «КЦЗ»	кг	7888
Карбид	ОАО «КЦЗ»	кг	100
Наплавочный материал М1	РМЦ	кг	150

Рисунок 1 – Расход сырья цементного производства по видам продукции [12]

Пыль является основной проблемой цементного производства. В цементной пыли обнаруживается тяжелый металл таллий, ртуть и прочие вредные вещества. Таллий и соединения являются более летучими и накапливаются в верхней части подогревателей, где могут накапливать и частично выбрасываются с отходящими газами через фильтр. Ртуть и соединения являются наиболее летучими металлами и способны проходить, не адсорбируясь, через печь и теплообменники и выбрасываются в воздух [9].

Важно понимать, что цементная пыль раздражает кожу и слизистые оболочки и вызывает зуд, жжение и кожные раздражения ввиду аллергенов. Основные пути попадания пыли в организм – через дыхательные пути и желудочно-кишечный тракт при вдыхании или проглатывании.

Также стоит учитывать, что щелочная основа цемента и высокая аллергенность хроматов, присутствие водорастворимого шестивалентного хрома, являющегося по канцерогенным продуктом, вызывает нарушение работы иммунной системы и может привести к серьезным заболеваниям дыхательных путей и слизистых оболочек носоглотки и полости рта[21].

Цементная пыль при попадании в бронхи и далее вызывает изменения легочной ткани, что приводит к необратимым функциональным изменениям легких. Как показывает практика, среди производственных рабочих цементной промышленности часто встречаются люди хроническим бронхитом[38].

Раздражающий эффект, вызванный щелочной средой цементной пыли, нередко сопровождается обструкционными изменениями дыхательных путей. Исследования показали, что у производственных рабочих цементного производства обычно повышенная заболеваемость раком горла и гортани [33].

Цементная пыль оказывает существенное воздействия на растительность, пылевые частицы, забивая устьичный аппарат растений, приводят к ухудшению жизненного состояния, что отражается в темпах роста и развития растительности. Растительность в зоне влияния выбросов цементного производства испытывает изменение видового состава растений вследствие загрязнения, антропогенную трансформацию растительных сообществ, также угнетение жизненного состояния по мере удаления от объекта загрязнения[5].

Таким образом, можно сделать общий вывод, что влияние цементного производства на окружающую среду может касаться:

- рабочих, занятых в цементном производстве (в основном заболевание дыхательных путей вследствие пыли);
- проживающих людей недалеко от объекта производства;
- растительность, находящаяся рядом с цементным производством.

## 2.3 Виды загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, на цементном производстве

Основные выбросы от производства цемента представляют собой выбросы в воздух, возникающие во время работы цементной печи. Выбросы образуются в результате физических и химических реакций сырья и топлива.

Основными составляющими отходящих газов являются:

- диоксид азота (NO<sub>x</sub>),
- диоксид серы (SO<sub>2</sub>),
- диоксид углерода (CO<sub>2</sub>),
- летучие органические соединения (VOCs),
- аммиак, HCl, и тяжелые металлы (в меньшей степени).

Диоксид углерода представляет собой газ, который в значительных количествах выделяется на различных циклах производства [18].

Выбросы от работы цементной печи включают выбросы, образующиеся при горении и выбросы в результате производственного процесса. Во всех цементных печах твердый материал перемешивается с топочными газами. Такое смешивание влияет на выброс загрязняющих веществ так как твердый материал выполняет роль встроенного очистителя воздуха, который абсорбирует газы или на поверхности которого они конденсируются [15].

Диоксид азота получается при горении в результате реакции азота с кислородом, присутствующем в воздухе, используемом для горения или в топливе. Тепловые выделения диоксида азота образуются при температуре выше 1200 °С и преобладают из-за применения высоких температур в цементных печах. Оксид азота составляет около 95 %, диоксид азота составляет около 5 %. Выбросы диоксида серы на цементном производстве обусловлены наличием летучей серы в сырьевом материале. Сера в виде диоксида серы выбрасывается со стороны низкой температурной части печи. При высоких температурах сера, присутствующая в сырье в виде сульфатов, распадается частично и практически полностью забирается из печи с клинкером [14].

Образование пыли (включая твердые частицы) является, как уже отмечалось ранее, ключевой проблемой на цементном производстве. Основными источниками пыли являются дымовые трубы цементных печей. Кроме этого, возникают некоторые направленные выбросы пыли, связанные с измельчением (сырья, топлива, цемента), и рассеянные выбросы, которые могут возникнуть в результате хранения и погрузки сырья, топлива, клинкера, цемента.

Ранее уже отмечалось, что горячий отработанный газ или отработанный воздух проходит через измельченный до состояния пыли материал, что приводит к образованию дисперсионной смеси газа и пыли. Основные свойства частиц зависят от исходного материала, клинкера или цемента.

Пылеобразование происходит в меньшей степени на стадиях хранения и погрузки сырья и готовой продукции, то есть в транспортной системе, складских запасах, во время движения подъемного крана, упаковки в мешки, в процессе транспортировки, во время движения транспорта по грунтовым дорогам. Источником образования цементной пыли являются печи обжига клинкера, в которой минералы сырьевой смеси под воздействием высоких температур превращаются в новые минералы с гидравлическими свойствами. Мелкие частицы сырьевой смеси переносятся из холодной части печи в теплую, дымовые газы двигаются в обратном направлении: из горячей части в холодную. При обжигании в цементной печи сырьевая смесь высушивается, подогревается, сжигается и спекается в клинкер, который затем быстро охлаждается воздухом и складировается. Химические процессы при производстве цемента начинаются с распада карбоната кальция при температуре 900 °С, в результате которого образуется оксид кальция (CaO) и выделяется углекислый газ (CO<sub>2</sub>). Данный процесс представляет собой кальцинирование.

Далее начинается процесс производства клинкера: при высоких температурах (температура достигает в среднем 1400-1500 °С) оксид кальция вступает в реакцию с диоксидом кремния, оксидом алюминия и оксидом железа

для образования силикатов, алюминатов и ферритов кальция, которые и составляют клинкер, после этого клинкер быстро охлаждают[25].

Таким образом, можно сделать основные выводы по негативному воздействию цементного производства на окружающую среду.

В рамках решения проблем охраны окружающей среды на цементном производстве снижение негативного воздействия цементного производства на окружающую среду осуществляется по следующим направлениям:

- предотвращение дальнейшего загрязнения и уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- предотвращение загрязнения водных объектов;
- снижение образования отходов производства.

В рамках решения проблемы охран окружающей среды на цементном производстве необходимо учитывать, что цементная промышленность входит в число наиболее вредных для окружающей среды производств.

Наиболее опасными и негативными воздействиями цементного производства на окружающую среду являются:

- выбросы пыли из дымовых труб и быстроиспаряющиеся компоненты);
- газообразные выбросы в атмосферу (диоксид серы, диоксида азота, диоксид углерода и другие газовые выбросы);
- выбросы пыли (особенно от печей обжига клинкера).

Основными выбросами от производства цемента являются выбросы в воздух, возникающие во время работы цементной печи. Выбросы образуются в результате физических и химических реакций сырья и топлива. Основными составляющими отходящих газов цементного производства являются:

- диоксид азота (NO<sub>x</sub>),
- диоксид серы (SO<sub>2</sub>),
- диоксид углерода (CO<sub>2</sub>),
- летучие органические соединения (VOCs),
- аммиак, HCl, и тяжелые металлы (в меньшей степени).

## Глава 3. Состояние окружающей среды на цементном производстве в г. Пикалево Ленинградской области

### 3.1 Характеристика цементного производства г. Пикалево Ленинградской области

В настоящей работе рассматривается деятельность цементного производства в г. Пикалево, предприятия АО «Пикалевский цемент», который в 2005 году вошел в состав крупного холдинга «Евроцемент групп».

АО «Пикалевский цемент» является крупнейшим производителем цемента европейского качества в Северо-Западном федеральном округе и занимает лидирующие позиции на региональном рынке цемента. Завод «Пикалевский завод» начал свою деятельность еще в 1930 году, после чего было несколько изменений и производственных преобразований предприятия.

АО «Пикалевский цемент» зарегистрирован, как акционерное общество в 2003 году и в 2005 году, как уже отмечалось ранее, вошел в состав крупнейшего холдинга «Евроцемент групп».

На предприятии работает 383 сотрудника по состоянию на 2020 год, расположение предприятия приводится на рисунке 2.

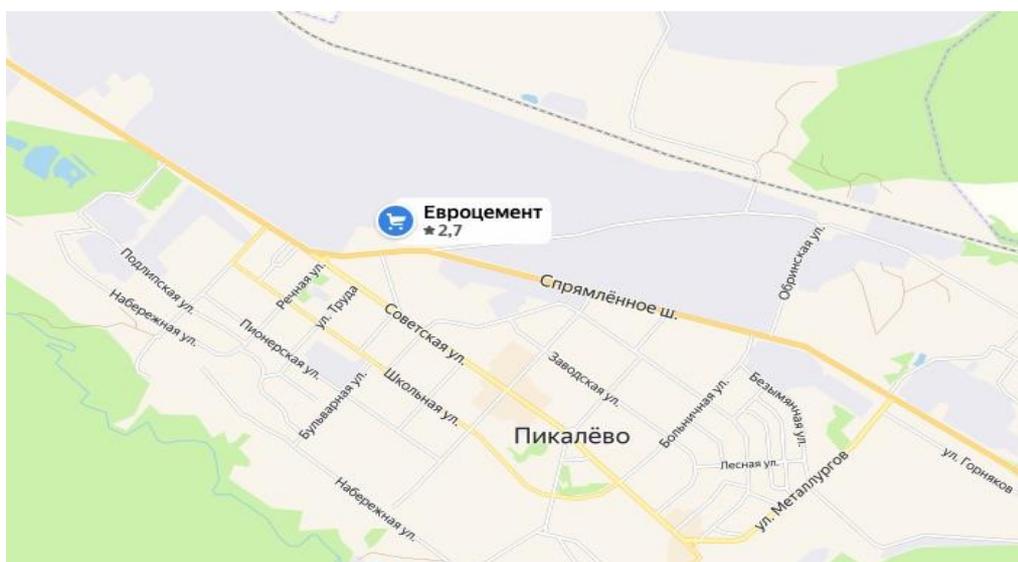


Рисунок 2 – Расположение цементного производства в г. Пикалево

Основной вид деятельности АО «Пикалевский цемент» по классификатору ОКВЭД – 23.51 «Производство цемента».

Отрасль производства – промышленность, строительные материалы.

Категория – производство строительных материалов и изделий.

Подкатегория – производство цемента, сухих смесей.

В производстве цемента АО «Пикалевский цемент» применяет новую технологию приготовления сырьевой смеси с использованием нефелинового (белитового) шлама (побочного продукта глиноземного производства) вместо глины. На производстве цемента на анализируемом предприятии применяется мокрый метод. Цемент производится из сырья, добываемого в собственных карьерах рядом с заводом «Пикалевский цемент».

На всю продукцию предприятия есть сертификация соответствия по ГОСТ 31108-2020, ГОСТ 31108-2016 и ГОСТ 10178-85.

Производимый предприятием АО «Пикалевский цемент» строительный цемент обладает высокими качественными характеристиками, демонстрирует высокую раннюю прочность и прочность в готовом объекте. Характеризуется первой группой пропаривания и отсутствием «ложного схватывания».

Цемент предприятия демонстрирует такие качества, как низкий удельный расход в бетоне, высокую удобоукладываемость, которая обеспечивают хорошую подвижность бетонной смеси, радиационную безопасность.

Продукция предприятия АО «Пикалевский цемент» отличается преимуществами, в частности – возможностью подбора оптимальных сырьевых смесей и широким ассортиментом производимого цемента.

В производстве осуществляется строгий контроль качества продукции на всех этапах производства. Также на предприятии АО «Пикалевский цемент» сертифицирован выпуск цемента ПЦ 500-Д0-Н, который оптимально подходит для производства бетонов для дорожных и аэродромных покрытий, мостовых конструкций, железобетонных шпал, контактной сети железнодорожного транспорта и освещения. Продукция предприятия АО «Пикалевский цемент» применяется при строительстве крупных объектов, домов, зданий.

Предприятие АО «Пикалевский цемент» выпускается следующие виды продукции (виды цементов) (рисунок 3).

ГОСТ 31108-2020		
ЦЕМ 0 42,5Н	портландцемент без вспомогательных компонентов и минеральных добавок типа ЦЕМ 0	- класс прочности 42,5, - нормально-твердеющий.
ЦЕМ I 42,5Н	портландцемент типа ЦЕМ I	- класс прочности 42,5, - нормально-твердеющий.
ГОСТ 31108-2016		
ЦЕМ I 42,5Н	портландцемент типа ЦЕМ I	- класс прочности 42,5, - нормально-твердеющий.
ЦЕМ II/A-III 32,5Б	портландцемент типа ЦЕМ II, подтип А со шлаком (Ш) от 6 % до 20 %	- класс прочности 32,5, - быстро-твердеющий.
ГОСТ 10178-85		
ПЦ 500- Д0-Н	- портландцемент марки 500, бездобавочный	на основе клинкера нормированного состава

Рисунок 3 – Продукция, производимая на цементном производстве

Таким образом, можно сделать вывод, что предприятие АО «Пикалевский цемент» является успешным производственным предприятием, специализирующимся на производстве различных видов цемента. Продукция предприятия пользуется большим спросом, предприятие занимает лидирующие позиции на региональном рынке в Северо-Западном федеральном округе.

Производство цемента на цементном производстве соответствует требованиям экологической безопасности, однако в рамках анализа проблем охраны окружающей среды необходимо провести анализ вредных факторов производства и используемых на предприятии способов и методов обеспечения снижения вредных выбросов в атмосферу.

Цементное производство является эффективным экономическим видом деятельности. Чистые активы предприятия АО «Пикалевский цемент» составляют 2407,8 млн. руб. по состоянию на конец 2020 года, внеоборотные активы составляют 2204,7 млн. руб. Всего активы предприятия за 2020 год составили 3163,2 млн. руб. по данным финансовой отчетности [41].

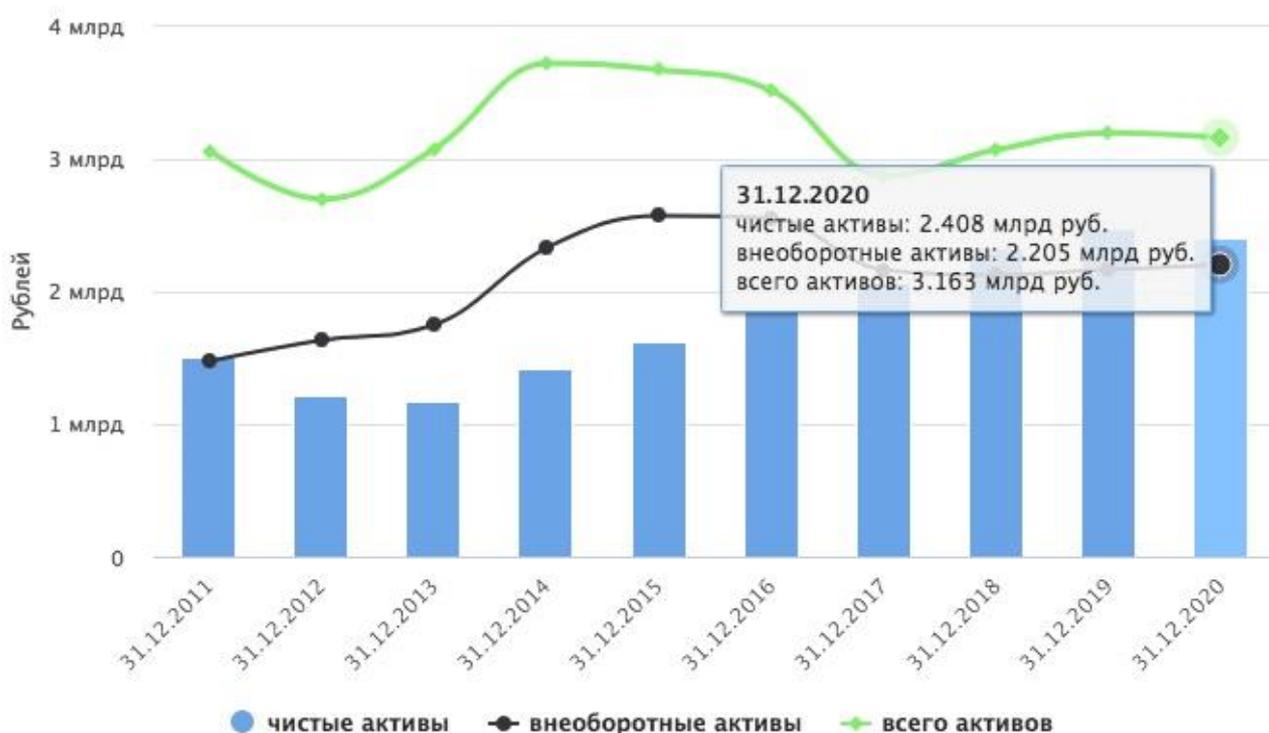


Рисунок 4 – Финансовое состояние АО «Пикалевский цемент» [41]

Необходимо отметить при этом, что чистая прибыль цементного производства снижается за последние 10 лет (рисунок 4).

Выручка предприятия АО «Пикалевский цемент» за 2020 год составила 2330,0 млн. руб., при этом снижение выручки в 2020 году по отношению к 2019 году составило -527,8 млн. руб. В результате высокой себестоимости, существенного роста коммерческих расходов и управленческих расходов, чистая прибыль предприятия в 2020 году составила всего 105,2 млн. руб.

Снижение чистой прибыли предприятия в 2020 году по отношению к 2019 году составило -42,6 млн. руб. Таким образом, эффективность деятельности цементного производства снижается за период.

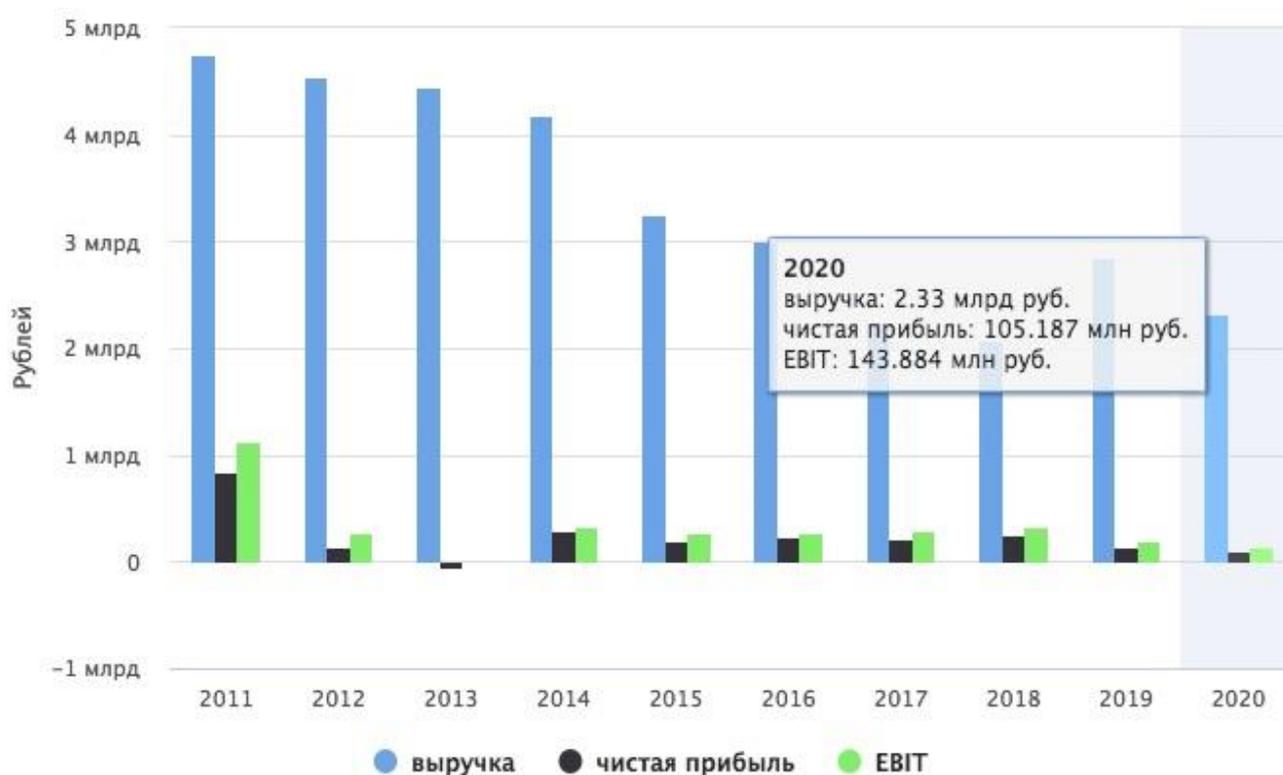


Рисунок 5 – Финансовые результаты деятельности предприятия АО «Пикалевский цемент» за последние 10 лет [41]

Анализ финансовых результатов деятельности предприятия АО «Пикалевский цемент» за период 2018-2020 годы приводится в таблице 1.

Снижение выручки предприятия АО «Пикалевский цемент», как уже отмечалось ранее, является существенным и в 2020 году по отношению к 2019 году составило -527802,0 тыс. руб., -18,5 %. Снижение себестоимости за этот же период составило -305065,0 тыс. руб., -18,0 %.

У предприятия очень высокие коммерческие и управленческие расходы за анализируемый период, при этом происходит снижение прибыли от продаж в 2020 году по отношению к 2019 году на -18757,0 тыс. руб., на -11,0 %.

Также можно отметить существенный рост прочих расходов предприятия АО «Пикалевский цемент» в 2020 году по отношению к 2019 году, рост составил 35449,0 тыс. руб., 14,2 %. В результате снижение прибыли до налогообложения составило -40146,0 тыс. руб., -24,0 % в 2020 году по отношению к 2019 году. Снижение чистой прибыли за период составило -42621,0 тыс. руб., -28,8 %, что является существенным снижением.

Таблица 1 – Анализ финансовых результатов предприятия АО «Пикалевский цемент» за 2019-2020 годы, тыс. руб.[41]

	2018 год	2019 год	2020 год	Отклонение		Отклонение	
				2019 к 2018	2019 к 2018, %	2020 у 2019	2020 к 2019 %
Выручка	2071157,0	2857841,0	2330039,0	786684,0	138,0	-527802,0	81,5
Себестоимость	1183186,0	1696390,0	1391325,0	513204,0	143,4	-305065,0	82,0
Валовая прибыль	887971,0	1161451,0	938714,0	273480,0	130,8	-222737,0	80,8
Коммерческие расходы	601336,0	873991,0	672769,0	272655,0	145,3	-201222,0	77,0
Управленческие расходы	119394,0	117302,0	114544,0	-2092,0	98,2	-2758,0	97,6
Прибыль от продаж	167241,0	170158,0	151401,0	2917,0	101,7	-18757,0	89,0
Проценты к получению	13,0	0,0	0,0	-13,0	0,0	0,0	0,0
Проценты к оплате	33156,0	31200,0	16879,0	-1956,0	94,1	-14321,0	54,1
Прочие доходы	274478,0	278642,0	278381,0	4164,0	101,5	-261,0	99,9
Прочие расходы	104265,0	250449,0	285898,0	146184,0	240,2	35449,0	114,2
Прибыль до налогообложения	304311,0	167151,0	127005,0	-137160,0	54,9	-40146,0	76,0
Текущий налог на прибыль	48724,0	31209,0	21814,0	-17515,0	64,1	-9395,0	69,9
Чистая прибыль	258123,0	147808,0	105187,0	-110315,0	57,3	-42621,0	71,2

Таким образом, несмотря на выручку в 2,330 млрд. руб., цементное производство имеет чистую прибыль в 2020 году в размере 105,2 млн. руб. Доля чистой прибыли в структуре финансовых результатов предприятия составила всего 4,5 % в 2020 году.

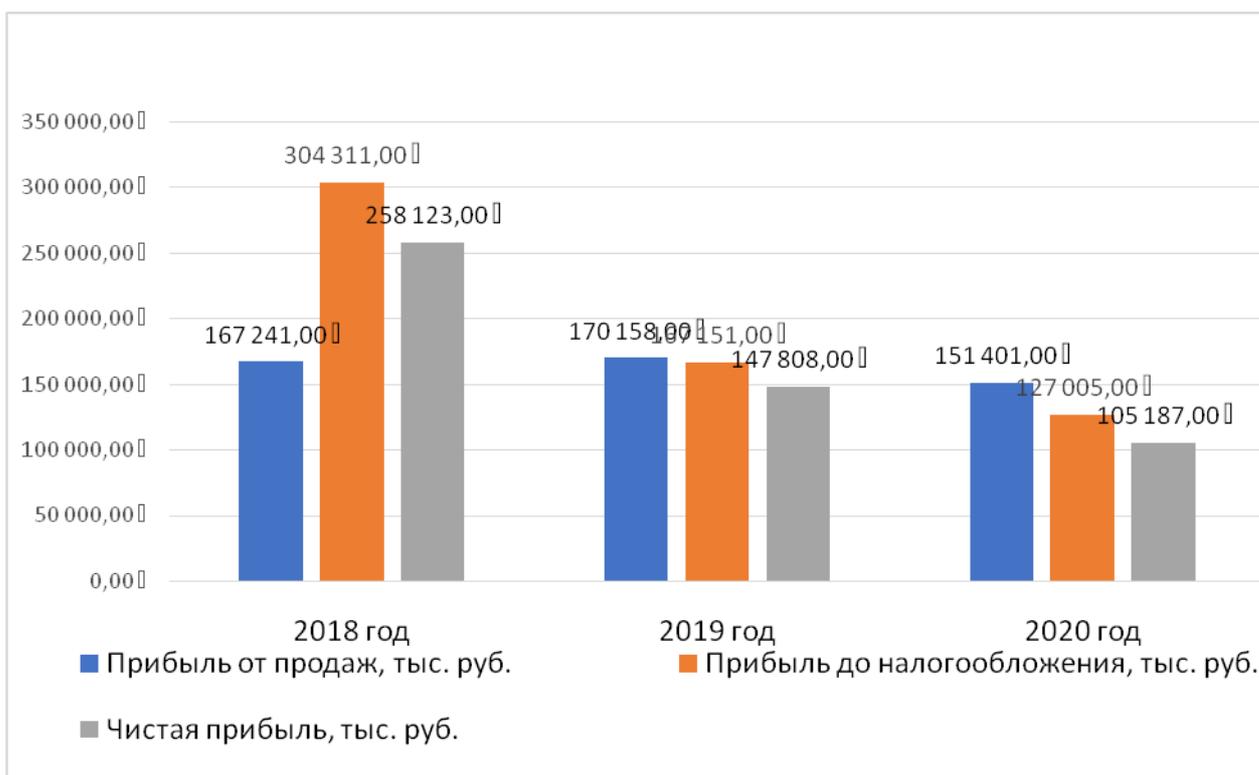


Рисунок 6 – Финансовые результаты предприятия «Слесарно-механическая компания» за 2018-2020 годы

Показатели рентабельности предприятия АО «Пикалевский цемент» за 2018-2020 годы приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ показателей рентабельности предприятия АО «Пикалевский цемент» за 2018-2020 годы, (в %)

Финансовый показатель	2018 год	2019 год	2020 год
ЕВИТ	337467,0	198351,0	143884,0
Рентабельность продаж (прибыли от продаж в каждом рубле выручки)	8,1 %	6,0 %	6,5 %
Рентабельность собственного капитала (ROE)	12,0 %	6,0 %	4,0 %
Рентабельность активов (ROA)	8,7 %	4,7 %	3,3 %

Все показатели рентабельности предприятия АО «Пикалевский цемент» снижаются в 2020 году по отношению к 2019 году, что говорит о снижении эффективности деятельности предприятия за период.

### 3.2 Анализ цементного производства г. Пикалево Ленинградской области

Как было показано ранее в работе, предприятие АО «Пикалевский цемент» является достаточно крупным и успешным предприятием в сфере деятельности – производство цемента. Численность персонала предприятия составляет по состоянию на 2020 год 383 человека. Промышленная площадка предприятия расположена недалеко от г. Пикалево, на Спрявленном шоссе.

Производство цемента расположено на северном выезде из города, только с южной стороны на расстоянии более, чем 700 м находится город Пикалево, с жилыми многоэтажными домами, индивидуальными участками огородов.

Предприятие самостоятельно добывает сырье для производства цемента в карьере, находящемся в непосредственной близости к заводу. Ориентировочная санитарно-защитная зона цементного производства составляет:

- карьер по добыче известняка, мергеля, глины, мела – 300 м.;
- производство цемента – 500 м.;
- промышленная зона – 200 м.;
- городские постройки – 700 м.

Завод цементного производства работает по мокрому способу производства цемента, как уже отмечалось ранее, и оснащен тремя вращающимися печами размером 5 на 180 м., средняя производительность каждой печи – более 60 тонн / час. Годовая мощность производства цемента цементного производства составляет более 600 тыс. тонн в год.

Основные сырьевые материалы, применяемые в производстве цемента – известняк и глина, которые добываются на собственном карьере цементного производства. На карьере осуществляются буровзрывные работы, погрузочные работы, функционируют склады промежуточного хранения и полигон для захоронения нетоксичных производственных отходов.

Для корректировки химического состава сырьевой смеси в производстве цемента применяются железосодержащие добавки.

Организационная структура управления приводится на рисунке 7.



Рисунок 7 – Организационная структура управления предприятия АО «Пикалевский цемент»

Горный цех предприятия включает карьер и складские помещения, в которых осуществляется хранение добываемых в карьере материалов. На карьере производятся буровзрывочные и погрузочные работы. У предприятия свои транспортные средства для перевозки сырья, погрузка взорванной массы на транспортные средства ведется электрическими экскаваторами.

Доставка известняка или мергеля с горного цеха в дробильный цех осуществляется седельными тягачами грузоподъемностью до 20 тонн.

В дробильном цехе предприятия осуществляется первичное дробление в щековой дробилке, размеры породы составляют 900 мм, на выходе из дробилки куски породы составляют в среднем 140 мм. Далее осуществляется вторичное дробление в молотковой дробилке с двухступенчатой системой очистки.

Далее измельченное сырье подается в сырьевой цех ленточным транспортером и сырье сыпается по металлической течке.

В сырьевом цехе осуществляет помол известняка, глиняного шлама и вместе с водой производится сырьевой шлам. Сырьевой шлам подается в горизонтальные бассейны, в которых осуществляется приготовление рабочего шлама с последующей подачи в цех обжига, на вращающиеся печи.

В сырьевой мельнице производится помол сырья и сушка сырья при помощи вертикальной мельницы со встроенным сепаратором. Измельченный материал передается потоком горячего воздуха в циклоны осадители.

На данном этапе производства осуществляется существенный выброс в атмосферный воздух цементная пыль, которая является вредным фактором.

В цехе обжига осуществляется обжиг сырьевой смеси и получение клинкера, что является основными стадиями цементного производства. Тонкоизмельченная высушенная сырьевая смесь обжигается во вращающихся цементно-обжигательных печах при температуре 1400 °С.

Получившийся в результате обжига камнеподобный продукт (клинкер) представляет собой минерологическую структуру. Далее осуществляется охлаждение клинкера, для чего применяются колосниковые холодильники.

Далее охлажденный клинкер передается в цех помола.

В цехе помола осуществляется непосредственно помол цемента, что представляет собой завершающую стадию цементного производства. Для каждой установки помола цемента в цехе установлены дозирующие бункеры различной емкости и разного диаметра. Дозирующие бункеры в цехе помола установлены отдельно для клинкера, для гипса и для опоки.

В цехе готовой продукции создается запас готового цемента, который хранится в двухкамерных силосах с центральным конусом, с внешней и внутренней камерами. Хранение цемента осуществляется в блоках цемсилосов.

Из цеха готовой продукции цементного производства осуществляется упаковка и отгрузка тарированного и навалального цемента через упаковочные линии на автомобильный и железнодорожный транспорт.

Очевидно, что цементное производство оказывает негативное воздействие на окружающую среду, прежде всего, вредными выбросами, которые влияют на атмосферный воздух. Как было показано ранее в работе, технологический процесс цементного производства, включает множество стадий.

Состояние окружающей среды цементного производства зависит от химических и физических свойств применяемого сырья и от выбранного способа производства цемента. На цементном производстве функционирует производство вращающихся печей с глиной и известняком, как было показано ранее в работе. После того, как глина и известняк выходят из дробилки происходит процесс сушки до 1% влагосодержания, после чего осуществляется процесс измельчения. Помол и сушка на анализируемом производстве осуществляются осуществлялись в одной сепараторной мельнице, то есть в производстве совмещены помол и сушка сырья для производства цемента.

После того как сырьевая смесь подготовлена и высушена, данная смесь является готовой для производства конечного продукта – цемента. Подготовленная смесь направляется в циклонные теплообменники, где проходит несколько технологических этапов. Смесь находится в системе теплообменника не более 30 секунд, далее смесь поступает в печь для обжига.

После обжига получившийся продукт (клинкер) направляется для охлаждения в холодильную камеру, где обрабатывается холодным воздухом. После того как клинкер охлажден, клинкер поступает на склады, после чего в цехе помола осуществляется завершающая стадия производства цемента.

На цементном производстве применяется изготовление цемента мокрым способом (Приложение 1).

Таким образом, можно сделать вывод, что анализируемое цементное производство имеет высокотехнологичное и современное оборудование, которое применяет для производства цемента.

В сырьевой мельнице производится помол сырья и сушка сырья при помощи вертикальной мельницы со встроенным сепаратором. На данном этапе производства осуществляется существенный выброс в атмосферный воздух цементная пыль, которая является вредным фактором. Также особенно вредным являются выбросы, которые происходят от печи обжига (рисунок 5).

### **3.3 Анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на цементном производстве**

Несмотря на хорошо организованный процесс производства цемента, данное производство является очень вредным для окружающей среды и особенно по факторам выброса в атмосферный воздух.

Необходимо проанализировать показатели выбросов загрязняющих веществ, которые происходят на цементном производстве.

Суммарный валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу цементного производства составил в 2020 году 1734 тонн.

Таблица 3 – Суммарный выброс загрязняющих веществ цементного производства за 2020 год, тонн в год

Наименование ЗВ	Фактический выброс, тонн	Доля, %
Диоксид азота (NO <sub>x</sub> )	721,00	41,58
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	612,00	35,29
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	172,00	9,92
Пыль неорганическая (цементная, SiO <sub>2</sub> )	145,00	8,36
Летучие органические вещества (VOC)	84,00	4,84
Итого	1734,00	100,00

В соответствии с данными, приведенным в таблице 3 можно отметить, что наибольшее количество суммарного выброса имеют следующие вещества цементного производства г (рисунок 8):

- диоксид азота – 41,58 % от общего суммарного выброса загрязняющих веществ цементного производства;
- диоксид углерода – 35,29 % от общего суммарного выброса загрязняющих веществ производства;
- диоксид серы – 9,92 % от общего суммарного выброса;
- пыль неорганическая (цементная) 8,36 % от суммарного выброса;
- летучие органические вещества – 4,84 % от общего суммарного выброса.

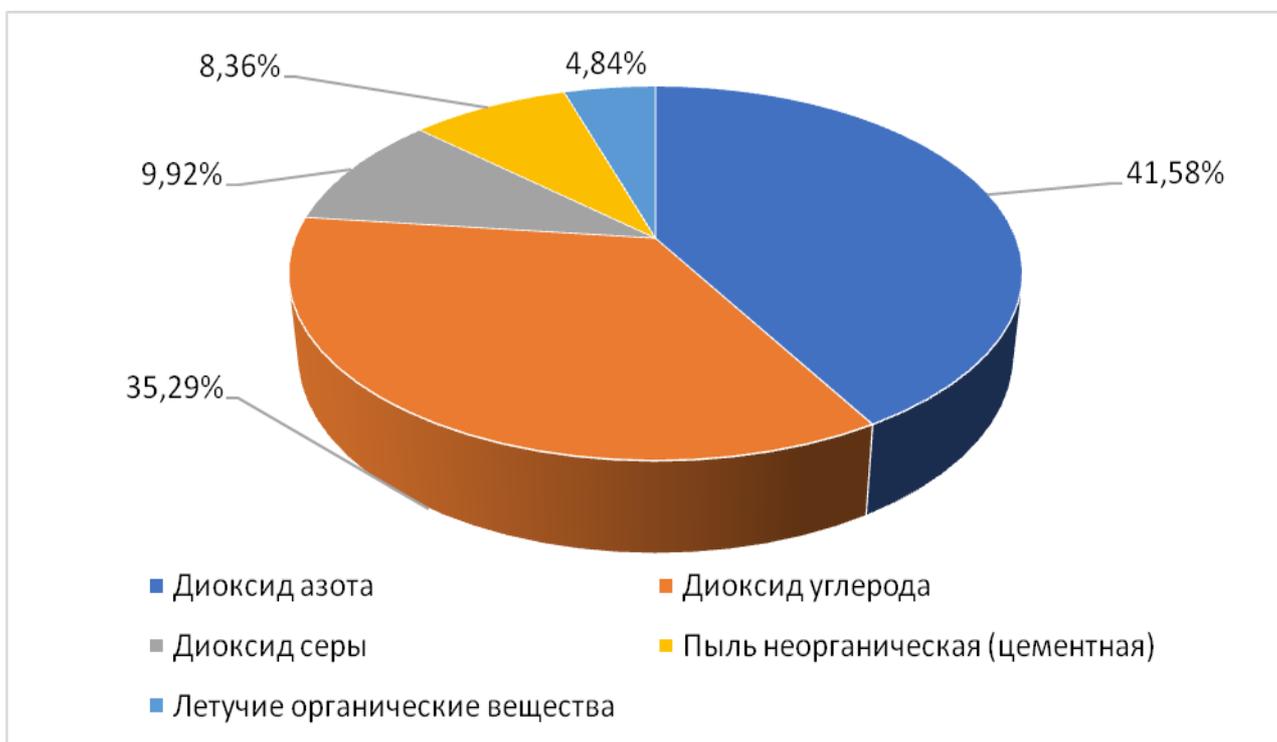


Рисунок 8 – Загрязняющие вещества цементного производства с наибольшим суммарным выбросом за 2020 год, в %

Необходимо подчеркнуть, что, прежде всего, основные технологические процессы цементного производства цемента сопровождаются выделением большого количества пыли. Именно поэтому в рамках разработки природоохранных мероприятий необходима разработка и внедрение системы

фльтрации воздушных потоков и очистки загрязняющих выбросов в окружающую среду цементного производства.

Источниками пылевыведения на цементном производстве служат практически все производственное оборудование:

- вращающиеся печи обжига,
- мельницы, сушильные, дробильные установки,
- склады сырья, топлива, добавок, клинкера, цемента,
- упаковочные машины цемента,
- узлы пересыпок и сброса пылящих материалов при транспортировании,
- посты выгрузки цемента в железнодорожные вагоны и автотранспорт.

Таким образом, неорганическая цементная пыль является ключевой проблемой в загрязнении окружающей среды цементного производства.

## **Глава 4. Методы охраны окружающей среды на цементном производстве г. Пикалево Ленинградской области**

### **4.1 Анализ методов и способов очистки загрязняющих выбросов цементного производства**

На современном этапе в рамках решения проблем охраны окружающей среды на цементном производстве применяются различные методы фильтрации для очистки воздушных потоков на цементном производстве.

Наиболее эффективными являются методы [17]:

- методы уменьшения выбросов NO при производстве цемента;
- методы снижения выбросов SO<sub>2</sub> в окружающую среду;
- методы снижения тяжелых металлов.

Способы очистки загрязняющих выбросов цементного производства на современном этапе включают следующие основные средства [24]:

- рукавные фильтры,
- зернистые фильтры,
- электрофильтры,
- пылеуловители,
- циклоны.

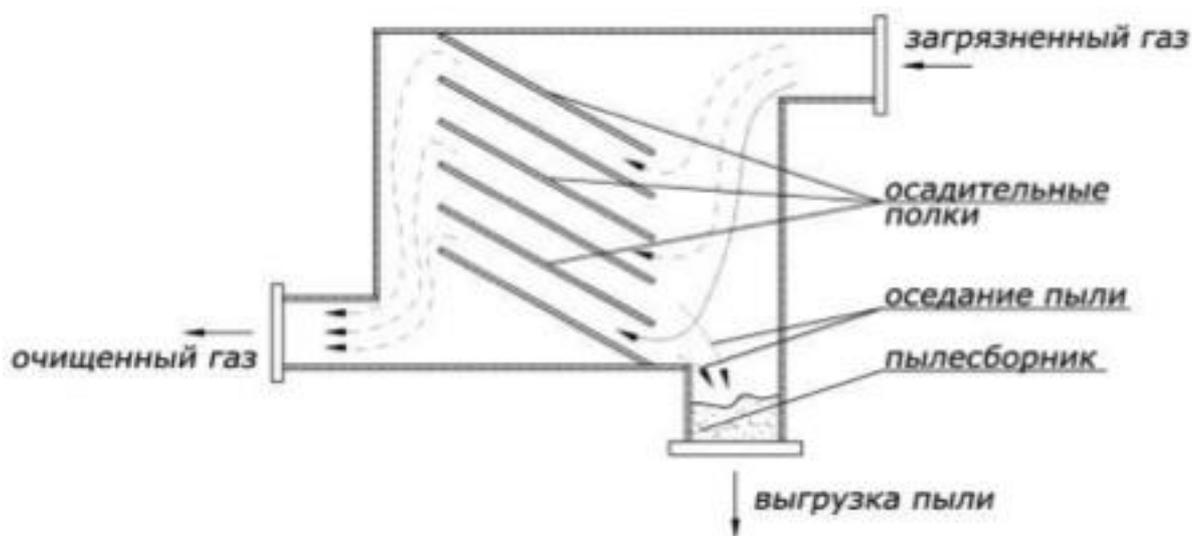
Различные устройства, применяемые в рамках решения проблем охраны окружающей среды, направлены на снижение вредных выбросов (то есть выбросов загрязняющих веществ) в атмосферу.

Пылеуловители представляют собой специальные устройства, которые предназначены для улавливания пыли и мелких частиц механического содержания, других примесей из потоков воздуха.

Пылеуловители согласно наименованию, улавливают пыль во время работы вытяжных и аспирационных устройств в газоочистных установках и пневматических устройствах на. На большинстве предприятий установлены

различные виды пылеуловителей. В зависимости от типов работы и предназначению применяются различные типы пылеуловителей:

- гравитационные пылеуловители;
- инерционные устройства;
- пылеуловители контактные;
- пылеуловители электрического действия.



## Пылевая камера

Рисунок 9 – Процесс очищения воздуха в пылеуловителе [12]

Общий принцип работы всех типов пылеуловителей в цементном производстве достаточно прост. Во входное отверстие поступает загрязненный газ, который проходит через осадительные полки, в результате происходит оседание пыли в специальных пылесборниках, и через специальное отверстие происходит регулярная выгрузка пыли. При этом в выходное отверстие поступает очищенный газ, что существенно очищает воздух.

Во всех видах пылеуловителей применяются пылеосадительные камеры, которые могут быть прямоточными, лабиринтными и полочными [19]

Мокрые пылеуловители (скрубберы) функционируют на основании центробежной силы, циклоны основаны на промывании.

Для каждого типа цементного производства необходимы свои виды очистных сооружений и установок, которые определяются типом производства цемента и составов вредных выбросов. На цементном производстве применяется мокрый метод производства цемента.

Циклоны представляют собой устройства очистки газа и обеспечивают более быструю и качественную очистку газа. В частности, для мокрого способа производства цемента подойдет гидроциклон (рисунок 10).

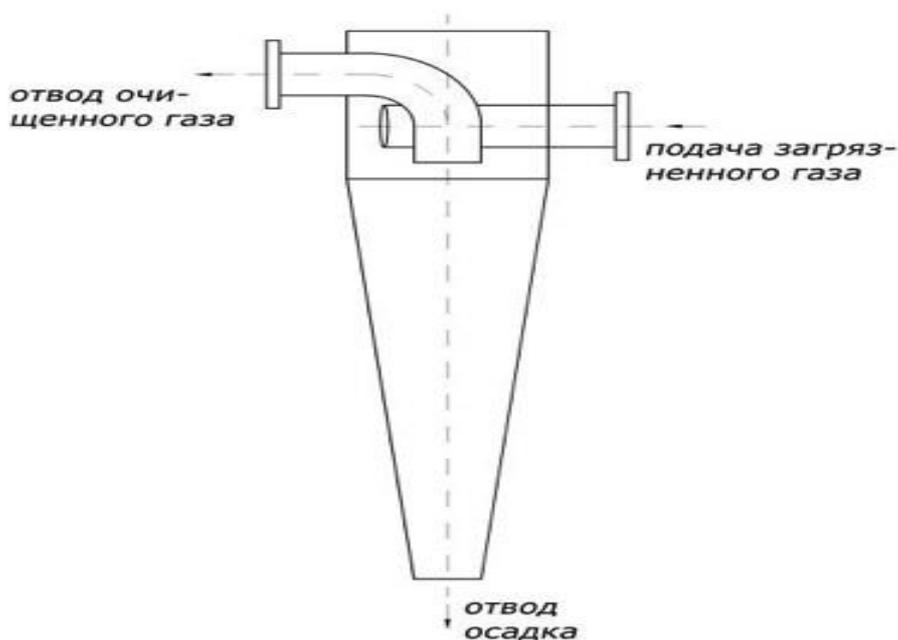


Рисунок 10 – Процесс очищения воздуха на цементном производстве в гидроциклоне [23]

Конструкция циклона представляет собой резервуар, который имеет цилиндрическую форму с коническим дном, снизу расположена выхлопная труба. По трубопроводу газ поступает в циклон. Вращаясь вокруг выхлопной трубы трубопровода, газ под влиянием центробежной силы.

По окончании очистки газ выходит из гидроциклона по выхлопной трубе, при этом твердые частицы циклона периодически выводятся через патрубок.

Электроуловители на цементном производстве характеризуются тем, что могут улавливать более мелкие частицы неорганической цементной пыли (5-7 мкм), что не могут делать другие виды циклонов и уловителей.

В электроуловителях применяется метод электроосаждения, суть которого заключается том, что капельки малого размера и частицы получают заряд от ионов газа поля высокого напряжения, двигаясь затем к заземленному осадительному электроду. Попав на электрод, частицы прилипают, и происходит разряд. После того, как осадительный электрод полностью покрывается слоем частиц, при постукивании частицы регулярно стряхиваются в бункер. Оценка эффективности применяемых методов для фильтрации и очистки воздуха зависит от нескольких факторов, в частности:

- степень очистки воздуха от пыли, то есть самой эффективностью пылеулавливания, которая измеряется в процентах;
- степень пылеулавливания;
- коэффициент проскока пылевых частиц в воздух;
- коэффициент полезного действия пылеулавливающего аппарата.

В случае с применением гидроциклонов важным является фактор – гидравлическое сопротивление применяемого аппарата, которое измеряется в КПа, кгс/ см<sup>2</sup>. При применении электрофильтров фактором оценки является расход электроэнергии на 1000 м<sup>3</sup> газов, который измеряется в кВт\*ч).

Гидроциклоны и электрофильтры обладают множеством преимуществ для решения проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве. Недостатками является достаточно высокая стоимость и очень большой расход электроэнергии (при электрофильтрах).

Наиболее эффективным и экономичным для решения проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве является рукавной фильтр. Рукавные фильтры на современном цементном производстве применяются довольно часто и считаются наиболее оптимальным выбором по соотношению качества очистки воздуха, стоимости и простоты в использовании.

На схеме, представленной на рисунке 11, можно увидеть, что загрязненный воздух попадает во входное отверстие рукавного фильтра и поступает в блок фильтров. Загрязненный воздух проходит через блок фильтров и трубную решетку и под давлением воздуха выходит после продувки

очищенным. В рукавных фильтрах предусмотрен процесс очистки воздуха цементного производства и обратная продувка рукавов для очистки.

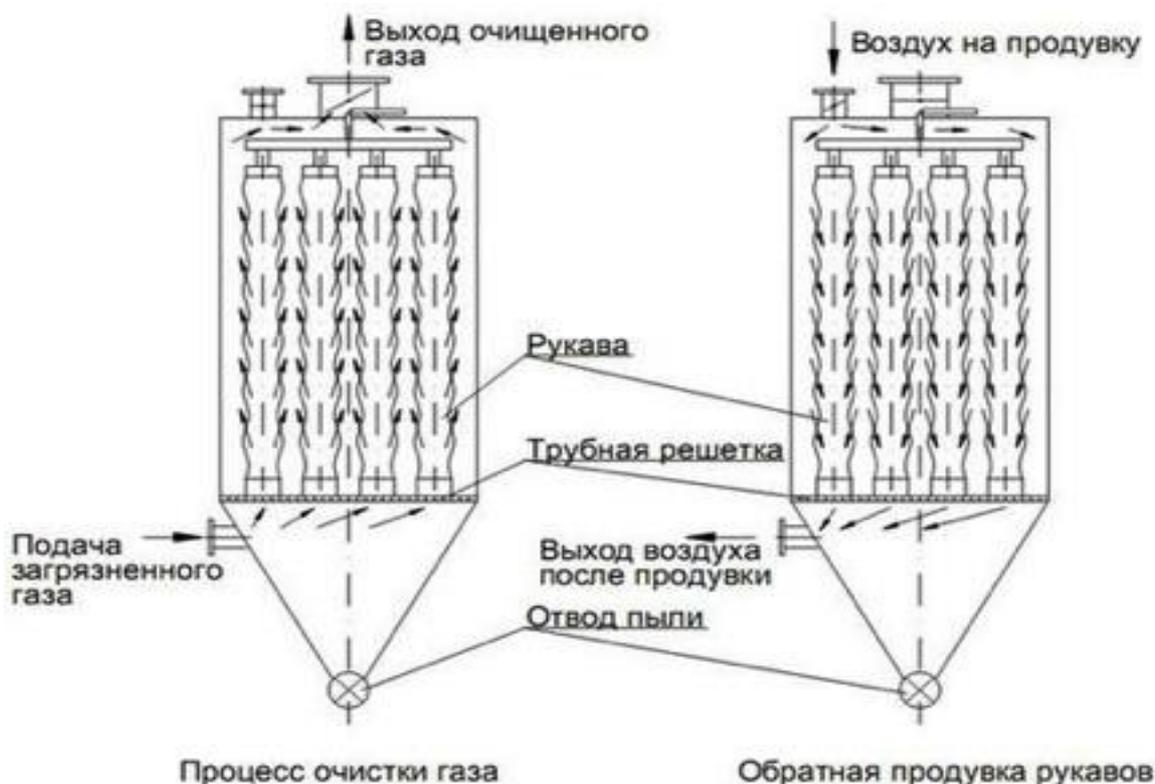


Рисунок 11 – Принцип работы рукавного фильтра для фильтрации и очистки воздуха на цементном производстве [29]

Рукавные фильтры отличаются тем, что работают автоматически, очищая воздух и автоматически выключаются, эффективность фильтров зависит от материала в блоке фильтров. Для цементного производства основными и решающими выступают следующие факторы при выборе рукавного фильтра из всех других способов фильтрации и очистки воздуха:

- отсутствие расходов на электроэнергию;
- достаточно низкая стоимость по сравнению с электрофильтрами;
- высокая степень ремонтируемости (рукавные фильтры намного легче ремонтируются из всех устройств очистки), ремонт может осуществляться рабочими самого цементного производства.

Рукавной фильтр на цементном производстве обслуживается бригадой вспомогательных рабочих, которые осуществляют регулярный контроль за работой очистного фильтра и ремонт при необходимости [10].

Наблюдение за работой рукавного фильтра осуществляется через смотровые окна, которые предусмотрены в камерах «чистого» газа корпуса системы регенерации. Преимуществом рукавного фильтра является достаточно легкая замена рукавов, без специального оборудования, по мере загрязнения. Причем в современных установках замена рукавного фильтра и обновление работы очистного оборудования осуществляется без остановки производства, что является важным производственным фактором. Замена фильтровальных рукавов рукавного фильтра повышает эффективность данного способа фильтрации и очистки воздуха и обеспечивает эффективный процесс обеспыливания воздуха в производстве.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о применяемых методах решения проблем охраны окружающей среды на цементном производстве и фильтрации и очистки воздуха производства.

Наиболее важной является проблема обеспыливания воздуха и для этого применяется несколько способов фильтрации и очистки воздуха цементного производства. По таким параметрам, как стоимость, качество, легкость в эксплуатации и ремонт, наиболее эффективными являются рукавные фильтры.

#### **4.2 Проект расчета внедрения системы очистки вредных выбросов цементного производства**

В работе осуществляется разработка проекта внедрения эффективной системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов (загрязняющих веществ) в окружающую среду цементного производства.

Внедрение системы включает следующие этапы:

- предварительный анализ существующих способов очистки вредных выбросов цементного производства;

- выбор наиболее эффективного подходящего по параметрам цементного производства способа фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду;

- расчет параметров рукавного фильтра ФРИ-630 с импульсной системой регенерации с площадью фильтрующей поверхности 630 кв. м.;

- расчет затрат на установку системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду и расчет экономической эффективности предложенного проекта.

Рукавные представляет надежные и эффективные пылеулавливающие аппараты, предназначенные для обеспыливания воздуха и негорючих газов. Рукавные фильтры способны обеспечить достаточно высокую степень очистки вредных выбросов на цементном производстве.

Рукавной фильтр ФРИ-630 работает на основании продувки сжатым воздухом, регенерация осуществляется при помощи подачи импульса сжатого воздуха внутрь фильтра. Происходит продувка фильтровальной ткани в направлении, обратном потоку поступающего загрязненного воздуха.

Рукавной фильтр ФРИ-630 с импульсной системой регенерации и схема очистки загрязненного воздуха рукавного фильтра приводятся в Приложении 2.

Выбор рукавного фильтра ФРИ-630 с импульсной системой регенерации в качестве внедряемой системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства основан на произведении соответствующих расчетов.

В частности, необходимая фильтрующая поверхность системы очистки вредных выбросов в окружающую среду в соответствии с параметрами цементного производства определялась по формуле 1:

$$F_{\Phi} = \left( \frac{V_n + V_p}{60 \text{ мин} * q_n} \right) + F_p \quad (1)$$

где:

$F_{\Phi}$  – фильтрующая поверхность (кв. м.);

$V_n$  – объем газа, поступающего на очистку,  $\text{м}^3 / \text{ч}$ ;

$V_p$  – объем воздуха, расходуемого на регенерацию  $\text{м}^3 / \text{ч}$ ;

$q_n$  – удельная газовая нагрузка фильтровальной перегородки при фильтровании; нормативная удельная газовая нагрузка для цемента – 2,0.

$F_p$  – фильтрующая поверхность, отключаемая на импульсную регенерацию в течение 1 часа, кв. м.

Фильтрующая поверхность  $F_p$  рассчитывается по формуле 2:

$$F_p = N_c * F_c * t_p * m_p \quad (2)$$

где:

$F_p$  – фильтрующая поверхность, отключаемая на регенерацию в течении 1 часа (кв. м.);

$N_c$  – число секций в фильтре;

$F_c$  – фильтрующая поверхность секции, кв. м.;

$t_p$  – время регенерации секции, сек.;

$m_p$  – число регенерации в течении 1 часа.

Для расчетов были учтены и другие основные параметры цементного производства.

Объем газа, поступающего на очистку – 42000  $\text{м}^3 / \text{ч}$ .;

Температура выбросов (t) составляет 52 %;

Концентрация пыли на входе в систему очистки составляет 14 г /  $\text{м}^3$ ;

Медианный диаметр частиц пыли  $d_m$  составляет 13 мкм;

Содержание пыли после установки рукавного фильтра по обеспыливанию воздуха и очистке вредных выбросов должно составлять не более 6 мг /  $\text{м}^3$  ;

Удельная газовая нагрузка  $q_n$  для анализируемого цементного производства составляет 2,0  $\text{м}^3 / (\text{кв. м} * \text{мин})$ .

Фильтрующая поверхность аппарата составит:

$$F_p = 12 * 3 * 0,9 * 6 = 195 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$F_{\phi} = \left( \frac{42000 + 9000}{60 \text{ мин} * 2,0} \right) + 195 = 620 \text{ кв. м.}$$

Выбранный в работе рукавной фильтр ФРИ-630 с импульсной системой регенерации, обслуживающий площадь 630 кв. м. превышает рассчитанные данные 620 кв. м., следовательно, дополнительные расчеты не требуются.

Характеристики выбранного по результатам расчетов рукавного фильтра ФРИ-360 с импульсной системой регенерации следующие:

- наружное, теплоизолированное исполнение;
- площадь фильтрующей поверхности – 630 кв. м.,
- количество секций – 12 секций,
- гидравлическое сопротивление – 500 Па,
- степень очистки воздуха от цементной пыли – 98,8 %,
- масса – 16 400 кг.,

В базовую комплектацию входит блок фильтров и бункер-накопитель (пылеосадочная камера), выполненные в едином корпусе на опорах (Приложение 3).

В предлагаемом рукавном фильтре ФРИ-360 с импульсной системой регенерации применяется принцип двухступенчатой очистки системы очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства.

Газопылевой поток через входной патрубок попадает в бункер-накопитель (пылеосадочная камера), попадающий поток расширяется, снижает скорость, происходит осаждение крупных фракций пыли и опилок. После этого воздух проходит через блок фильтров и выпускается наружу.

Выпускается наружу очищенный воздух после обработки при помощи импульсной системы регенерации.

Отходы накапливаются в бункере-накопителе и удаляются по мере необходимости. Для поддержания режима фильтрации производится регенерация фильтров импульсами сжатого воздуха. Пыль и опилки

накапливаются в бункере-накопителе и через определенные промежутки времени удаляются в систему пневмотранспорта или подкатной контейнер.

Можно сделать вывод, что применяемых на цементном производстве мер по охране окружающей среды недостаточно и необходимо внедрение более эффективной системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду.

Эффективность предложенного способа пылеочистки цементного производства обусловлена оптимальностью рукавного фильтра, как отмечалось в работе ранее, зернистые фильтры более эффективны при высоких температурах (до 400 °С), электрофильтры характеризуются очень высокой стоимостью и более высокой степенью загрязнения действующих механизмов.

Рукавным фильтром имеет более высокую эффективность пылеулавливания и залипание пыли на фильтре не происходит. Практический анализ также показал, что рукавные фильтры занимают ведущее место в системе решения вопросов пылевыведения и отчистки выбросов в окружающую среду в крупных западных компаниях по производству цемента и российских цементных производствах.

План-график работ по реализации проекта внедрения системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства приводится в таблице 4.

На предложенный проект системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства посредством внедрения рукавного фильтра ФРИ-630 потребуется 22 дня.

Ответственными за исполнение проекта являются ведущий инженер-эколог и руководитель экологической службы.

Смета капитальных затрат на внедрение системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства включает стоимость статей затрат: основное технологическое оборудование – рукавным фильтром ФРИ-360 с импульсной системой регенерации; вспомогательное оборудование (каркас, блоки и др.);

транспортные расходы на доставку оборудования; затраты на монтаж оборудования; стоимость амортизационных отчислений.

Таблица 4 – План график работ по внедрению системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов цементного производства

№ п/п	Наименование работ	Исполнитель	Продолжительность, дней
1	Проведение предварительного анализа применяемых различных способов очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства	Инженер-эколог	3 дня
2	Выбор наиболее эффективного и подходящего по параметрам цементного производства способа фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду	Инженер Руководитель экологической службы	2 дня
3	Расчет параметров выбранного рукавного фильтра ФРИ-630 с импульсной системой регенерации с площадью фильтрующей поверхности 630 кв. м	Инженер-эколог	3 дня
4	Составление сметы капитальных затрат на установку системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов – рукавного фильтра ФРИ-630 с импульсной системой регенерации	Инженер-эколог	5 дней
5	Составление сметы цеховых расходов для обслуживания устанавливаемой системы очистки	Инженер-эколог	2 дня
6	Сравнение экологического ущерба до и после внедрения системы очистки вредных выбросов	Инженер-эколог	3 дня
7	Расчет экономической эффективности предложенного проекта на основании сравнения экологических платежей цементного производства до и после внедрения природоохранных мероприятий	Инженер Руководитель экологической службы	4 дня
	Итого	-	22 дня

Расчет сметы капитальных затрат на внедряемую систему очистки и амортизационные отчисления представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Смета затрат на покупку, доставку и установку рукавного фильтра ФРИ-360 с импульсной системой регенерации

Наименование оборудования	Кол-во	Цена за ед., руб.	Стоимость, тыс. руб.	Трансп. Расходы (8 %), руб.	Затраты на монтаж (10 %), тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.	Норма амортиз., %	Сумма амортиз. отч., тыс. руб.
Технологическое оборудование								
Пылевая камера (пылеуловитель)	1	610,0	610,0	48,8	61,0	719,8	12	86,4
Итого технологическое оборудование	1	610,0	610,0	48,8	61,0	719,8	12	86,4
Вспомогательное оборудование								
Каркас рукава	1	150,0	150,0	12,0	15,0	177,0	7	12,4
Бункер-накопитель	1	118,5	118,5	9,5	11,9	139,9	7	9,8
Блок фильтров	1	120,5	120,5	10,8	12,1	143,4	8	11,6
Итого вспомогательного оборудования	3	389,0	389,0	32,3	39,0	460,3	-	33,8
Итого	4	-	-	-	-	1180,1	-	120,2

В базовую комплектацию рукавного фильтра ФРИ-360 с импульсной системой регенерации входит блок фильтров и бункер-накопитель (пылеосадочная камера), выполненные в едином корпусе на опорах.

Таким образом, на внедрение рукавного фильтра ФРИ-360 с импульсной системой регенерации всего потребуется затрат 1180,1 тыс. руб.

Таблица 6 – Смета производственных и хозяйственных расходов на содержание и эксплуатацию внедряемой системы очистки вредных выбросов

Статьи расхода	Сумма расходов, тыс. руб.
1. Амортизация оборудования	120,2
2. Эксплуатация оборудования:	
- заработная плата рабочих по обслуживанию и ремонту оборудования (3 рабочих, 36,0 тыс. руб. в месяц)	1296,0
- страховые взносы (30,0 %)	388,8
Охрана труда и техника безопасности (2 % от заработной платы вспомогательных рабочих)	25,9
Текущий ремонт оборудования (11,0 тыс. руб. в месяц)	132,0
Стоимость запасных частей	235,0
Итого	2197,9

В целом для внедрения предлагаемой системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов необходимо рассчитать заработную плату работников по обслуживанию и ремонту оборудования, отчисления на социальные нужды, стоимость запасных частей.

Смета затрат по статьям расходы на содержание и эксплуатацию внедряемого оборудования приводятся в таблице 7.

На обслуживание и ремонт внедряемого оборудования – рукавного фильтра ФРИ-360 с импульсной системой регенерации необходимо в соответствии с условиями эксплуатации необходимо 3 вспомогательных рабочих. Зарплата рабочих составляет 36,0 тыс. руб. в месяц.

Затраты на ремонт оборудования также в соответствии с условиями эксплуатации оборудования составляют 11,0 тыс. руб. в месяц

Таблица 7 – Смета капитальных затрат на внедряемую систему очистки вредных выбросов

Наименование элементов	Сумма расходов, руб.
Затраты на установку оборудования – рукавного фильтра ФРИ-360 с импульсной системой регенерации	1180,1
Заработная плата рабочих и социальные взносы	1684,8
Общепроизводственные и общехозяйственные расходы	513,1
Итого	3378,0

Всего себестоимость предлагаемой системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду составляет 3378,0 тыс. руб. Производство располагает собственными средствами для закупки и внедрения предлагаемой системы, следовательно, источником проекта выступают собственные средства предприятия.

### **3.3 Оценка предотвращенного экологического ущерба и экономической эффективности предложенной системы фильтрации воздуха**

Оценка предотвращенного экологического ущерба производится посредством сравнения экологических показателей цементного производства до и после реализации предложенного проекта по внедрению природоохранных мероприятий. Экономическая эффективность предлагаемой системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов была определена посредством сравнения суммы экологических платежей предприятия до и после реализации предложенного проекта. Плата за загрязнения окружающей среды представляет собой специальную форму возмещения экономического ущерба предприятием от выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

В соответствии с действующим законодательством в Российской Федерации, предприятия, загрязняющие окружающую среду, платят

экологические платежи в соответствии с установленными нормативами.

Источниками платежей за загрязнение окружающей среды являются:

– платежи в пределах предельно допустимых нормативов по выбросу вредных веществ, которые включаются в себестоимость продукции;

– платежи за превышение допустимых нормативов по выбросу вредных веществ в окружающую среду осуществляются за счет прибыли, остающейся в распоряжении предприятия после уплаты налога на прибыль.

Для каждого нормируемого вредного вещества цементного производства установлены базовые ставки за выброс 1 мг / м<sup>3</sup>. Для определения конкретной ставки платежа за выброс 1 мг / м<sup>3</sup> базовую ставку умножают на коэффициент экологической ситуации. Данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу цементного производства за 2020 год представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Экологические платежи по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу за 2020 год до внедрения системы очистки вредных выбросов

Наименование вредных веществ	Фактический выброс, мг / м <sup>3</sup>	Предельные нормы выбросов, мг / м <sup>3</sup>	Норматив платы, за мг / м <sup>3</sup> , руб.	Кэ	Общая плата, руб.
Диоксид азота (NO <sub>x</sub> )	653,00	500,00	11,50	1,40	2463,30
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	824,00	500,00	24,00	1,40	10886,40
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	145,00	50,00	32,00	1,40	4256,00
Пыль неорганическая (SiO <sub>2</sub> , цементная)	93,00	30,00	21,50	1,40	1896,30
Летучие органические вещества (VOC)	37,00	10,00	35,00	1,40	1323,00
Итого	-	-	-	-	<b>20825,00</b>

Экологические платежи цементного производства г за 2020 год составили 20825,0 тыс. руб., то есть превышают 20 млн. руб.

Предприятие платит большие средства за причиняемый ущерб.

Размер экологического ущерба вследствие неблагоприятной экологической обстановки составил 20825,0 тыс. руб.

Таблица 9 – Экологические платежи цементного производства по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу в плановом периоде после внедрения природоохранных мероприятий

Наименование вредных веществ	Фактический выброс, мг / м <sup>3</sup>	Предельные нормы выбросов, мг / м <sup>3</sup>	Норматив платы, руб.	Кэ	Общая плата, руб.
Диоксид азота (NOx)	552,00	500,00	11,50	1,40	837,20
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	612,00	500,00	24,00	1,40	3763,20
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	72,00	50,00	32,00	1,40	985,60
Пыль неорганическая (SiO <sub>2</sub> , цементная)	28,00	30,00	21,50	1,40	0,00
Летучие органические вещества (VOC)	9,00	10,00	35,00	1,40	0,00
Итого					5586,00

Внедряемая система фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства существенно снизит выбросы вредных веществ, по теоретическим и эксплуатационным данным рукавной фильтр снижает выбросы перечисленных вредных веществ.

Снижение вредных выбросов в результате применения рукавного фильтра ФРИ-630 с импульсной системой регенерации коснется всех групп вредных веществ, и прежде всего, цементной пыли, так как устанавливаемая система направлена на обеспыливание производства.

Снижение перечисленных вредных выбросов цементного производства предусматривается техническими и эксплуатационными характеристиками внедряемого оборудования, что повлияет на снижение платежей.

Согласно данным таблицы 6, внедряемая система фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства полностью сокращает выбросы цементной пыли в пределах допустимых норм (28 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с выявленными 93 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 30 мг / м<sup>3</sup>).

Также снижаются – выбросы диоксида азота до 552 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с 653 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 500 мг / м<sup>3</sup>. Выбросы диоксида серы снижаются до 72 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с 145 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 50 мг / м<sup>3</sup>.

Снижаются выбросы летучих органических веществ до 9 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с 37 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 10 мг / м<sup>3</sup>.

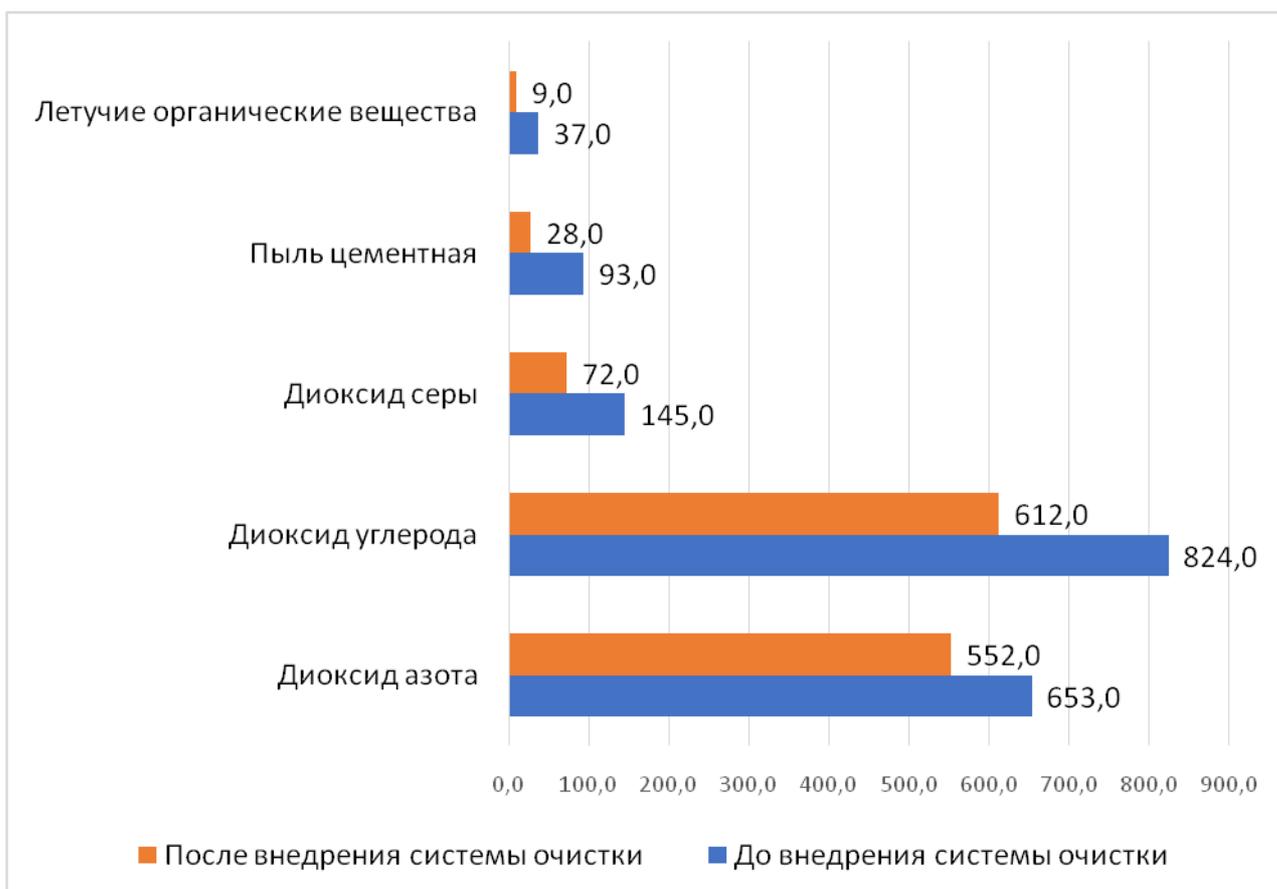


Рисунок 12 – Выбросы вредных веществ в атмосферу цементного производства до и после внедрения системы фильтрации воздушных потоков

Таким образом, предложенная система фильтрации воздушных потоков способствуют улучшению экологической обстановки и снижения вредных выбросов в окружающую среду на цементном производстве .

Кроме улучшения экологической обстановки, как можно увидеть в таблицах 8 и 9 существенно снижаются экологические платежи цементного производства после проведения природоохранных мероприятий. Расчет предотвращенного экологического ущерба (Упред) осуществляется, как разница экологических платежей цементного производства за загрязнение окружающей среды до внедрения природоохранных мероприятий и после внедрения природоохранных мероприятий. Сравнительные показатели до и после внедрения системы представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительные эколого-экономические показатели внедрения системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства

Показатели	Отчетный период	Плановый период	Откл., тыс. руб.	Откл. %
1. Эффективность очистки, %	82	98,8	16,8	-
2. Среднесписочная численность работников, чел.	383	386	3	100,8
3. Капитальные затраты				
-общие, руб.	0,0	3378,00	3378,00	100,0
-удельные, руб./1000 м <sup>3</sup>	0,0	5,45	126,00	10,0
4. Платежи за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, руб./год	20825,00	5586,00	15239,00	26,8
5. Предотвращенный экологический ущерб, руб./год	20825,00	5586,00	15239,00	26,8

Согласно произведенным расчетам можно отметить, что эффективность очистки после внедрения предлагаемой системы повышается на 16,8 %.

Предотвращенный экологический ущерб (Упред) в результате внедряемого оборудования для сокращения выбрасываемых вредных веществ в атмосферу цементного производства составляет:

$$U_{\text{пред}} = 20825,00 - 5586,00 = 15239,00 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, предотвращенный экологический ущерб составляет 15239,00 руб. в плановом периоде за счет проведения природоохранных мероприятий и внедрения системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства .

Экономическая эффективность для предприятия выражается в сокращении экологических платежей, выплат за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на 15239,00 тыс. руб., сокращение составляет -73,2 %.

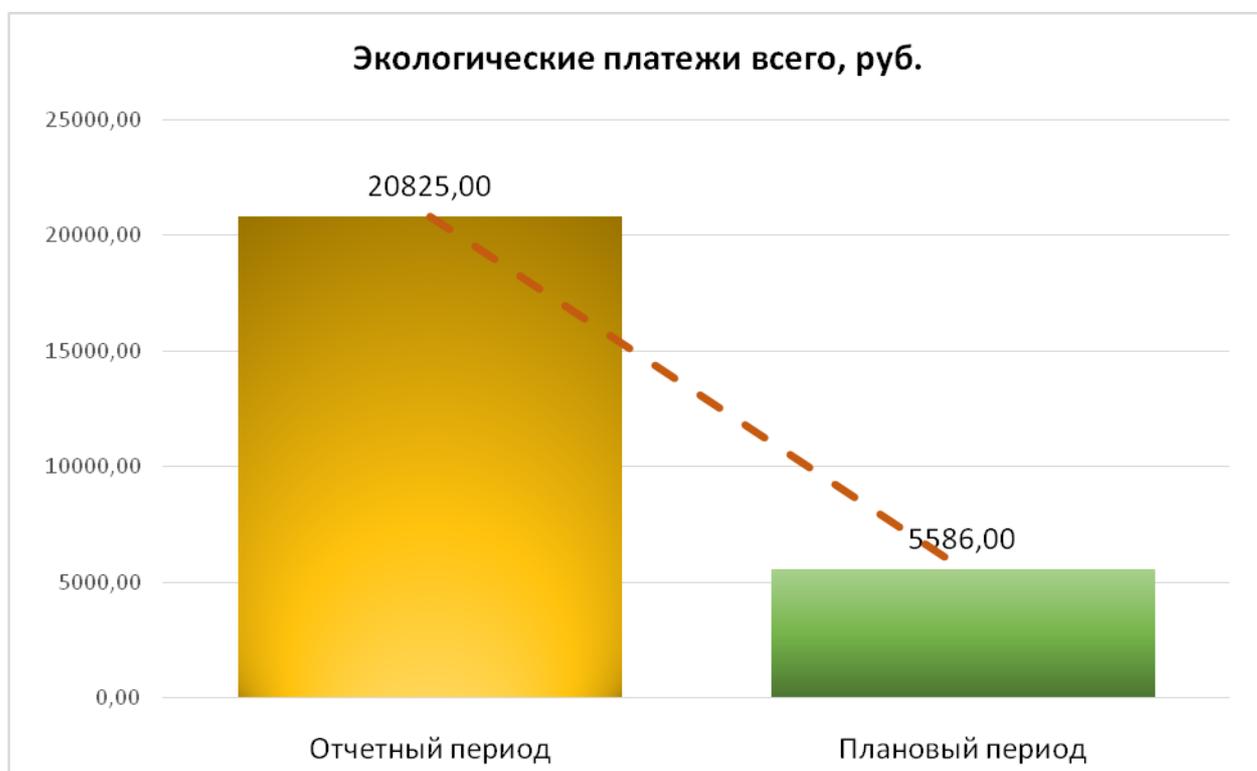


Рисунок 13 – Снижение экологических выплат цементного производства после внедрения системы очистки вредных выбросов

Снижение общих экологических платежей цементного производства составляет более 15 млн. руб., что в результате внедрения оборудования для сокращения выбрасываемых загрязняющих веществ в атмосферу. При этом происходит существенное снижение выбросов вредных веществ, что улучшает экологическую обстановку на производстве.

## Заключение

Проведенный в настоящей работе анализ проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве в Ленинградской области позволил сделать следующие основные выводы.

Снижение негативного воздействия цементного производства на окружающую среду осуществляется по следующим направлениям: предотвращение дальнейшего загрязнения и уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха; предотвращение загрязнения водных объектов; снижение образования отходов производства. Необходимо учитывать, что цементная промышленность входит в число наиболее вредных для окружающей среды производств. Наиболее опасными и негативными воздействиями цементного производства на окружающую среду являются:

- выбросы пыли из дымовых труб и быстроиспаряющиеся компоненты);
- газообразные выбросы в атмосферу (диоксид серы, диоксида азота, диоксид углерода и другие газовые выбросы);
- выбросы пыли (особенно от печей обжига клинкера).

Основными выбросами от производства цемента являются выбросы в воздух, возникающие во время работы цементной печи. Выбросы образуются в результате физических и химических реакций сырья и топлива.

В целом основными составляющими отходящих газов цементного производства являются следующие образования: диоксид азота ( $\text{NO}_x$ ), диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), летучие органические соединения (VOCs), аммиак,  $\text{HCl}$ , и тяжелые металлы (в меньшей степени). Основные задачи охраны окружающей среды на цементном производстве следующие:

- снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- снижение выбросов пыли и газообразных выделений.

Основные сырьевые материалы, применяемые в производстве цемента – известняк и глина, которые добываются на собственном карьере цементного производства. На карьере осуществляются буровзрывные работы, погрузочные работы, функционируют склады промежуточного хранения и полигон для захоронения нетоксичных производственных отходов.

Для корректировки химического состава сырьевой смеси в производстве цемента применяются железосодержащие добавки. Наибольшее количество суммарного выброса загрязняющих веществ цементного производства г:

- диоксид азота – 41,58 % от общего суммарного выброса;
- диоксид углерода – 35,29 % от общего суммарного выброса;
- диоксид серы – 9,92 % от общего суммарного выброса;
- пыль неорганическая (цементная) 8,36 % от суммарного выброса;
- летучие органические вещества – 4,84 % от общего суммарного выброса.

Анализировались средства и методы фильтрации и очистки воздуха, отмечалось, что гидроциклоны и электрофильтры обладают множеством преимуществ для решения проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве. Недостатками производства является высокая стоимость и очень большой расход электроэнергии (при электрофильтрах).

Наиболее эффективным и экономичным для решения проблемы охраны окружающей среды на цементном производстве является рукавной фильтр.

Загрязненный воздух проходит через блок фильтров и трубную решетку и под давлением воздуха выходит после продувки очищенным. В рукавных фильтрах предусмотрен процесс очистки воздуха и обратная продувка рукавов для очистки. Рукавные фильтры отличаются тем, что работают автоматически, очищая воздух на цементном производстве и автоматически выключаются, эффективность фильтров зависит от материала в блоке фильтров.

Для цементного производства Ленинградской области основными и решающими выступают следующие факторы при выборе рукавного фильтра из всех других способов фильтрации и очистки воздуха:

- низкие расходы на электроэнергию;
- достаточно низкая стоимость по сравнению с электрофильтрами;
- высокая степень ремонтируемости (рукавные фильтры намного легче ремонтируются из всех устройств очистки), ремонт может осуществляться рабочими самого цементного производства.

Современные рукавные фильтры позволяют обеспечить достаточно высокую степень очистки вредных выбросов цементного производства, имея при этом небольшие габариты.

В работе был представлен проект природоохранных мероприятий для решения проблем охраны окружающей среды на цементном производстве.

Целью являлось внедрение эффективной системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов (загрязняющих веществ) в окружающую среду цементного производства .

В рамках внедрения осуществлялись этапы: предварительный анализ существующих способов очистки вредных выбросов цементного производства; выбор наиболее эффективного и подходящего по параметрам цементного производства способа фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду; расчет параметров рукавного фильтра ФРИ-630 с импульсной системой регенерации с площадью фильтрующей поверхности 630 кв. м.; расчет затрат на установку системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду и расчет экономической эффективности предложенного проекта.

В работе было рассчитано, что на предложенный проект системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства посредством внедрения рукавного фильтра ФРИ-630 потребуется 22 дня. Ответственными за исполнение проекта являются ведущий инженер-эколог и руководитель экологической службы.

Всего себестоимость предлагаемой системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства составляет 3378,0 тыс. руб.

Производство располагает собственными средствами для закупки и внедрения предлагаемой системы, следовательно, источником проекта выступают собственные средства предприятия.

Произведенные расчеты показали, что внедряемая система фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства полностью сокращает выбросы цементной пыли в пределах допустимых норм (28 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с выявленными 93 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 30 мг / м<sup>3</sup>. Также снижаются – выбросы диоксида азота до 552 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с 653 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 500 мг / м<sup>3</sup>. Выбросы диоксида серы снижаются до 72 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с 145 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 50 мг / м<sup>3</sup>. Снижаются выбросы летучих органических веществ до 9 мг / м<sup>3</sup> по сравнению с 37 мг / м<sup>3</sup> в 2020 году, норма 10 мг / м<sup>3</sup>. Предложенная система фильтрации воздушных потоков способствуют улучшению экологической обстановки и снижения вредных выбросов в окружающую среду на цементном производстве. Кроме улучшения экологической обстановки, существенно снижаются экологические платежи цементного производства после проведения природоохранных мероприятий.

Предотвращенный экологический ущерб составляет 15239,00 руб. в плановом периоде за счет внедрения системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства. Экономическая эффективность для предприятия выражается в сокращении экологических платежей за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, после внедрения предложенной системы сокращение выплат составляет 15239,00 тыс. руб., сокращение составляет -73,2 %.

Снижение общих экологических платежей составляет более 15 млн. руб. При этом происходит существенное снижение выбросов вредных веществ, что улучшает экологическую обстановку на производстве. Следовательно, предложенные природоохранные мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются эффективными.

## Выводы

1. Проект внедрения эффективной системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду цементного производства демонстрирует эффективность.

2. Предложенная система фильтрации воздушных потоков способствуют улучшению экологической обстановки и снижения вредных выбросов в окружающую среду на цементном производстве.

3. Предотвращенный экологический ущерб производства составляет 15239,00 руб. в плановом периоде за счет внедрения системы фильтрации воздушных потоков и очистки вредных выбросов в окружающую среду.

4. Экономическая эффективность выражается в сокращении экологических платежей производства за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, после внедрения предложенной системы сокращение выплат составляет 15239,00 тыс. руб., сокращение составляет -73,2 %.

5. В результате реализации проекта происходит существенное снижение выбросов вредных веществ, что улучшает экологическую обстановку на производстве. Предложенные природоохранные мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются эффективными.

## Список литературы

1. ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия // <https://docs.cntd.ru/document/1200111314>
2. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия // [https://stroytec.ru/uploads/gost/cement/GOST\\_31108-2003](https://stroytec.ru/uploads/gost/cement/GOST_31108-2003)
3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
7. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
8. Красовицкий Ю.В., Батищев В.В., Иванова В.Г., Новый подход к проблеме энергосберегающего сухого пылеулавливания при производстве строительных материалов // Строительные материалы, 2020, №4. С.2-6.
9. Каверин А.В., Симбиркина К.П., Солопова В.А. Анализ статистики выбросов цементного производства // Вестник Томского государственного университета, 2021, №6. С.189-194.
10. Промышленное производство цемента сухим способом: учебное пособие / Под ред. Батурина Т.П. – М.: Норма, 2019. – 186 с.
11. Пыль цементного производства и ее альтернативное применение: Сборник научных трудов студентов России. – М.: Коррис и Медиа, 2020.
12. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Логинов В.С., Разва А.С., Некрасова К.В., Литвинов А.М., Глушко А.Ф., Кузнецов В.А. Устойчивость

обеспыливания воздуха инерционными аппаратами в аспирационных сетях конвейерных систем // Цемент и его применение, 2019, №5. С.17-19.

13. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2018. – 248 с.

14. Бобровников Н.А. Охрана воздушной среды на предприятиях строительной индустрии. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2018. – 254 с.

15. Вишаренко В.С. Экологические проблемы городов и здоровье человека/ В.С.Вишаренко, Н.А. Толоконцев. – СПб.: Знание, 2017. –132с.

16. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация, 2020, №5. С. 3-12.

17. Малков А.В. Современные промышленные объекты и их безопасность // Экология и промышленность России, 2021, №3. С. 33-34.

18. Челноков А. А. К вопросу об эмиссии тяжелых металлов в атмосферу при производстве цемента // Цемент и его применение, 2020, №7 . С. 45-50.

19. Шелухо В.П. Ослабление сосновых насаждений выбросами цементного производства // Строительные материалы, 2017, № 1. С. 155-118.

20. Азаров В.Н., Тертишников И.В., Калюжина Е.А., Маринин Н.А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли в воздушной среде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, 2021, Вып. 25(44). С. 402-407.

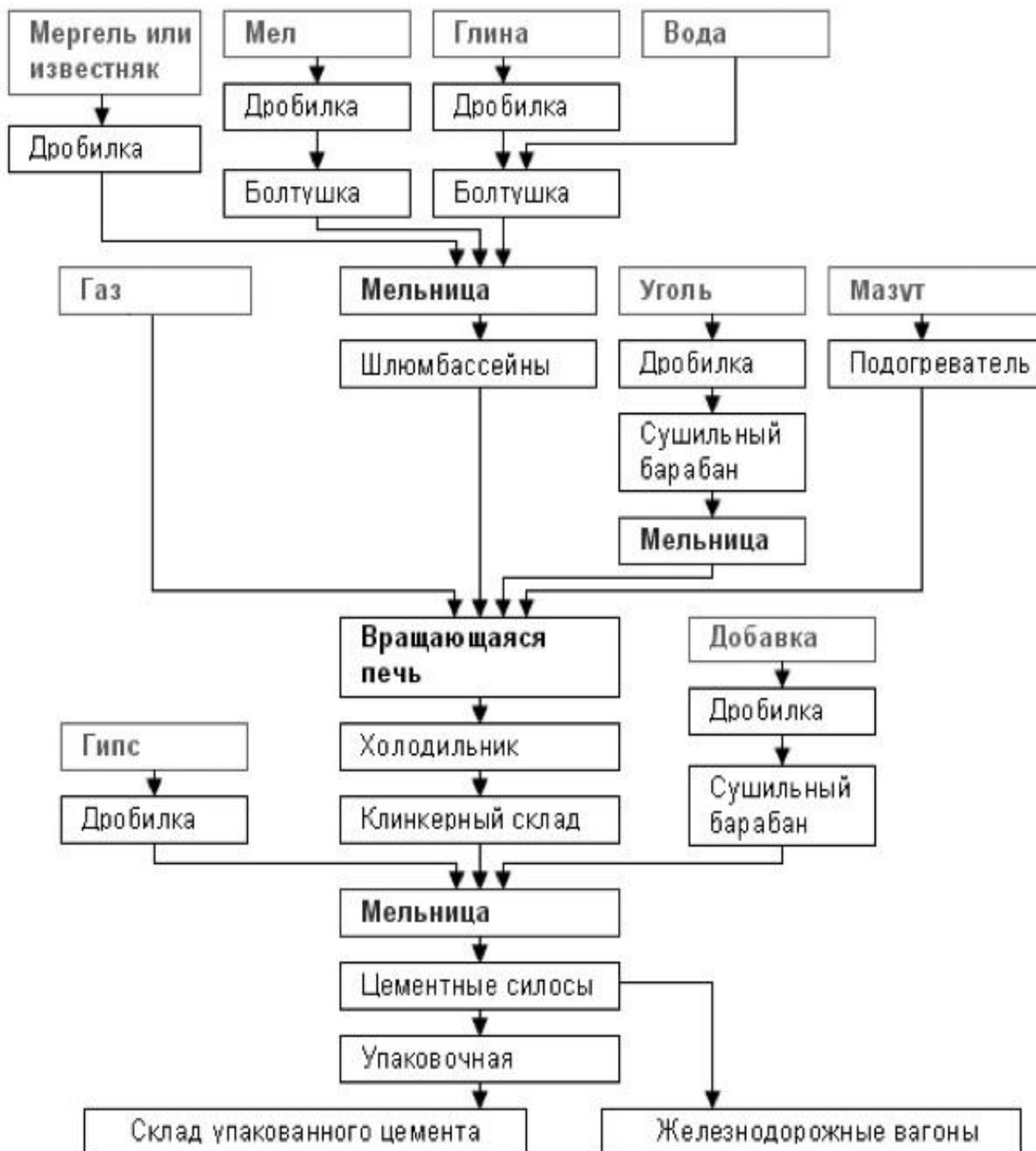
21. Исследование дисперсного состава пыли строительных производств при решении задач охраны труда и экологической безопасности: методические рекомендации / Н.Ю. Карапузова, Н.И. Чижов, И.В. Тертишников, О.А. Мартынова. – Волгоград, 2019. – 215 с.

22. Зыков Е. Г. Совершенствование процесса обеспыливания газов при модернизации промышленных систем пылеулавливания и золоулавливания с инерционными аппаратами / Автореф. дисс... канд. техн. наук. – Томск, 2018. – 26 с.
23. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности – Калуга, 2018. – 477 с.
24. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учебное пособие. – Пенза: ПГУ, 2018. – 210 с.
25. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. – 2017. – 164 с.
26. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: НГУ, 2018. – 432 с.
27. Алиев Г.М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок: учебник. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2018. – 212 с.
28. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова. – Томск, 2017. – 173 с.
29. Красовицкий Ю.В., Батищев В.В., Иванова В.Г., Новый подход к проблеме энергосберегающего сухого пылеулавливания при производстве строительных материалов. // Строительные материалы, 2020, №4. С.12-15.
30. Байтренас П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2018. – 182 с.
31. Астанин Л.П., Благодосклонов К.Н. Охрана природы. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Норма, 2018. – 255 с.

32. Вронский В.А. Прикладная экология: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2017 – 512 с.
33. Даванков А.Ю. Социально-экономическая оценка природно-техногенных комплексов. – Екатеринбург: УрОРАН, 2018. – 232 с.
34. Тажетдинова Н.С. Геоэкологическая оценка и контроль антропогенного воздействия при добыче минерального сырья // Геология, география и глобальная энергия, 2021, №2. С. 235-341.
35. Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М., Калашников А.Т. Экология и охрана природы при открытых горных работах. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Московский государственный горный университет, 2019. – 417 с.=
36. Дуров В.В. Охрана атмосферного воздуха в цементной промышленности // Цемент и его применение, 2018, №6. С.2-4.
37. Зубченко М.П. Современные направления технических решений при проектировании пылеулавливающих систем цементного производства // Экологические проблемы технологии цементного производства, 2017, Вып.102. С.3-11.
38. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. – Ростов н/Д, 2020. – 232 с.
39. Смыков В.В. Экологической безопасности - особое внимание // Экология и промышленность России, 2021, № 3. С.41-47.
40. Юдович Б.Э., Дмитриев А.М., Лямин Ю.А., Зубехин С.А. Цементная промышленность и экология // Цемент и его применение, 2020, №3. С.11-19.
41. Финансовая отчетность АО «Пикалевский цемент»  
[//https://www.audit-it.ru/buh\\_otchet/4701007851\\_ao-pikalevskiy-tsement](https://www.audit-it.ru/buh_otchet/4701007851_ao-pikalevskiy-tsement)

## Приложение 1

Схема производства цемента мокрым методом на цементном производстве



## Приложение 2



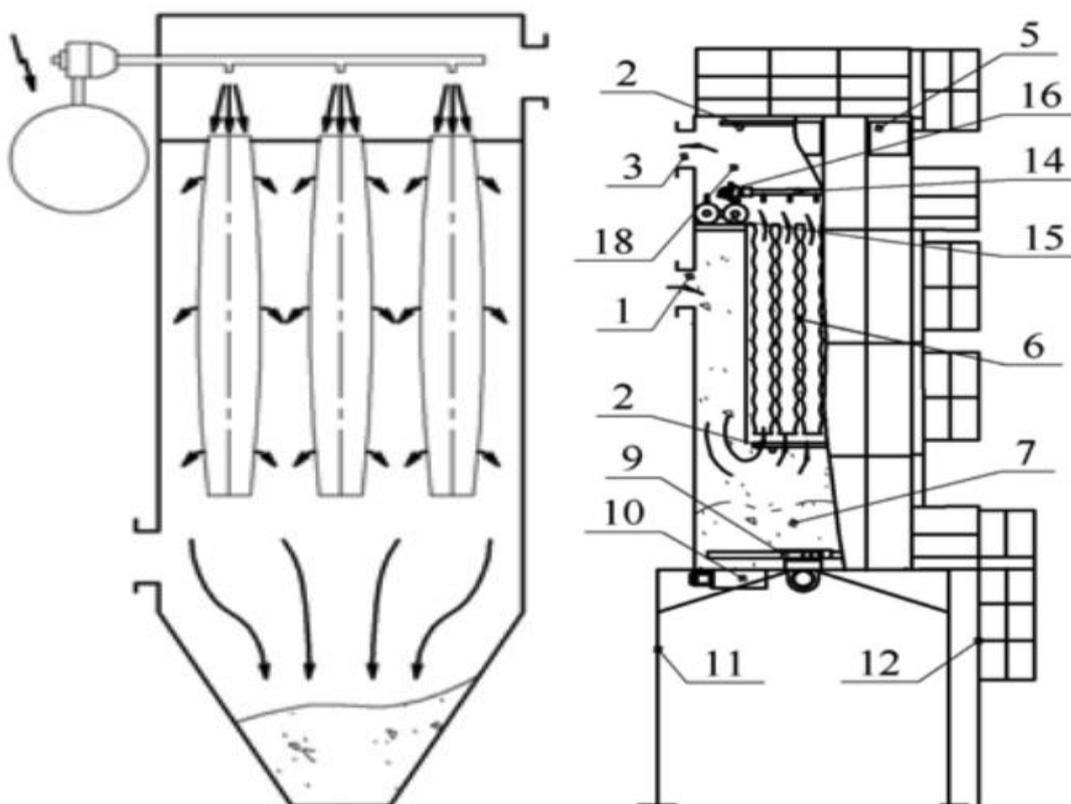
Рукавной фильтр ФРИ-630 с импульсной системой регенерации



Схема отчистки загрязненного воздуха рукавного фильтра ФРИ-630

### Приложение 3

Рукавной фильтр ФРИ-360 с импульсной системой регенерации



- 1 – входной патрубок, через который попадает газопылевой поток;
- 2 – рукав;
- 3 – выпуск очищенного воздуха наружу;
- 5 – крышка;
- 6 – блок фильтров;
- 7 – бункер накопитель (пылеосадочная камера);
- 9 – удаление накопленных отходов в бункере накопителе;
- 10 – клапановая секция;
- 11, 12 – лестницы для обслуживания;
- 14, 15 – коллекторы продувочного газа;
- 16 – корпус фильтра;
- 18 – размещение и обслуживание фильтров;