

Санкт-Петербургский государственный университет

НАБИ СЭМПСОН

Выпускная квалификационная работа

**ВОЗДЕЙСТВИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ИЗМЕНЕНИЕ
КЛИМАТА**

Уровень образования: Магистратура

Направление 05.04.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа ВМ.5797 «Геоэкология: мониторинг,
природопользование и экологическая безопасность»

Научный руководитель:
Доцент кафедры экологической
безопасности и устойчивого
развития регионов
Бобылев Николай Геннадьевич

Рецензент:
Тоннельная ассоциация
Северо-Запада
Лосин Леонид Андреевич

г. Санкт-Петербург

2023

АННОТАЦИЯ

Поскольку климат меняется глобально и локально, строительная отрасль играет важную роль в воздействии на изменение климата из-за своей деятельности, и окружающая среда будет подвержена другому климатическому воздействию, чем в прошлом. Целью данной работы является исследование критических факторов, влияющих на изменение климата вышеупомянутыми выбросами строительной отрасли. Описан воплощенный выброс углерода (углеродный след). Это исследование также могло бы пролить свет на общее влияние строительной отрасли на изменение климата. Для достижения этой цели был проведен интенсивный и тщательный обзор литературы, чтобы подчеркнуть факторы влияния строительной отрасли на изменение климата. Далее следует тематическое исследование фирмы по производству бетона под названием ООО «ПЛЕМЗАВОД «БУГРЫ», в котором производился анализ и расчет выбросов CO₂ в результате их производственной деятельности. Проведенные расчеты показали, что компания выбрасывает определенное количество углекислого газа (который является одним из вредных парниковых газов, способствующих изменению климата) в ходе своей деятельности. Описаны меры по сокращению выбросов в строительной отрасли.

ABSTRACT

As the climate change globally and locally, the construction industry plays a major role to impact on the climate change due to their activities and the built environment will be subject to different climate exposure than in the past. This paper aims to research the critical factors the aforementioned construction industry emissions impact on the climate change. The embodied carbon emission (carbon footprint) is described. This research could also shed light on the general impact of the construction industry on the climate change. To achieve this aim an intensive and careful literature review was conducted to emphasize the contribution factors of the construction industry on the climate change. This is followed by a case study of a concrete production firm called LLC «PLEMZAVOD «BUGRY» to analysis and calculate the emission of CO₂ from their production activities. The calculation conducted reviewed that the firm emits a certain amount of carbon dioxide (which is one of the harmful greenhouse gases which contributes to climate change) during their operational activities. Measures to reduce emissions from the construction industry are described.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	2
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА	5
1.1. Концепция изменения климата и глобальное потепление	5
1.2. Парниковый эффект, парниковые газы	8
1.2. Мировые выбросы CO ₂	10
1.3. Антропогенное воздействие на изменение климата	13
1.4. Последствия изменения климата	18
2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА.....	25
2.1. Деятельность по строительству жилых домов	25
2.2. Коммерческая строительная деятельность	25
2.3. Промышленное строительство	28
2.4. Влияние производства стали на изменение климата	29
2.5. Глобальные выбросы CO ₂ сталелитейной промышленности	30
3. ВОПЛОЩЕННЫЙ УГЛЕРОД СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	33
3.1. Что такое воплощенный углерод?	33
3.2. Воплощенный углерод в зданиях. Факты и цифры. Влияние зданий на выбросы углерода	34
4. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЕ ООО «ПЛЕМЗАВОД «БУГРЫ»	37
4.1. Общие сведения о предприятии	37
4.2. Краткая характеристика выполняемых работ и технологического оборудования на предприятии	37
4.3. Анализ влияния выбросов CO ₂ на изменение климата от площадки предприятия ...	43
5. СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ CO ₂ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	50
5.1. Мероприятия по снижению выбросов диоксида углерода	50
5.2. Альтернативный бетон для строительства и передовой опыт	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата и оценка его последствий – одна из наиболее актуальных и приоритетных проблем, стоящих в повестке дня международного сообщества (КПП ООС и ОБЭБ, 2020).

Бетон – это материал, используемый в строительстве здания, состоящий из твердой, химически инертного конкретного вещества, известного как заполнитель (обычно изготовленных из разных типов песка и гравия), которое связывается вместе цементом и водой (Dan Babor, Diana Plian And Loredana Judele, 2009).

Глобальная средняя температура в 2019 году была примерно на $1,1 \pm 0,1$ °C выше базового уровня 1850—1900 годов (World Meteorological Organization, 2020).

Повышение уровня концентрации парниковых газов в атмосфере является наиболее значительной причиной изменения климата. Атмосферные концентрации отражают баланс между источниками (включая выбросы) и поглотителями. Глобальные концентрации CO₂ отражают баланс между выбросами, вызванным деятельностью человека, и поглощением биосферой и океаном (World Meteorological Organization, 2020).

После воды бетон является наиболее широко используемым веществом на Земле. Если бы цементная промышленность была отдельной страной, она была бы третьим по величине источником выбросов углекислого газа в мире - до 2,8 млрд тонн, уступая только Китаю и США (Jonathan Watts, 2020).

Актуальность темы исследования заключается в том, что с каждым годом строительная отрасль увеличивает свои габариты, в связи с чем происходит изменение климата, влияющее непосредственно на человека.

Цель – проанализировать антропогенное воздействие человека на изменение климата на примере предприятия по производству бетона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. изучить литературные источники по теме исследования;
2. изучить и описать производственные процессы, источники выбросов рассматриваемого предприятия;
3. оценить влияние промышленного предприятия на климат;
4. провести анализ мероприятий по уменьшению воздействия на изменения климата от строительной промышленности.

Методы исследования: оценочный, математический и риск-ориентированного управления.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

1.1. Концепция изменения климата и глобальное потепление

Изменение климата в настоящее время рассматривается многими государствами как один из самых важных глобальных проблем нашего века (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Усугубление глобального экологического кризиса связано с демографическим взрывом и необходимостью удовлетворения растущих материальных потребностей людей, что определяет расширение масштабов хозяйственной деятельности и приводит к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду. В результате, увеличиваются проблемы глобального загрязнения окружающей среды, глобального изменения климата, разрушения стратосферного озона, истощаются природные ресурсы планеты, увеличивается число техногенных катастроф, возрастает вероятность потери устойчивости биосферы, хозяйственная емкость которой конечна (Лопатин В. Н и др., 2005).

Климатическая система Земли включает в себя атмосферу, океан, сушу и биосферу. Условия среды, включенные в эту сложную систему, описаны такими параметрами, как температура, давление, плотность, скорость и т. д. «Поведение» климатической системы, которая характеризуется циклическими процессами, может быть охарактеризовано более сложными параметрами: динамикой крупномасштабной циркуляции атмосферы и океана, частотой и силой экстремальных метеорологических явлений, границами среды обитания живых организмов и рядом других параметров. Климат определяется множеством состояний, проходимых климатической системой за характерный период в несколько десятилетий, и частотой их повторяемости. Изменение климата на глобальном уровне или для данной географической местности заключается в смене многолетнего режима погоды (Лопатин В. Н и др., 2005).

Глобальные климатические, биологические, геологические, химические процессы и природные экосистемы тесно взаимосвязаны: изменения в одном из процессов могут повлиять на других. Важно взаимодействие между атмосферой и океаном, что является основным источником экстремальных явлений погоды. Поскольку Мировой океан занимает большую часть планеты, то именно течения и циркуляция воды определяет климат многих густонаселенных регионов мира. Потенциально очень опасным является изменение циркуляции таких мощных океанических течений, как Гольфстрим. Часто между компонентами климатической системы есть обратная связь. При положительной обратной связи происходит ускоренный рост первичного негодования. Например, снижение снежного покрова из-за повышения температуры снижает альбедо - отражение солнечного излучения

обратно в атмосферу и увеличивает количество энергии, поглощаемой Землей, и это, в свою очередь, повышает температуру и приводит к еще более активному течению снега и льда. В случае отрицательной обратной связи в климатической системе активируются процессы, гасящие первичное возмущение. Например, усиление облачности, вызванное более интенсивным испарением при больших температурах, увеличивает отражательную способность планеты и уменьшает интенсивность солнечной радиации, что, в конечном счете, снижает температуру у поверхности Земли (Лопатин В. Н и др., 2005).

Согласно научно-методической литературе «Основы защиты населения и территорий в кризисных ситуациях», основными глобальными проблемами в настоящее время являются экологические с многочисленными составляющими, в том числе с глобальным изменением климата. Наиболее остро ощущаемыми человечеством объектами антропогенного воздействия на природную среду являются атмосфера, гидросфера и почва. Каждая из этих сред претерпевает деградацию, и в определенной степени это зависит от человека (Ю. Л. Воробьева, 2006).

Разрушение природной среды и активация развития опасных процессов характерны не только для урбанизированных территорий. Во второй половине 20 -го века эта тенденция приобрела глобальные масштабы. Несмотря на то, что за двадцати лет между конференциями ООН в Стокгольме (1972) и Рио -де -Жанейро (1992) 1,2 триллиона долларов было потрачено на защиту окружающей среды, экологическая ситуация на земле ухудшается. Потепление климата, отмеченное в последние годы, может значительно изменить курс развития многих опасных природных явлений. Это в первую очередь относится к экзогенным гидрометеорологическим и геокриологическим процессам. Таким образом, согласно расчетам американских экспертов, потепление на 1 градус может привести к увеличению потоков воздуха на Атлантическом побережье Соединенных Штатов на 40-60%, что, несомненно, усугубит и без того недостаточную уязвимость этой территории от тропических тайфунов и ураганов (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Планета и раньше сталкивалась с изменением климата: средняя температура Земли колебалась на протяжении 4,54 миллиарда лет истории планеты. Планета переживала длительные холодные периоды («ледниковые периоды») и теплые периоды («межледниковья») с циклами в 100 000 лет, по крайней мере, в течение последнего миллиона лет. Предыдущие эпизоды потепления были вызваны небольшим увеличением количества солнечного света, достигающего поверхности Земли, а затем усиливались большими выбросами углекислого газа из океанов по мере их нагревания (например, шипение, выделяющееся из теплой газировки) (Caitlyn Kennedy and Rebecca Lindsey, 2015).

Авторы статьи «What's the difference between global warming and climate change?» считают, что глобальное потепление также отличается от прошлого потепления своей скоростью. Текущее повышение глобальной средней температуры, по-видимому, происходит намного быстрее, чем когда-либо с тех пор, как современная цивилизация и сельское хозяйство развивались за последние 11 000 лет или около того, и, вероятно, быстрее, чем любые межледниковые теплые периоды за последний миллион лет (Caitlyn Kennedy and Rebecca Lindsey, 2015).

По мнению Л. В. Бондаренко, необходимо учитывать две стороны проблемы изменения климата. С одной стороны, безусловная опасность этого явления, из-за которой экологи связывают его с проблемами высокой степени экономической (и, следовательно, социальной) опасности. С другой стороны, климатологи считают процесс изменения климата эволюционным, который происходит в очень, очень медленном темпе, который часто напоминает климатические колебания - некоторое потепление, отмеченное в прошлом веке, может смениться похолоданием при аналогичной температуре в аналогичных исторических интервалах и т. д. (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Взгляды ученых на причины изменения климата различаются. Повышение температуры тропосферы Земли большинство ученых связывают с трансформацией состава атмосферного воздуха, обусловленного деятельностью человека (антропогенное воздействие) (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Но существуют и другие точки зрения на причины потепления климата.

Некоторые ученые ставят под сомнение существование глобального повышения температуры с антропогенными выбросами. Таким образом, многие исследователи склонны к тому факту, что приоритетная роль в климатических изменениях на земле принадлежит к глубинным океаническим течениям и развитию мощного природного течения, называемого Эль Ниньо. Ряд ученых считают, что повышение температуры воздуха связано с изменением солнечной активности, в результате которого наблюдается увеличенный поток углекислого газа в атмосферу от биоты (море, океаны, растительность). С такой интерпретацией процесса увеличения поступления углекислого газа в атмосферу Земли, доктрина техногенного воздействия на климат через парниковую эффект становится неочевидной. Эта позиция в значительной степени подтверждается сравнением массы углекислого газа, попадающего в атмосферу: техногенные доходы по массе значительно уступают естественным (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Вопреки различным мнениям о процессе изменения климата, необходимо ясно осознать причины, характер и последствия этого явления. Это может смягчить негативные последствия изменения климата.

1.2. Парниковый эффект, парниковые газы

«Парниковые газы» — это газы высокой прозрачности в видимом диапазоне и с высоким поглощением в дальнем инфракрасном диапазоне. Присутствие таких газов вызывает парниковый эффект — повышение температуры нижних слоев атмосферы планеты» («Справочник эколога», 2017).

«Основными парниковыми газами, в порядке их воздействия на тепловой баланс Земли, являются водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2), метан (CH_4) и озон (O_3)» («Справочник эколога», 2017).

Ряд парниковых газов имеет антропогенное происхождение. В результате развития промышленности, энергетики и транспорта их концентрация в атмосфере растет, что приводит к увеличению парникового эффекта, повышению средней температуры и изменению климата (Plus-one.ru, 2015).

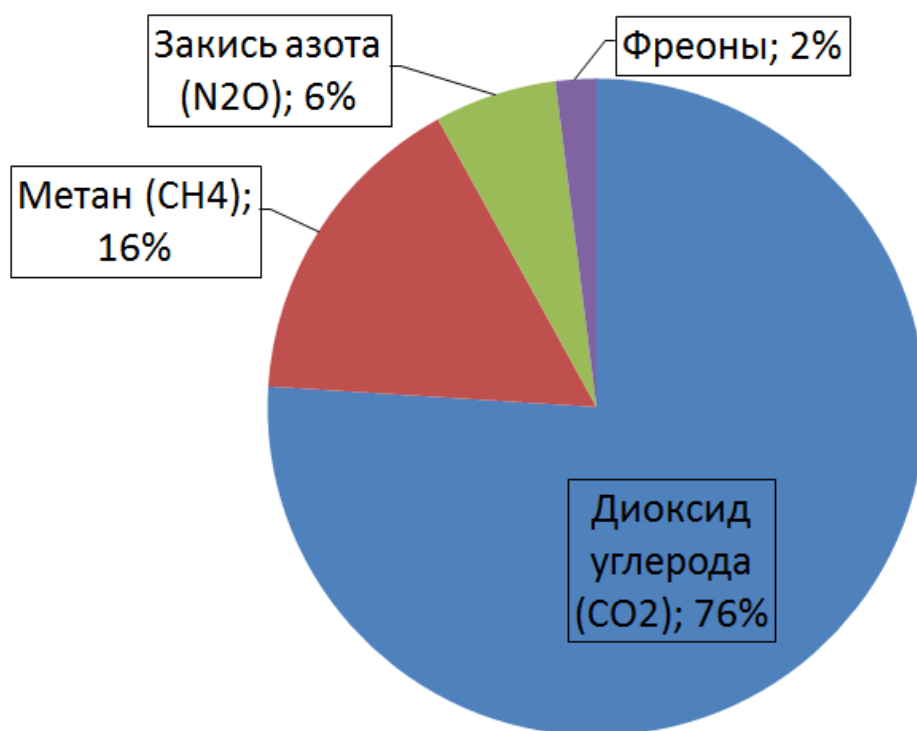
К таким газам относятся:

- Углекислый газ (он же диоксид углерода, CO_2). Попадает в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива, твердых отходов, деревьев и других биоматериалов, а также в ходе ряда химических реакций (например, при производстве цемента). На 2015 год на него приходилось 76% парниковых выбросов по всему миру;
- Метан (CH_4). Выделяется в результате сельскохозяйственной деятельности, при добыче и транспортировке угля, природного газа и нефти, а также в ходе распада органических отходов на свалках. На 2015 год составлял 16% от глобальных парниковых выбросов;
- Закись азота (он же оксид азота, N_2O). Основные источники — сельское хозяйство, промышленность, сжигание ископаемого топлива и отходов, а также очистка сточных вод. Доля закиси азота в мировых парниковых выбросах на 2015 год — всего 6%, однако парниковая активность у нее почти в 300 раз выше, чем у углекислого газа;
- Фреоны (синтетические фтор-, хлор- и бромсодержащие производные метана, этана и других насыщенных углеводородов; обозначаются такими аббревиатурами, как CFC, HFC, HCFC). Выделяются в результате различных промышленных процессов, являются наиболее мощными парниковыми газами (парниковая активность в тысячи раз выше, чем у

углекислого газа) и потому крайне опасны даже несмотря на низкую долю в общемировых выбросах (около 2% на 2015 год) (Plus-one.ru, 2015).

Для наглядности нами была построена Диаграмма №1, показывающая доли выбросов парниковых газов в процентах. Из диаграммы видно, что наибольший выброс парниковых газов приходится на диоксид углерода (CO₂).

Диаграмма №1



Доминирующий фактор в радиационном воздействии на климат в индустриальную эпоху – это повышающаяся концентрация различных парниковых газов в атмосфере (IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007).

Еще в 1827 году французский ученый Фурье дал теоретическое обоснование парникового эффекта: атмосфера пропускает коротковолновое солнечное излучение, но задерживает отраженную Землей длинноволновую тепловую энергию. В конце XIX века шведский ученый Аррениус пришел к выводу, что из-за сжигания угля изменяется концентрация CO₂ в атмосфере, и это приводит к потеплению климата. В 1957 году проводился Международный геофизический год, и наблюдения показали, что идет значительный рост концентрации CO₂ в атмосфере. Российский ученый Михаил Будыко сделал первые численные расчеты и предсказал сильные изменения климата (Кокорин А. О, 2005).

Парниковый эффект вызывается водяным паром, углекислым газом, метаном, закисью азота и рядом других менее значительных газов. Парниковый эффект был всегда, как только

у Земли появилась атмосфера. Средняя температура у поверхности Земли равна 14 °С, без парникового эффекта было бы – 19 °С то есть на 33 °С ниже (Кокорин А. О, 2005).

Особенное внимание мировое сообщество уделяет выбросам, которые в своем составе содержат хлор-, фторуглеводороды, углекислый и сернистый газы. Так как они приводят к повреждению озонового слоя, возникновению парникового эффекта, выпадению кислотных дождей (Мусина Э.Б., 2020).

Тревогу вызывает не наблюдаемое сейчас изменение температуры, а антропогенное изменение химического состава атмосферы.

Парниковый эффект хорошо изучен. Рост в атмосфере парниковых газов, (прежде всего CO₂ и метана), по расчетам ученых, может привести к гораздо более сильному, чем сейчас, потеплению климата (Кокорин А. О, 2005).

Согласно (Кокорин А. О, 2005)., «Изменение температуры – лишь сигнал, который подтверждает опасения. Проблема – в беспрецедентном росте концентрации CO₂, какого не наблюдалось в природе за всю историю человечества. Причина этого роста – прежде всего – антропогенные выбросы CO₂ в атмосферу при сжигании ископаемого топлива.»

1.2. Мировые выбросы CO₂

Совокупные выбросы углекислого газа являются доминирующей движущей силой изменения климата. Они начали расти во время промышленной революции (особенно после 1850 года), что означает, что более богатые страны, такие как Соединенные Штаты, которые рано перешли к экономической системе, основанной на ископаемом топливе, играют огромную роль в воздействии на климат, которое мы наблюдаем сегодня во всем мире (Union of Concerned Scientists, 2022).

Углеродный след (англ. carbon footprint) — совокупность всех выбросов парниковых газов, произведённых прямо и косвенно отдельным человеком, организацией, мероприятием или продуктом (Wikipedia).

Согласно отчету о выбросах CO₂ во всех странах мира за 2022 год, составленному Международным энергетическим агентством и Агентством по оценке окружающей среды Нидерландов, глобальные выбросы ископаемого CO₂ в 2021 году увеличились на 5,3% по сравнению с 2020 годом, почти достигнув уровней, предшествовавших пандемии 2019 года (Joint Research Centre, 2022).

Согласно данным (Joint Research Centre, 2022), Китай, Соединенные Штаты, ЕС-27, Индия, Россия и Япония оставались крупнейшими в мире источниками выбросов CO₂.

Вместе на них приходится 49,2% мирового населения, 62,4% мирового валового внутреннего продукта, 66,4% мирового потребления ископаемого топлива и 67,8% глобальных выбросов ископаемого CO₂. Все шесть крупнейших источников выбросов увеличили выбросы ископаемого CO₂ в 2021 году по сравнению с 2020 годом, при этом Индия и Россия показали наибольший рост в относительном выражении (10,5% и 8,1%).

Далее в Таблице №1 представлены изменения выбросов CO₂ в периоды 2019-2020, 2020-2021, 2019-2021 и совокупный средний темп роста, представляющий среднегодовой процентный рост выбросов CO₂ в период с 1990 по 2021 год (Joint Research Centre, 2022).

Таблица №1

	Глобальная доля	Изменения 2019-2020	Изменения 2020-2021	Изменения 2019-2021	Среднегодовой рост выбросов CO ₂ с 1990-2021
Китай	32,9 %	1,5 %	4,3 %	5,9 %	5,4 %
США	12,6 %	-10,9 %	6,5 %	-5,2 %	-0,2 %
Евросоюз 27	7,3 %	-10,8 %	6,5 %	-5,0 %	-1,0 %
Индия	7,0 %	-6,5 %	10,5 %	3,3 %	4,9 %
Россия	5,1 %	-4,5 %	8,1 %	3,2 %	-0,7 %
Япония	2,9 %	-7,6 %	2,8 %	-5,0 %	-0,2 %
Иран	1,9 %	3,1 %	2,9 %	6,1 %	4,1 %
Южная Корея	1,7 %	-6,9 %	3,5 %	-3,6 %	2,7 %
Индонезия	1,6 %	-8,7 %	1,9 %	-6,9 %	4,3 %
Саудовская Аравия	1,5 %	-0,4 %	2,0 %	1,6 %	4,0 %
Канада	1,5 %	-9,9 %	2,8 %	-7,4 %	0,8 %
Бразилия	1,3 %	-7,7 %	11,0 %	2,4 %	2,5 %
Южная Африка	1,2 %	-9,1 %	1,8 %	-7,4 %	1,1 %
Турция	1,2 %	-0,1 %	8,0 %	7,9 %	3,6 %
Мексика	1,1 %	-16,7 %	4,3 %	-13,1 %	1,2 %
Австралия	1,0 %	-7,4 %	-2,4 %	-9,6 %	0,9 %
Общее		-5,3 %	5,3 %	-0,4 %	1,7 %
Международная авиация	1,0 %	-45,3 %	15,4 %	-36,8 %	1,3 %
Международные перевозки	1,8 %	-2,6 %	4,9 %	2,2 %	2,1 %

В более широком смысле, из 16 стран и регионов, на каждую из которых приходится более 1% глобальных выбросов, в семи странах - Китае, Индии, России, Иране, Саудовской Аравии, Бразилии и Турции - выбросы CO₂ в 2021 году будут выше, чем в 2019 году (до пандемии), при этом Турция продемонстрировала наибольший рост (+7,9%). Для сравнения, 27 стран ЕС и восемь других стран – Соединенные Штаты, Япония, Южная Корея, Индонезия, Канада, Южная Африка, Мексика и Австралия – в 2021 году выделили меньше выбросов, чем в 2019 году, при этом Мексика продемонстрировала наибольшее снижение (-13,1%).) (Joint Research Centre, 2022).

Развитые страны, как правило, имеют высокие выбросы углекислого газа на душу населения, в то время как некоторые развивающиеся страны лидируют по темпам роста выбросов углекислого газа. Этот неравномерный вклад в климатический кризис лежит в основе проблем, с которыми сталкивается мировое сообщество в поиске эффективных и справедливых решений проблемы глобального потепления (Union of Concerned Scientists, 2022).

Рост уровня выбросов CO₂, вызванный оживлением мировой экономики, превысил тенденцию прошлых лет (+1,9 %/год в период с 2000 по 2019 г.). Выбросы CO₂ в мире увеличились на 5,4 % и достигли рекордного уровня (33 ГтCO₂) (Ежегодник Enerdata, 2021).

Среди крупнейших эмитентов выбросов только в Австралии уровень выбросов CO₂ придерживается нисходящей тенденции (-3,6 %), преимущественно благодаря 4,3-процентному сокращению в энергетическом секторе (уменьшение доли угольных и газовых электростанций в выработке энергии в пользу солнечной и ветровой энергетики). В Японии уровень выбросов CO₂ продолжает расти контролируемые темпами (+0,8 %) (Ежегодник Enerdata, 2021).

Заметный всплеск уровня выбросов CO₂ зафиксирован в Бразилии (+14 %, увеличение использования газовых электростанций, рост потребления, преимущественно нефти, в транспортном секторе), России (+9,5 %, рекордный спрос на газ, особенно в энергетическом и промышленном секторах) и в меньшей степени в США (+6,2 %). Только в одной России уровень выбросов вырос (+156 МтCO₂) практически на такую же величину, что и во всем ЕС, где больше 70 % увеличения уровня выбросов CO₂ приходится на долю Германии, Франции, Италии и Нидерландов (Ежегодник Enerdata, 2021).

Уровень выбросов CO₂ в Китае достиг рекордного значения (+6,3 %, 10,4 ГтCO₂) из-за резкого увеличения спроса на электричество в 2021 г. (+10 %) в сочетании с ухудшением коэффициента CO₂ в области выработки электроэнергии (ввод в эксплуатацию угольных электростанций суммарной мощностью около 7 ГВт в 2021 г.). (Ежегодник Enerdata, 2021).

В начале октября 2021 года организация Carbon Brief опубликовала результаты анализа общего объема выбросов углекислого газа странами с 1850 года. Исследование показало государства, несущие наибольшую историческую ответственность за чрезвычайную ситуацию с климатом. США признана крупнейшим загрязнителем на планете Земля, за ней следует Китай и Россия. Далее более ровно по общим объемам расположились страны: Бразилия, Индонезия, Германия, Индия, Великобритания, Япония и Канада. Углекислый газ остается в атмосфере в течение столетий, а совокупный объем выбросов CO₂ тесно связан с потеплением на +2°C, которое уже произошло в мире (tadviser.ru, 2022).

1.3. Антропогенное воздействие на изменение климата

Антропогенные изменения климата – изменения климата (местного климата, микроклимата), связанные с хозяйственной деятельностью человеческого общества. Они являются результатом изменения свойств земной поверхности (сведение лесов, распашка земель, осушение, орошение, застройка территории и т.д.) или непосредственно свойств самой атмосферы (нагревание воздуха индустриальными тепловыми установками; увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере в результате сжигания топлива, также приводящее к нагреванию атмосферы). В значительной степени антропогенные изменения климата связаны с ростом промышленности; в этом случае их называют еще техногенными изменениями климата. До сих пор антропогенные изменения климата распространялись преимущественно на микроклимат и местный климат, в настоящее время они начинают приобретать глобальный характер (Гидрометцентр России).

По мнению А.О. Кокорина, «Человечество нанесло химический удар по атмосфере. Данный выброс – процесс, обратный образованию угля, нефти и газа в недрах Земли. Однако скорость процесса в миллионы раз больше, чем поглощение CO_2 из атмосферы в далеком прошлом. Это явление совершенно беспрецедентно. Природа не может к нему немедленно приспособиться» (Кокорин А. О, 2005).

Николай Дронин в своей статье объясняет в чем заключается концепция изменения климата: «При сжигании ископаемого топлива (нефть, газ, уголь) выбрасывается большое количество углекислого газа. Выброс углекислого газа разогревает атмосферу, разогревает Землю. Этот процесс линейный и может произойти насыщение атмосферы углекислым газом, что приведет к коренной перестройке атмосферных процессов. Мы просто не знаем, в каком мире окажемся» (Н. Дронин, 2015).

С высокой вероятностью основной вклад в изменение климата вносит хозяйственная деятельность человека, сопровождающаяся выбросом парниковых газов. Рост их концентрации в атмосфере приводит к усилению парникового эффекта и, как следствие, повышению приземной температуры воздуха. Несмотря на то, что есть немало ученых, скептически относящихся к гипотезе о парниковом эффекте, принято говорить о существовании научного консенсуса, подтверждающего важную роль антропогенного фактора. Так, согласно исследованию Университета Иллинойса, среди 3146 исследователей (геофизиков, климатологов и др.), активно публикующих научные работы по проблеме климатических изменений, 97% согласны с тем, что человеческая деятельность является

значимым фактором, вносящим вклад в глобальное изменение климата (Макаров И.А., 2013).

Еще в конце 1800-х годов ученые выдвинули гипотезу о том, что индустриализация, движимая сжиганием ископаемого топлива для получения энергии, может изменить климат. Однако в течение многих десятилетий они не были уверены, будет ли преобладать охлаждение (из-за отражения солнечного света от загрязнения) или потепление (из-за парниковых газов) (Caitlyn Kennedy and Rebecca Lindsey, 2015).

Некоторые из основных парниковых газов образуются естественным путем, но повышение их концентрации в атмосфере за последние 250 лет вызвано в значительной степени деятельностью человека. Некоторые другие парниковые газы полностью являются результатом деятельности человека (IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007).

Под изменением климата понимают долгосрочные температурные изменения и изменение погодных условий. Хотя эти изменения могут быть естественными, как, например, циклические колебания солнечной активности, с 1800-х годов антропогенная деятельность является основным движущим фактором изменения климата, главным образом за счет сжигания ископаемых видов топлива, таких как уголь, нефть и газ (ООН).

По данным ООН, ископаемые виды топлива — уголь, нефть и газ — вносят наибольший вклад в глобальное изменение климата: на их долю приходится свыше 75 процентов глобальных выбросов парниковых газов и почти 90 процентов всех выбросов углекислого газа. Покрывая Землю, выбросы парниковых газов задерживают солнечное тепло. Это приводит к глобальному потеплению и изменению климата. В настоящее время планета нагревается быстрее, чем когда-либо в истории человечества. Повышение температуры со временем меняет погодные условия и нарушает обычный природный баланс. Это создает множество рисков для людей и всех остальных форм жизни на Земле. (ООН).

Организация объединенных наций выделяет несколько причин изменения климата:

1. Производство электроэнергии

Значительная доля глобальных выбросов связана с производством электроэнергии и тепла путем сжигания ископаемых видов топлива. Большая часть электроэнергии по-прежнему производится посредством сжигания угля, нефти или газа, в результате чего образуются углекислый газ и закись азота – мощные парниковые газы, которые покрывают Землю и задерживают солнечное тепло. Во всем мире чуть более четверти электроэнергии вырабатывается за счет ветра и солнца и поступает из других возобновляемых источников, которые, в отличие от ископаемых видов топлива, практически не выделяют в атмосферу парниковых газов или загрязняющих веществ.

2. Изготовление товаров

Предприятия обрабатывающей и других отраслей промышленности производят выбросы, в большинстве случаев являющиеся результатом сжигания ископаемых видов топлива в целях выработки энергии, необходимой для получения цемента, железа, стали, электронных устройств, пластмасс, одежды и других товаров. При добыче полезных ископаемых и других промышленных процессах, равно как и при строительстве, также выделяются газы. Машины, используемые в производственном процессе, зачастую работают на угле, нефти или газе, а некоторые материалы, такие как пластмассы, производятся из химических веществ, получаемых из ископаемых видов топлива. Обрабатывающая промышленность является одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов в мире.

3. Вырубка лесов

В результате вырубки лесов для создания ферм или пастбищ либо по иным причинам образуются выбросы, поскольку вырубаемые деревья высвобождают накопленный углерод. Ежегодно уничтожается около 12 млн гектаров леса. Поскольку леса поглощают углекислый газ, их уничтожение также ограничивает способность природы удерживать выбросы в атмосфере. Обезлесение наряду с сельским хозяйством и другими изменениями в землепользовании является причиной примерно четверти глобальных выбросов парниковых газов.

4. Использование транспорта

Большинство автомобилей, грузовиков, кораблей и самолетов работают на ископаемых видах топлива. Это делает транспорт одним из главных источников выбросов парниковых газов, особенно выбросов углекислого газа. Наибольшая их часть приходится на дорожные транспортные средства в связи со сжиганием продуктов нефтепереработки, таких как бензин, в двигателях внутреннего сгорания. При этом выбросы морских и воздушных судов продолжают расти. На транспорт приходится почти четверть глобальных выбросов углекислого газа, связанных с энергоснабжением. Существующие тенденции указывают на вероятность значительного увеличения энергопотребления в транспортном секторе в ближайшие годы.

5. Производство продуктов питания

Производство продуктов питания приводит к выбросам углекислого газа, метана и других парниковых газов разными путями, включая вырубку лесов и расчистку земель для ведения сельского хозяйства и выпаса скота, работу пищеварительных систем коров и овец, производство и применение удобрений и навоза для выращивания сельскохозяйственных культур и использование энергии для эксплуатации сельскохозяйственного оборудования или рыболовецких судов, обычно работающих на ископаемых видах топлива. Все это делает производство продуктов питания одним из основных факторов, способствующих изменению

климата. Выбросы парниковых газов также связаны с упаковкой и распространением продуктов питания.

6. Энергоснабжение зданий

В мировом масштабе жилые и коммерческие здания потребляют более половины всей электроэнергии. В связи с продолжающимся использованием угля, нефти и природного газа для целей отопления и охлаждения они выбрасывают значительные количества парниковых газов. В последние годы повышение спроса на энергию для отопления и охлаждения с ростом численности владельцев кондиционеров и увеличение потребления электричества для освещения и обеспечения работы бытовой техники и подключенных устройств способствовали увеличению выбросов углекислого газа, производимых зданиями и связанных с энергоснабжением.

7. Слишком интенсивное потребление

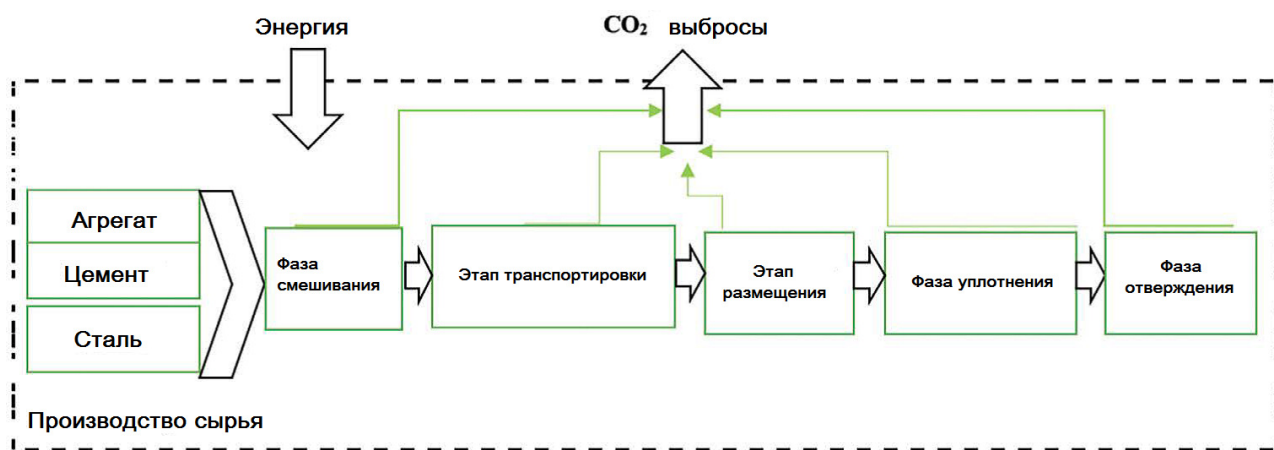
Ваш дом и использование электроэнергии, то, как вы передвигаетесь, то, что вы едите, и количество того, что вы выбрасываете, влияют на выбросы парниковых газов. Это же можно сказать о потреблении таких товаров, как одежда, электронные устройства и пластмассы. Значительная часть глобальных выбросов парниковых газов связана с частными домохозяйствами. Наш образ жизни оказывает глубокое воздействие на нашу планету. Самые состоятельные лица несут наибольшую ответственность: на 1 процент самых богатых жителей планеты в совокупности приходится больше выбросов парниковых газов, чем на 50 процентов беднейшего населения (ООН).

К основным источникам загрязнения окружающей среды относятся нефтеперерабатывающие комплексы, металлургическое, металлообрабатывающее, коксохимическое производства, электростанции, а также предприятия промышленного и бытового комплекса. Помимо вышеперечисленных отраслей, производство стройматериалов также оказывает непосредственное влияние на окружающую среду. На данную отрасль приходится до 8,1 % от общего объема выбросов (Мусина Э.Б., 2020).

Углеродный след строительной отрасли – это концепция, которая учитывает все экологические воздействия CO₂ и других парниковых газов, образующихся в ходе различных строительных работ (Yahaya Hassan Labaran, 2021).

На рисунке №1, приведенном (Yahaya Hassan Labaran, 2021), описаны некоторые процессы, которые выделяют углерод во время производства бетона на стройплощадке.

Рисунок №1



Большое количество CO₂ выделяется во время этих процессов в результате работы тяжелой строительной техники, что увеличивает общий углеродный след отрасли от различных видов деятельности, включая смешивание, транспортировку, укладку, уплотнение и отверждение;

- Выбросы CO₂ на этапе смешивания обусловлены главным образом потреблением энергии смесительными машинами. Кроме того, смесительный цилиндр, просеивание, система управления, компоненты для взвешивания и компоненты для переноса материала - все они управляются электрически, что также способствует общему выбросу CO₂ за счет его образования.

- Выбросы на этапе транспортировки объясняются загрязнением, выделяемым двигателями транспортных средств, конвейерными лентами и другим транспортным оборудованием.

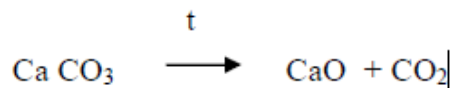
- В процессе укладки и закрепления выбросы образуются в результате потребления энергии различным оборудованием, используемым для укладки и закрепления материалов.

- Выбросы парниковых газов в процессе уплотнения обусловлены потреблением дизельного топлива/энергии роликами и вибраторами.

- И, наконец, выбросы фазы отверждения происходят главным образом из-за потребления топлива грузовиками и оборудованием, используемым для отверждения материалов (Yahaya Nassan Labaran, 2021).

Производство цемента связано с многостадийной механической и высокотемпературной переработкой сырья, характеризуется высоким энергопотреблением и существенными выбросами в окружающую среду: на него приходится около 5% энергии, потребляемой в мировой промышленности, а по выбросам CO₂ – основного парникового газа – цементное производство является одним из значительных источников выбросов парниковых газов наряду с тепловыми электростанциями (Мусина Э.Б., 2020).

Образование диоксида углерода при производстве цемента происходит в процессе декарбонизация известняка – разложения при нагреве карбоната кальция (CaCO_3), из которого в основном состоит известняк, и сжигания топлива, используемого для сушки и обжига (Коробова О.С., Михина Т.В., 2008).



Объем выбросов CO_2 в процессе декарбонизации, как правило, соответствует содержанию оксиду кальция в клинкере (или карбоната кальция в исходном сырье) и имеет относительно постоянное значение (0,5 т CO_2 на тонну клинкера). Кроме этого, сырье, использующееся для производства клинкера, может содержать небольшое количество органического углерода, который также в результате обжига сырьевой смеси превращается в CO_2 . Количество CO_2 , образующегося в результате сжигания топлива зависит от его вида (уголь, мазут или природный газ) и качества (Коробова О.С., Михина Т.В., 2008).

Данные процессы влияют на изменение климата.

1.4. Последствия изменения климата

Изменение климата приводит к разным неблагоприятным последствиям. Организация объединенных наций (ООН), выделяет следующие последствий изменения климата:

1. **Повышение температур.** С увеличением концентрации парниковых газов растет и глобальная температура земной поверхности. Последнее десятилетие – 2011–2020 годы – стало самым теплым за всю историю наблюдений. С 1980-х годов каждое десятилетие было теплее предыдущего. Почти во всех районах суши наблюдается увеличение количества жарких дней и периодов аномальной жары. Повышение температуры увеличивает количество заболеваний, связанных с жарой, и затрудняет работу на открытом воздухе. Природные пожары легче возникают и быстрее распространяются в более жарких условиях. Температура в Арктике повышалась по крайней мере вдвое быстрее, чем в среднем по миру.
2. **Усиление штормов.** Многие регионы столкнулись с увеличением интенсивности и частоты разрушительных штормов. При повышении температуры испаряется больше влаги, что усиливает ливневые дожди и наводнения, вызывая более опасные штормы. На частоту и масштабы тропических штормов также влияет потепление океана. Циклоны, ураганы и тайфуны формируются в теплых водах у

поверхности океана. Такие ураганы нередко разрушают дома и населенные пункты, становясь причиной гибели людей и огромных экономических потерь.

3. **Усиление засухи.** Изменение климата меняет степень доступности воды, делая ее более дефицитным ресурсом в растущем числе регионов. Глобальное потепление усугубляет нехватку воды в регионах, и без того испытывающих ее дефицит, и увеличивает риск сельскохозяйственных засух, влияющих на урожай, и экологических засух, повышающих уязвимость экосистем. Засухи также могут вызывать разрушительные песчаные и пыльные бури, способные перемещать миллиарды тонн песка через континенты. Пустыни расширяются, сокращая площадь земель для выращивания продовольственных культур. Сегодня многие люди постоянно сталкиваются с угрозой нехватки воды.
4. **Потепление и повышение уровня океана.** Океан поглощает бóльшую часть тепла, образующегося в процессе глобального потепления. За последние двадцать лет скорость, с которой океан нагревается, сильно возросла на всех его глубинах. По мере потепления океана его объем увеличивается, поскольку при нагревании вода расширяется. Таяние ледовых щитов также приводит к повышению уровня моря, угрожая прибрежным и островным сообществам. Кроме того, океан поглощает из атмосферы углекислый газ. При этом увеличение количества углекислого газа повышает кислотность океана, что ставит под угрозу морскую флору и фауну и коралловые рифы.
5. **Исчезновение видов.** Изменение климата создает риски для выживания видов на суше и в океане. Эти риски возрастают по мере повышения температуры. Мир, положение в котором усугубляется изменением климата, теряет виды в тысячу раз быстрее, чем когда-либо в письменной истории человечества. Миллион видов находится под угрозой исчезновения в течение следующих нескольких десятилетий. В число многочисленных угроз, связанных с изменением климата, входят лесные пожары, экстремальные погодные условия и инвазивные вредители и заболевания. Некоторые виды смогут сменить место обитания и выжить, а другие нет.
6. **Нехватка продуктов питания.** В группу причин глобального роста распространенности голода и неполноценного питания входят климатические изменения и увеличение количества экстремальных погодных явлений. Рыбные ресурсы, сельскохозяйственные культуры и домашний скот могут быть уничтожены или стать менее продуктивными. В связи с закислением океана

морские ресурсы, обеспечивающие питание для миллиардов людей, находятся под угрозой. Изменения снежного и ледяного покрова во многих арктических регионах нарушили систему снабжения продовольствием, обеспечиваемым за счет пастбищного животноводства, охоты и рыболовства. Тепловой стресс может уменьшать количество воды и пастбищ, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и негативным образом сказывается на поголовье скота.

7. ***Увеличение рисков для здоровья.*** Изменение климата – это самая большая угроза для здоровья людей. Его последствия уже наносят вред здоровью в связи с загрязнением воздуха, распространением заболеваний, возникновением экстремальных погодных явлений, вынужденным перемещением, оказанием давления на психику и обострением проблем голода и неполноценного питания в местах, где люди не могут выращивать продовольственные культуры или обеспечить наличие достаточного количества пищевых продуктов. Экологические факторы ежегодно уносят жизни около 13 млн человек. Изменение погодных условий приводит к распространению заболеваний, а экстремальные погодные явления увеличивают смертность и затрудняют работу систем здравоохранения.
8. ***Нищета и вынужденное перемещение.*** Изменение климата усиливает факторы, ввергающие людей в нищету и не позволяющие им исправить ситуацию, в которой они оказались. Наводнения могут смести городские трущобы, разрушив дома и уничтожив источники средств к существованию. Жара может затруднить работу на открытом воздухе. Нехватка воды может повлиять на урожай. В последние десять лет (2010–2019 годы) связанные с погодой явления приводили к вынужденному перемещению в среднем около 23,1 млн человек в год, повышая риск оказаться в нищете для еще большего числа людей. Большинство беженцев прибывают из самых уязвимых стран, наименее готовых адаптироваться к последствиям изменения климата.

Наблюдаемое увеличение концентраций хорошо перемешанных парниковых газов примерно с 1750 года однозначно вызвано деятельностью человека. С 2011 года (измерения приведены в AR5) концентрации в атмосфере продолжали увеличиваться, достигнув среднегодовых значений в 410 частей на миллион для двуокиси углерода (CO₂), 1866 частей на миллиард для метана (CH₄) и 332 частей на миллиард для закиси азота (N₂O) в 2019 году. На сушу и океан приходится почти постоянная доля (в глобальном масштабе около 56% в

год) выбросов CO₂ в результате деятельности человека за последние шесть десятилетий, с региональными различиями (высокая степень достоверности) (IPCC, 2021).

И. А. Макаров выделяет основные направления негативного воздействия изменения климата на мировую экономику:

1. Изменение климата окажет значительное воздействие на производство сельскохозяйственной продукции. Повышение температуры на 1°C может привести к падению урожайности трех основных сельскохозяйственных культур (пшеницы, риса и кукурузы) на 10%.

2. Таяние ледовых шапок Земли, подъем уровня моря и рост числа наводнений и ураганов повышают уязвимость прибрежных территорий.

3. Растет частота гидрометеорологических природных катастроф: наводнений, засух, волн тепла и холода, ураганов и штормов.

4. Изменение климата оказывает прямое и косвенное негативное воздействие на состояние здоровья населения планеты. Прямой эффект заключается в увеличении заболеваемости и смертности в связи со сложностью приспособления организма к новым климатическим условиям, косвенный – в увеличении заболеваемости и смертности из-за сельскохозяйственного недопроизводства в ряде регионов. Опасности для здоровья человека таятся также в расширении на север очагов ряда опасных тропических заболеваний.

5. Климатические изменения, очевидно, усугубят нехватку пресной воды, связанную в первую очередь с демографическим и экономическим ростом.

6. Изменение климата угрожает функционированию многих экосистем (Макаров И.А., 2013).

Л.В. Бондаренко в своей статье обозначает, что подъем уровня океана может привести в ряде стран к затоплению и подтоплению низменных прибрежных территорий, повышению частоты развития наводнений и площади затопляемой территории, разрушению сооружений береговой защиты и т. д. Потепление климата также будет сопровождаться повышением температуры многолетнемерзлых пород и деградацией криолитозоны, к которой относится значительная часть территории России. По данным геокриологов, в условиях Западной Сибири повышение температуры многолетнемерзлых пород на глубине 10 м к 2020 г. составит около 1°C, а к 2050 г. – 1,5–2,0°C (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Глобальное потепление будет сопровождаться увеличением количества осадков. Значительное повышение уровня Мирового океана может нарушить жизнедеятельность около 800 млн человек. Низменные побережья с расположенными на них городами и поселениями подвергнутся затоплению (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Экономический ущерб от повышения уровня мирового океана будет измеряться огромными величинами. Наиболее угрожающе последствия могут ожидать отрасли производства морепродуктов, сельское хозяйство, туризм, страховые компании, а в особенности прибрежные населенные пункты. Затопление прибрежных территорий в мировом масштабе нанесет ущерб пахотным землям и вытеснит миллионы людей из прибрежных регионов и небольших островов (Гомонов К.Г., 2015).

Так же глобальное потепление на планете вызовет оттаивание больших участков вечной мерзлоты. В этих районах значительно возрастут риски возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Возможное глобальное изменение климата отрицательно скажется на здоровье человека во многих странах (Бондаренко Л.В и др., 2018).

В.Н. Лопатин в комплекте учебных материалов " Глобальное изменение климата, проблемы и перспективы реализации Киотского протокола в Российской Федерации" отмечает, что последствия глобального потепления могут носить катастрофический характер. Повышение уровня Мирового океана на 0,5–1,0 м в результате интенсивного таяния полярных льдов вызовет затопление прибрежных густонаселенных районов. Ожидается увеличение числа и интенсивности экстремальных климатических явлений. Изменится режим выпадения атмосферных осадков, увеличится число аномально жарких и влажных лет, чаще и с большей интенсивностью будут возникать ураганы, бури, цунами, наводнения и засухи. Прогнозируемые скорости потепления в десятки раз превысят естественные скорости роста температуры, что не соответствует адаптационным возможностям многих видов живых организмов, и приведет к разрушению части экосистем. Вышеназванные тенденции достаточно ярко проявляют себя уже сегодня. Последние два десятилетия отличаются 16 самыми теплыми годами за период с 1866 г. (начало систематических наблюдений). Увеличивается ущерб, наносимый стихийными бедствиями и исчисляемый миллиардами долларов. Так, в 1998 г. ущерб от стихийных бедствий превысил величину аналогичного ущерба за все 1980-е годы (Лопатин В. Н и др., 2005).

Одним из серьезных последствий изменения климата является изменение облика планеты, сокращение ее биоразнообразия. К середине столетия может исчезнуть половина всех видов растений (Бондаренко Л.В и др., 2018).

Экосистемы сильнее всего подвержены последствиям изменения климата. В результате потепления всего лишь на 2 °С с угрозой исчезновения могут столкнуться от 15 до 40% видов. Окисление океана, происходящее в результате увеличения уровня углекислого газа, серьезно отразится на морских экосистемах и будет, вероятно, иметь негативные последствия на поголовье рыб (Гомонов К.Г., 2015).

В комплекте учебных материалов " Глобальное изменение климата, проблемы и перспективы реализации Киотского протокола в Российской Федерации" авторы выделяют несколько последствий изменения климата:

1. Продовольствие. Наиболее серьезные негативные последствия могут быть связаны с угрозой обеспечения продовольственной безопасности. Изменения климата приведут к снижению потенциальной урожайности в большинстве тропических и субтропических регионов. При увеличении средней глобальной температуры на несколько градусов, будет наблюдаться снижение урожайности в средних широтах, что не смогут компенсировать изменения в высоких широтах. В первую очередь пострадают засушливые земли. Увеличение концентрации CO₂ потенциально может быть позитивным фактором, но скорее всего будет иметь больше вторичных негативных эффектов, особенно там, где сельское хозяйство ведется экстенсивными методами.

2. Недостаток водных ресурсов. Изменения климата приводят к неблагоприятному перераспределению осадков. В северных и средних широтах с достаточно хорошим режимом выпадения осадков их количество будет возрастать. Центральные континентальные районы, вероятно, станут еще суше. Резко возрастет межгодовая изменчивость количества осадков. Следует подчеркнуть, что неблагоприятное перераспределение осадков усугубит острейшую проблему обеспечения ряда регионов пресной водой. Доклад ЮНЕП о глобальной экологической ситуации содержит прогноз о том, что к 2010 г. 60 % населения планеты будет испытывать дефицит пресной воды.

3. Здоровье населения. Непосредственное влияние теплового стресса будет ощущаться в городах, где в наихудшей ситуации окажутся наиболее уязвимые и бедные группы населения (старики, дети, люди, страдающие кардиологическими заболеваниями, и т. д.). Изменение климата будет иметь и далеко идущие побочные последствия: распространение переносчиков болезней, снижение качества воды, ухудшение качества продовольствия в развивающихся странах.

4. Экосистемы. Некоторые природные системы (ледники, коралловые рифы и мангровые заросли, тропические леса, полярные и альпийские районы), вероятно, претерпят значительные изменения, что может вызвать в их экосистемах необратимые потери. Ожидается значительное нарушение экосистем в результате пожаров, засух, наводнений, оползней и селей, заражений паразитами, появления новых для данной местности видов. Общее воздействие на дикую природу двояко: ряд наиболее многочисленных видов начнет усиленно развиваться, а редкие и уязвимые виды будут на грани вымирания. В целом изменение климата, безусловно, ведет к потерям биоразнообразия. Для многих видов

животных и растений требуемая скорость миграции будет выше их адаптационных возможностей. В результате среднее глобальное потепление на 30 °С может привести к потере биоразнообразия (так, для млекопитающих таежных и горных экосистем потери составят от 10 до 60 % числа видов).

5. Климатические изменения в Арктике. В Арктике изменения климата происходят особенно интенсивно. По сравнению с остальным миром в этом регионе темпы роста средней температуры вдвое выше. Ледяной покров тает с беспрецедентной скоростью: сейчас он уже вдвое тоньше, чем 30 лет назад. Если темпы таяния сохранятся, то в Арктике может не остаться льда уже летом 2070 г. Беспрецедентная скорость, с которой тают арктические льды, может привести к затоплению значительных территорий, исчезновению отдельных биологических видов и разрушению инфраструктуры городов. К таким выводам пришли 250 ученых из разных стран, работавших под эгидой Арктического совета (Лопатин В. Н и др., 2005).

2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

2.1. Деятельность по строительству жилых домов

Строительные материалы и строительный сектор сталкивается с двумя основными проблемами, которые выявляют заинтересованные стороны сектора в цепочке создания стоимости строительства к рискам изменения климата двумя способами.

С одной стороны, сектор способствует изменению климата через выбросы парниковых газов (ПГ), а затем подвергается налогам на выбросы углерода при производстве строительных материалов а также от электро- и теплоснабжения при строительстве. Кроме того, сектор должен решать цели декарбонизации инфраструктуры и сектора (переходные риски).

С другой стороны, заинтересованные стороны подвергаются рискам от физических изменений в окружающей среде вызванных изменением климата, например, более экстремальными погодными условиями на строительных площадках, нехватка воды и другие такие ухудшающиеся условия окружающей среды, как повышение температуры и затопление (физические риски).

2.2. Коммерческая строительная деятельность

Guggemos A.A и др. подчеркнули важность выбросов на этапе строительства на агрегированном уровне в своем исследовании (Guggemos A.A., 2005).

Они утверждали, что сосредоточение внимания только на этапе использования устранит возможность сократить выбросы здания в течение жизненного цикла. Следовательно, научная значимость изучения выбросов на этапе строительства весьма важна при рассмотрении общих выбросов здания. Эффективным методом сжатой оценки исследований выбросов на этапе строительства является их классификация по малоэтажным и многоэтажным конструкциям. Это связано с тем, что существует значительная разница в использовании материалов и машин на этапе строительства малоэтажных и высотных зданий (Malindu S.S., 2022).

Suzuki M. и Oka T. (Suzuki M.; Oka T., 1998) оценили потребление энергии и выбросы CO₂ на этапе строительства офисного здания в своем исследовании выбросов жизненного цикла с использованием входных/выходных (I/O) и технологических методов для определения потребления энергии и выбросов CO₂, соответственно. Выбросы CO₂ в

офисном здании оценивались по пяти источникам выбросов: временные работы, конструкция, отделка, оборудование и общие расходы. Результаты показали, что этапы эксплуатации и строительства здания несут ответственность за самые высокие выбросы, с соответствующим вкладом 82% и 15%, в то время как этап сноса оказывает минимальное влияние на выбросы CO₂ (Malindu S.S., 2022).

Более того, Suzuki M. и др. также провели такое же исследование выбросов на этапе строительства жилого дома (Suzuki M, 1995). В результате был сделан вывод о том, что наибольшая часть выбросов CO₂ приходится на строительные работы. Мао и др. сравнили выбросы парниковых газов при традиционном и полусборном строительстве в своем исследовании выбросов с использованием строительства высотного жилого дома в Китае (Мао С., 2013). В исследовании определены пять источников выбросов для процесса строительства, включая воплощенные выбросы строительных материалов, транспортировку строительных материалов, строительные отходы, почву и сборные компоненты, а также эксплуатацию оборудования. Данные, соответствующие всем пяти источникам выбросов, были собраны для обоих методов строительства. Для оценки выбросов была разработана количественная модель, основанная на процессах. Результаты показали, что выбросы парниковых газов составляют 336 и 368 кг/м² для обычного и полуфабрикатного строительства, соответственно. Результаты также подчеркнули преобладание выбросов материалов на этапе строительства, на долю которых приходится около 80% от общего объема выбросов. Исследование завершилось заявлением о том, что использование сборных материалов может снизить общие выбросы парниковых газов на 15% (Malindu S.S., 2022).

В тематическом исследовании, проведенном в Гонконге, оценивались выбросы парниковых газов коммерческого здания (Yan H., 2010). В исследовании определены границы системы, включающие выбросы парниковых газов при производстве и транспортировке строительных материалов, потребление энергии строительным оборудованием и перерабатывающими ресурсами, а также выбросы в результате удаления строительных отходов. Результаты показали, что около 93% выбросов связано с производством и транспортировкой материалов, тогда как выбросы, связанные с оборудованием и утилизацией строительных отходов, составляют 6% и 1% соответственно. В нем также указано, что сталь и бетон являются причиной около 95% выбросов материалов. В исследовании рекомендуется использовать переработанные материалы, транспортировать материалы по морю, а внедрение энергосберегающих

технологий строительства может снизить выбросы на этапе строительства на 10% (Malindu S.S., 2022).

Сравнительное исследование в Японии было проведено для экологической оценки строительства домов из дерева и железобетона (Gerilla G.P, 2007). Было рассмотрено использование энергии и выбраны выбросы в атмосферу, такие как CO₂, NO_x, SO₂ и PM₁₀, и использована гибридная модель на основе ввода-вывода, которая была разработана для оценки выбросов. Сравнительные результаты показали, что выбросы CO₂ определяют общие выбросы на этапе строительства по сравнению с другими рассматриваемыми выбросами с подавляющим вкладом в 93%. Однако результаты сравнения выбросов на разных этапах жизненного цикла показали разные результаты. В документе подчеркивается, что выбросы CO₂ преобладают на этапе эксплуатации по сравнению с этапами строительства, технического обслуживания и утилизации, в то время как другие загрязнители воздуха, такие как NO_x, SO₂ и PM, являются значительными на этапе строительства для обоих типов зданий. Из четырех рассматриваемых категорий воздействия парниковые газы оставались наиболее важной категорией воздействия, тогда как подкисление, эвтрофикация и токсичность для человека были менее важными. В целом было обнаружено, что железобетонные дома имеют больше выбросов по сравнению с деревянными домами, и авторы также пришли к выводу, что более высокий расчетный срок службы может снизить выбросы на 14% (Malindu S.S., 2022).

В другом исследовании Рэймонд Коул оценил выбросы энергии и парниковых газов из-за строительства на месте деревянных, стальных и бетонных конструкций (Cole R.J, 1998). Всего было использовано 15 типов древесины, 12 стальных и 12 бетонных сборок, чтобы сформировать в общей сложности 39 сборок для сравнительного исследования, а выбросы были разделены на три основные категории: транспортировка, потребление энергии и вспомогательные процессы. Этап транспортировки был дополнительно разделен на транспортировку оборудования, рабочей силы и материалов, в то время как вспомогательные процессы включали опалубку и временный нагрев для смешивания и отверждения бетона. Результаты исследования показали, что бетонные сборки ответственны за самые высокие выбросы, в то время как стальные сборки демонстрируют самые низкие выбросы. Подавляюще высокие выбросы при производстве бетонных конструкций в равной степени обусловлены использованием оборудования на месте, транспортировкой оборудования/материалов и транспортировкой рабочих. (Malindu S.S., 2022).

2.3. Промышленное строительство

Строительная отрасль оказывает значительное необратимое воздействие на окружающую среду по широкому спектру своей деятельности во время внеплощадочной, внутриплощадочной и эксплуатационной деятельности, нарушающей экологическую целостность (Uher, 1999). Согласно Левину (1997), здания вносят большой вклад в ухудшение состояния окружающей среды. Ясно, что необходимы действия, чтобы сделать застроенную среду и строительные работы более устойчивыми (Hill & Bowen, 1997; Barret et al., 1999; Cole, 1999; Holmes & Hudson, 2000; Morel и др., 2001; Scheuer и др., 2003). Поэтому при анализе воздействия строительных работ на окружающую среду, возможно, потребуется рассмотреть точку зрения «от колыбели до могилы» (Ofori и др., 2000).

Строительная отрасль является одним из крупнейших пользователей как возобновляемых, так и невозобновляемых природных ресурсов (Spence & Mulligan, 1995; Curwell & Cooper, 1998; Uher, 1999). Она в значительной степени зависит от природной среды для поставок сырья, такого как древесина, песок и заполнители для строительного процесса. По данным института World Watch (2003 г.), на строительство зданий ежегодно расходуется 40 процентов необработанных камней, гравия и песка в мире и 25 процентов первичной древесины. Он также потребляет 40 процентов энергии и 16 процентов воды в год. В Европе на австрийскую строительную отрасль приходится около 50 процентов материального оборота, создаваемого обществом в целом в год (Rohracher, 2001), и 44 процента в Швеции (Sternner, 2002). Добыча природных ресурсов вызывает необратимые изменения в природной среде села и прибрежные районы, как с экологической, так и с живописной точки зрения (Curwell & Cooper, 1998; Ofori & Chan, 1998; Langford и др., 1999). Последующий перевод этих ареалов в территориально рассредоточенные участки приводит к дальнейшему потреблению энергии, но и к увеличению количества твердых частиц в атмосфере, а следовательно и к выбросам диоксида углерода.

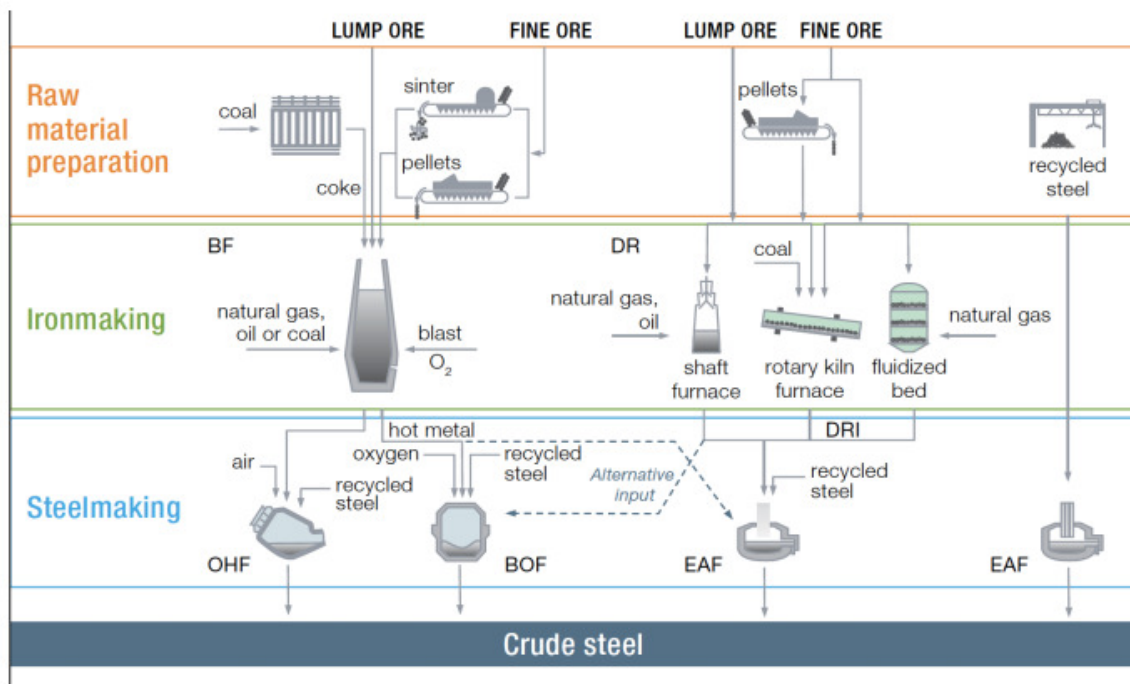
Строительство также способствует потере лесов из-за древесины, используемой в строительстве и в качестве источника энергии для производства строительных материалов. И вырубка лесов, и сжигание ископаемого топлива напрямую способствуют глобальному потеплению и загрязнению воздуха. Кроме того, строительная промышленность, считающаяся основным потребителем энергии, и использование ограниченных ресурсов ископаемого топлива для этой цели внесли значительный вклад в выбросы двуоксида углерода (Spence & Mulligan, 1995; Ofori & Chan, 1998). В Европе на строительство приходится около 40 процентов всего производства энергии (Rohracher, 2001; Sternner, 2002).

2.4. Влияние производства стали на изменение климата

Железо получают путем удаления кислорода и других примесей из железной руды. Железо производится путем удаления кислорода и других примесей из железной руды. Когда железо сочетается с углеродом, переработанной сталью и небольшим количеством других элементов становится сталью (World Steel Association, 2021). Производство чугуна и стали является одной из самых энергоемких отраслей в мире. Кроме того, использование угля в качестве основного топлива для производства чугуна и стали во всем мире означает, что производство чугуна и стали имеет одни из самых высоких выбросов углекислого газа (CO₂) среди всех отраслей промышленности. На металлургическую промышленность приходится около четверти выбросов парниковых газов (ПГ) из мирового производственного сектора (IEA 2019). Прогнозируется, что мировой спрос на сталь вырастет с 1880 млн. тонн в 2020 году до 2500 млн. тонн в 2050 г. (МЭА 2020). Индия возглавит рост производства, а Африка и Ближний Восток это два других региона с самыми высокими прогнозируемыми темпами роста производства стали за этот период (МЭА 2019). Этот значительный рост потребления и производства стали приведет к значительному увеличению абсолютного энергопотребления в отрасли и выбросов CO₂ при отсутствии значительных усилий по обезуглероживанию черной металлургии.

На рисунке №2 представлена упрощенная технологическая схема производства стали с использованием доменной печи – основной кислород. печь (BF-BOF), чугун прямого восстановления - электродуговая печь (DRI-EAF) и лом-EAF производственные маршруты.

Рисунок №2 Технологическая схема производства стали



Источник: Worldsteel 2019

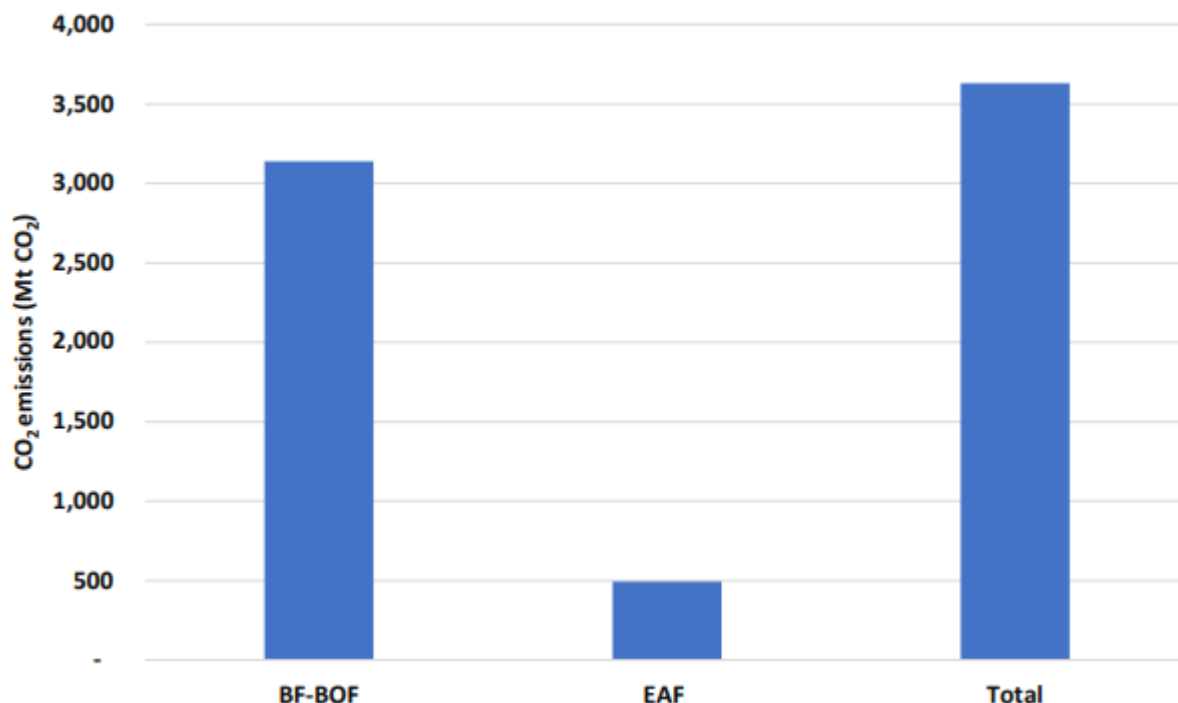
Железная руда химически восстанавливается для производства стали по одному из трех технологических маршрутов: BF-BOF, восстановление плавлением или прямое восстановление. Сталь также производится путем прямой плавки лома в ЭДП. На сегодняшний день наиболее распространены производственные маршруты BF-BOF и EAF. В 2020 году БФ-БКФ на производственный маршрут приходилось примерно 72% произведенной нерафинированной стали. по всему миру, а на производство ЭДП приходилось примерно 28% (Worldsteel.,2021). Железо и сталь может производиться на отдельных предприятиях или на металлургическом комбинате, где железная руда перерабатывается в чугун/горячий металл или DRI, а затем перерабатывается в сталь на том же предприятии.

2.5. Глобальные выбросы CO₂ сталелитейной промышленности

В 2019 году мировая сталелитейная промышленность произвела около 3,6 гигатонн выбросов CO₂ (Гт CO₂). (Диаграмма №2). Авторы использовали данные об энергопотреблении МЭА (2021 г.) для оценки общих выбросов CO₂ в сталелитейной промышленности. и средневзвешенная интенсивность выбросов CO₂ при производстве стали в доменных и конвертерных доменах и в ЭДП по странам/ регион, включенный в это исследование, для оценки общих глобальных выбросов для каждого маршрута производства стали. На эти 16 основных стран/регионов-производителей стали, включенных в данное исследование, приходится 87% от общего объема мировое

производство стали, 92% производства стали в доменных конвертерах и 75% в производстве стали в электродуговой печи (Ali H.,2022)

Диаграмма №2. Глобальные выбросы CO₂ сталелитейной промышленности в 2019 г. по типам процессов



Источник: Ali H.,2022

Мировое производство стали BF-BOF выбрасывает около 3,1 Гт CO₂, а мировое производство стали EAF выбросы CO₂ в 2019 году составили около 0,5 Гт. Высокая интенсивность выбросов CO₂ в ЭДП в Китае и Индии из-за того, что они используют большую долю передельного чугуна или угольного железа прямого восстановления (DRI) в качестве сырья вместо стального лома в ЭДП приводит к увеличению глобальных выбросов CO₂ в ЭДП. Авторы также оценивают общие выбросы CO₂ от сталелитейной промышленности в каждой из стран, изучили на основе оценок интенсивности выбросов CO₂ для BF-BOF и EAF по странам и объем производства в каждой стране. В таблице 2 показаны результаты этого анализа с Китаем. На основе общих выбросов сталелитейной промышленности, представленных выше, и глобальных выбросов парниковых газов 52 Гт CO₂-экв. в 2019 г. (включая выбросы парниковых газов, не связанных с CO₂), согласно данным ЮНЕП (2020 г.) на мировую сталелитейную промышленность приходится около 7% от общего объема глобальных выбросов парниковых газов. На основе общих выбросов сталелитейной промышленности, представленных выше, и глобальных выбросов CO₂ в 33 Гт CO₂ в 2019 году, согласно данным МЭА (2020с), на мировую сталелитейную

промышленность приходится около 11% общие глобальные выбросы CO₂. Стоит подчеркнуть, что выше только годовые выбросы парниковых газов Китая и США. чем ежегодные выбросы CO₂ мировой сталелитейной промышленности.(Ali H.,2020)

Таблица 2. Суммарные выбросы CO₂ от производства стали в изучаемых странах и остальных мире в 2019 году (в млн тонн CO₂).

Страны	Общий CO ₂ выбросы отсталелитейная промышленность (млн тонн CO ₂)	Доля от общегвыбросы (%)
Китай	1967	54,1
Остальной мир	634	17,4
Индия	239	6,6
Япония	187	5,1
Южная Корея	117	3,2
Россия	108	3,0
США	84	2,3
Германия	56	1,5
Бразилия	55	1,5
Украина	49	1,3
Вьетнам	34	0,9
Турция	34	0,9
Франция	20	0,6
Мексика	19	0,5
Италия	18	0,5
Канада	15	0,4

Источник: Ali H, Ph.D.,2020

3. ВОПЛОЩЕННЫЙ УГЛЕРОД СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

3.1. Что такое воплощенный углерод?

По данным Всемирного совета по экологическому строительству (WGBC), воплощенные выбросы углерода связаны с материалами и процессами строительства на протяжении всего жизненного цикла здания или инфраструктуры. WGBC сообщает, что воплощенный углерод включает в себя добычу материала, транспортировку к производителю, производство, транспортировку на площадку, строительство, этап использования (например, карбонизация бетона, но исключая эксплуатационный углерод), техническое обслуживание, ремонт, замену, реконструкцию, демонтаж, переработка и утилизация. Совет по экологическому строительству Великобритании (UKGBC) придерживается аналогичной точки зрения и соглашается со своими коллегами из WGBC в том, что в некоторых случаях он может также включать техническое обслуживание, замену, демонтаж, утилизацию и окончание срока службы материалов и систем, из которых состоит здание (Hamish C., 2022).

Если мы посмотрим повнимательнее, то увидим, что для строительства здания требуется огромное количество энергии и что каждый шаг в процессе строительства приводит к выбросам углерода. Эти выбросы обычно называют воплощенным углеродом. До недавнего времени мы концентрировали свое внимание на энергии, используемой для питания, обогрева, охлаждения и вентиляции зданий, поскольку эти операционные источники являются значительными. Строительные нормы и стандарты эволюционировали, чтобы обеспечить постоянное повышение энергоэффективности. В настоящее время мы проектируем высокоэффективные конструкции, которые потребляют лишь часть энергии, потребляемой зданиями, построенными 10–20 лет назад. Эти высокоэффективные конструкции помогают владельцам зданий достичь цели полного нулевого энергопотребления. Для проектной, производственной и строительной отраслей крайне важно решить проблему воплощенного углерода, чтобы достичь социальных целей по сокращению выбросов углерода. Основываясь на исследовании Architecture 2030, во всем мире мы добавляем около 6,13 миллиарда квадратных метров новых зданий в год, что соответствует 3 729 миллионам метрических тонн CO₂. В период с 2020 по 2050 год объемы воплощенных выбросов углерода и эксплуатационных выбросов углерода станут примерно равными. Другими словами, доля воплощенного углерода в углероде жизненного цикла наших зданий становится важной частью уравнения общих выбросов. Это усугубляется тем фактом, что решения, связанные с выбором материалов и присущих

им воздействий, принимаются в начале жизненного цикла здания, и невозможно изменить или уменьшить эти воздействия после завершения строительства (PCL construction. 2021).

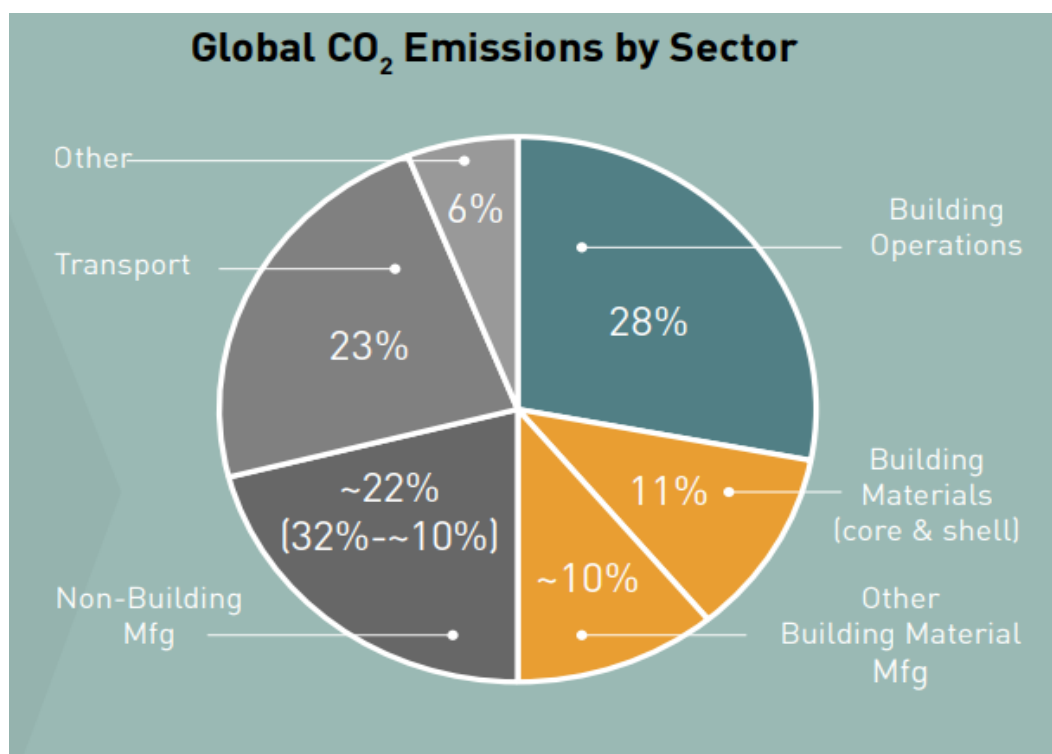
3.2. Воплощенный углерод в зданиях. Факты и цифры. Влияние зданий на выбросы углерода

Во всем мире на строительный сектор приходится почти 40% мирового выброса углекислого газа, связанного с энергетикой. Выбросы при строительстве и эксплуатации зданий (включая влияние производства электроэнергии на начальном этапе) (UNEP и IEA, 2017).

Текущие строительные нормы и правила касаются рабочей энергии, но обычно не обращаются к воздействиям, «воплощенным» в строительстве материалов и изделий. Однако более половины всех выбросов парниковых газов связаны с управлением материалов (включая добычу и производство материалов), когда агрегированы по отраслям промышленности (OECD, 2019).

Поскольку строительные операции становятся более эффективными, эти воплощенные воздействия, связанные с производством строительных материалов, становятся все более значительными.

Диаграмма №3



Источник: Adapted from 2019 Global Status Report, Global Alliance for Building and Construction (GABC) and Architectur 2030.

Рисунок №3. Выбросы углерода в здании: «Предварительный» воплощенный углерод и операционный углерод



Воплощенный углерод «Upfront»
Производство, транспорт и монтаж
строительных материалов

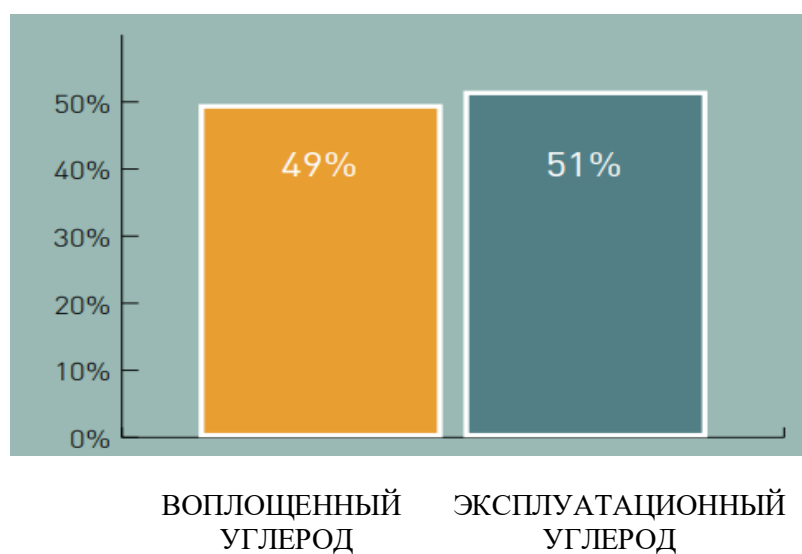
Эксплуатационный углерод
Энергопотребление здания

Источник: Skanska USA

Диаграмма №4. Общие выбросы углерода глобального нового строительства с 2020-2050

Бизнес как обычная Проекция

% Выбросы углерода



Источник: © 2018 2030, Inc. / Architecture 2030. All Rights Reserved. Data Sources: UN Environment Global Status Report 2017; EIA International Energy Outlook 2017

С сегодняшнего дня и до 2060 года население Земли будет удваивать площади зданий, что эквивалентно строить целый Нью-Йорк каждый месяц в течение 40 лет. Большая часть углеродного следа этих новых зданий придется на форму воплощенного углерода — выбросы, связанные с производством строительных материалов и строительством.

Воплощенный углерод будет ответственный за почти половину всего нового строительства выбросы между настоящим и 2050. В отличие от эксплуатационных выбросов углерода, которые можно уменьшить со временем благодаря реконструкции энергоэффективных зданий и использование возобновляемых источников энергии, воплощенные выбросы углерода запираются на месте, как только здание построено (<https://carbonleadershipforum.org>)

4. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЕ ООО «ПЛЕМЗАВОД «БУГРЫ»

4.1. Общие сведения о предприятии

Полное наименование предприятия: Общество с ограниченной ответственностью «Племенной завод «Бугры»

Краткое наименование юридического лица: ООО «Племзавод «Бугры»

Производственная площадка находится по адресу: 188660, Ленинградская область, район Всеволожский, поселок Бугры, улица Шоссейная, дом 33-а. Кадастровый номер: 47:7:713003:89, площадь 60 401 м², категория земель: земли населенных пунктов для использования в целях эксплуатации пункта технического обслуживания.

ООО «Племзавод «Бугры» занимается производством товарного бетона и сухих смесей.

Режим работы предприятия – с 9-00 до 18-00 часов (5 дней в неделю).

Количество сотрудников – 55 человек.

4.2. Краткая характеристика выполняемых работ и технологического оборудования на предприятии

Нами были изучены технологические процессы и источники выбросов в атмосферный воздух рассматриваемого предприятия.

Источник выброса – сооружение, техническое устройство, оборудование, которые выделяют в атмосферный воздух загрязняющие вещества (ФЗ №96 от 04.05.1999).

На территории предприятия, согласно данным (Приложение 1), располагаются следующие структурные подразделения, которые имеют выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

- Склады хранения инертных материалов;
- Бетоносмесительный узел (БСУ);
- Цех вибропрессовых изделий (ВПИ);
- Участок окраски;
- Ремонтно-механические мастерские:
 - Участок металлоизделий;
 - Участок плоских каркасов;
- Участок приготовления сухих смесей;
- Кафе;

- Дизель-генератор;
- Котельная;
- Автотранспорт.

Ниже представлено описание технологических процессов и оборудования, являющихся источниками загрязнения атмосферы.

Склады хранения инертных материалов

Доставка инертных материалов осуществляется собственным грузовым автотранспортом. Периодичность доставки – два грузовых автомобиля в неделю / один грузовой автомобиль в час. Хранение разных фракций инертных материалов организовано на открытой площадке предприятия. Склады хранения закрыты с трех сторон бетонными плитами и поделены на секции.

Годовое количество используемых материалов составляет:

Щебень (гранитной фракции 5-20) – 29920 т/год;

Песок намывной (мк 1,8 - 2,5) – 20800 т/год;

Инертные материалы со склада хранения с помощью погрузчиков поступают на Бетоносмесительный узел (БСУ) и в Цех вибропрессовых изделий (ВПИ).

Бетоносмесительный узел (БСУ)

Бетоносмесительный узел расположен на улице и включает в себя:

- смеситель EVROMEK FAST 100;
- загрузочные бункера – 4 шт. (одновременно 4 шт.);
- силоса для цемента – 4 шт. (одновременно 4 шт.);
- помещение для хранения добавок для бетона.

Производительность БСУ – 80 м³/час и около 6000 м³/месяц.

На участке установлены четыре загрузочных бункера объемом по 20 м³ каждый.

Погрузчик (объем ковша 3 м³) перемещает щебень и песок с открытого склада в бункера.

Годовое количество используемых материалов составляет:

Щебень – 29920т/год;

Песок – 15600т/год.

Погрузчик работает максимально 5 часов в день. Протяженность движения – 200 метров. Интенсивность – 1 погрузчик в день / 1 погрузчик в час.

Непосредственно у смесительной установки EVROMEK FAST 100 установлены четыре силоса объемом 120 м³ каждый для цемента. Годовое количество используемого цемента составляет 7000 т/год.

В отдельном помещении установлены емкости для хранения химических добавок для бетона (Цемактив). Годовое количество используемых добавок составляет 40000 л/год.

В смесителе щебень, цемент, песок, химические добавки и вода смешиваются и получают на выходе бетонную смесь, которая загружается в автобетоносмеситель и отправляется непосредственно заказчику или на объект строительства.

Цех вибропрессовых изделий (ВПИ)

Цех вибропрессовых изделий расположен в отдельном здании. С торца здания, в нише, закрытой пологом расположены четыре загрузочных бункера (одновременно 4 ед.) объемом 20 м³ каждый. Погрузчик (объем ковша 3 м³) перемещает керамзит, песок и крошку гранитную с открытого склада в бункера.

Годовое количество используемых материалов составляет:

Цемент - 1 цементный силос объёмом 70 м³, подача цемента в смеситель шнековым транспортёром закрытого типа с приводом от электродвигателя.

Керамзит (влажность 5-7 %) – 70 т/год;

Песок (влажность более 3%) – 2600 т/год;

Крошка гранитная (влажность 5-7 %) – 1560 т/год.

В цехе осуществляется изготовление жесткого бетона, изделий под прессом в металлических формах.

В соответствии с рецептурой из бункеров материал поступает на весы, где взвешивается и ссыпается в скиповый подъемник. Материал из скипового подъемника ссыпается в смеситель, туда добавляется цемент, вода и все перемешивается. Весовой дозатор, скиповый подъемник, смеситель расположены в отдельном закрытом помещении ниже уровня земли.

Из смесителя готовая масса влажностью 20-22 % по транспортерной ленте подается на установку, где формируются изделия. Сформированные изделия сохнут без подогрева в естественных условиях в камерах созревания в течение 3 суток.

Готовые изделия оборачивают полиэтиленовой лентой и через ворота цеха автопогрузчиком вывозят на улицу.

Погрузчик работает максимально 4 часа в день. Протяженность движения – 200 метров. Интенсивность – 1 погрузчик в день/ 1 погрузчик в час.

Погрузчик работает максимально 30 минут в день. Протяженность движения – 200 метров. Интенсивность – 1 погрузчик в день/ 1 погрузчик в час.

Непосредственно у цеха ВПИ установлен силос объемом 90 тонн для цемента. Происходит закачка цемента в силос пневмотранспортом.

Участок окраски

Участок окраски расположен в отдельно стоящем ангаре. На участке осуществляется окраска дверей, деталей и металлоконструкций. Перед окраской детали обезжириваются и грунтуются, далее наносится эмаль. Для окраски применяется грунтовка ГФ-021, эмаль ПФ-115, растворитель уайт-спирит.

Обезжиривание, грунтовка и окраска изделий осуществляется из пульверизатора на двух рабочих местах (одновременно в работе 2 раб. места).

Ремонтно-механические мастерские

Ремонтно-механические мастерские расположены в отдельном ангаре, и включают в себя:

- участок металлоизделий;
- участок плоских каркасов.

Участок металлоизделий

На участке установлено следующее оборудование:

- токарный станок – 2 ед. (одновременно 2 ед.);
- вертикально-фрезерный станок – 1 ед.;
- горизонтально-фрезерный станок – 1 ед.;
- сверлильный ленточнопильный станок – 1 ед.;
- радиально-сверлильный станок – 1 ед.;

Станки металлообрабатывающие работают как с применением смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), так и без нее. В качестве СОЖ используется эмульсол.

Сварочные работы производятся на 6 постах (одновременно 6 ед.) методом полуавтоматической сварки проволокой СВ08Г2С. Количество израсходованной проволоки – 5322 кг/год.

Участок плоских каркасов

На участке осуществляются сварочные работы на 4 постах (одновременно 4 ед.) методами электродуговой сварки с использованием электродов ОЗС-4 и УОНИ 13/45.

Участок приготовления сухих смесей

Участок расположен в части ангара. На участке происходит приготовление сухих смесей: цпс, шпатлевка белая и серая. Участок производит 4800 т сухой продукции за смену (8 часов), 1209600 т/год.

Кафе

Кафе расположено на первом этаже административного здания и занимается приготовлением блюд для работников предприятия. В кафе один зал рассчитанный на 40 посадочных мест. Среднесуточное количество приготавливаемых блюд – 200 ед.

Горячий цех. Оборудование горячего цеха используется для приготовления горячих и холодных блюд, доводки полуфабрикатов до готовности. Технологическое оборудование включает: газовая плита – 1 ед., пароконвектомат - 1 ед., фритюрница – 1 ед.

Кондитерский цех. В данном цехе происходит взвешивание сыпучих компонентов: мука, сахар, соль, а так же выпечка булочек из дрожжевого теста.

Моечная. Мойка столовой и кухонной посуды осуществляется в посудомоечной машине поточного типа и в моечной ванне.

Котельная

Котельная служит для выработки тепла. Аварийного и резервного топлива нет. В котельной установлены два водогрейных котла FerrolіGN2N 11 и FerrolіGN2N 09.

Номинальная теплопроизводительность котлов составляет:

- котёл № 1 мощность 198 кВт (0,17 Гкал/ч);
- котёл №2 мощность 162 кВт (0,4 Гкал/ч).

Фактическая теплопроизводительность котлов составляет:

- котёл № 1 мощность 198 кВт (0,17 Гкал/ч);
- котёл №2 мощность 162 кВт (0,4 Гкал/ч).

Дымовые газы от котлов отводятся в индивидуальные трубы высотой 13 м., диаметром – 215 мм.

Котельная на природном газе работает в соответствии с режимными картами работы котлов.

Котёл № 1 работает 8760 ч/год. Максимальный расход топлива 24,4 м³/ч. Годовой максимальный расход топлива – 213,744 тыс. м³/год.

Котёл № 2 работает 5000 ч/год. Максимальный расход топлива 18,9 м³/ч. Годовой максимальный расход топлива – 94,5 тыс. м³/год.

Дизель генератор

На улице установлен дизель-генератор ГЕКО-250 зарубежного производства для выработки электроэнергии.

Максимальная мощность дизель-генератора 250 кВт.

Эксплуатационная мощность - 200 кВт.

Годовой расход топлива – 40 тонн/год. Объем топливного бака 460 литров.

Время работы дизель-генератора – 2000 ч/год.

Подвоз топлива осуществляется специальными автомобилями - цистернами для перевозки нефтепродуктов, работающими на дизельном топливе (один топливозаправщик в сутки (1 в час), грузоподъемность автомашин 45 тонн, и оборудованными системой рекуперации паров бензина. Заправка ДГУ топливом производится только при неработающем моторе.

Слив дизельного топлива из автоцистерны в бак ДГУ осуществляется через сливное отверстие, максимальный объем слитого из топливозаправщика топлива - 8 м³, время слива – 2700 сек.

Автотранспорт

На балансе предприятия имеется следующий автотранспорт:

<i>Марка автотранспорта</i>	<i>Кол-во, шт</i>	<i>Вид топлива</i>
Автобетононасос СІFA	1	Дизельный
Автобетоносмеситель на шасси КАМАЗ 53229	1	Дизельный
Кран МКГ-25.01А	1	Дизельный
Погрузчик JSB 4СХ	1	Дизельный
Погрузчик фронтальный HYUNDAI 740-7	1	Дизельный
Газель Валдай 331061	1	Дизельный
Автокран КС-55713 на шасси КАМАЗ 55111	1	Дизельный
КАМАЗ 65222-43	1	Дизельный
Экскаватор HYUNDAI ROBEX 210LC-7	1	Дизельный
Каток Bomag 151	1	Дизельный

На территории предприятия организована открытая автостоянка, рассчитанная на 10 машино/мест.

Вся дорожная техника и весь грузовой автотранспорт находятся на объектах строительства. Техническое обслуживание (ТО) и технических ремонт (ТР) автотранспорта осуществляется на территории обслуживающих организаций. ТО и ТР автотранспорта на территории предприятия не осуществляется.

Заправка дизельных автопогрузчиков осуществляется по договору обслуживания с помощью канистры на территории предприятия.

Доставка материалов и вывоз продукции осуществляется собственным автотранспортом предприятия. Периодичность въезда-выезда 45 автомобилей в день/ 6 автомобилей в час.

Вывоз отходов с территории предприятия производится дизельным грузовым автомобилем грузоподъемностью 8 тонн. Периодичность въезда-выезда в дневное время суток: 1 автомобиль в день/ 1 автомобиль в час.

Проезд автотранспорта, мусоровоза, топливозаправщика, а также автотранспорта по подвозу продуктов для кафе, по территории промплощадки стилизован как внутренний проезд с максимальной протяженностью – 250 метров.

Очистка выбросов загрязняющих веществ на предприятии не производится.

4.3. Анализ влияния выбросов CO₂ на изменение климата от площадки предприятия

Согласно данным (Приложение 1), предприятие производит бетонную смесь объемом 20 м³ в час.

На рассматриваемом объекте, диоксид углерода выделяется при работе автотранспорта, автопогрузчиков, при работе котельной, обогревающей здания предприятия, от дизель-генераторной установки, подающей электроэнергию. А так же диоксид углерода выделяется от производства бетонной смеси, так как в бетоне содержится цемент, который, в свою очередь, является источником большого количества диоксида углерода.

Сколько CO₂ в бетоне?

- Бетон использует около 7% и 15% цемента по весу в зависимости от требований к производительности для бетона. Среднее количество цемента составляет около 250 кг/м³. Один кубический метр (М3) бетона весит приблизительно 2400 кг. В результате примерно от 100 до 300 кг CO₂ воплощено на каждый кубический метр бетона, производимый или приблизительно от 5% до 13% от веса производного бетона, в зависимости от конструкции смеси.

- Значительная часть CO₂, производимого во время производства цемента, реабсорбируется в бетон в течение жизненного цикла продукта посредством процесса, называемого карбонизацией. Одно исследование оценивает, что от 33% до 57% CO₂, излучаемого из кальцинирования, будет реабсорбировать за счет карбонизации бетонных поверхностей в течение 100-летнего жизненного цикла. (Бетонный информационный бюллетень CO₂, Июнь 2008)

Согласно мировым данным (OECD, Dr. Chris Bataille Associate Researcher, IDDRI & Adjunct Professor, Simon Fraser University, 2019), в совокупности выбросы CO₂ от бетонной промышленности составляют около 2,3 млн тонн.

При производстве и использовании обычного портландцемента, используемого в бетоне, образуется 0,81 тонны CO₂ на 1 тонну цемента. Выбросы CO₂ при производстве бетона прямо пропорциональны содержанию цемента (Wikipedia).

Считается, что на бетон на всех этапах производства приходится 4-8% мирового выбросов CO₂. Среди материалов только уголь, нефть и газ являются большим источником парниковых газов. Половина выбросов CO₂ из бетона образуется при производстве клинкера, наиболее энергоемкой части процесса производства цемента (Jonathan Watts, 2020).

Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, в %: - 70-20 (Пыль цемента). Химический состав цементной пыли зависит от химического состава клинкера, а также добавок (шлака доменного, электротермофосфорного, активных минеральных добавок и т.п.) (Dan Babor, Diana Plian And Loredana Judele, 2009).

Диоксид углерода является газообразным продуктом сжигания ископаемого топлива, такого как газ и дизельное топливо. Этот газ задерживается в нашей атмосфере, создавая “парниковый эффект”, который нагревает Землю в течение длительного периода времени (eSUB construction software, 2017).

Расчет выбросов CO₂

По инвентаризации выбросов предприятия, нами был рассчитан объем выбросов парниковых газов в эквиваленте тонны двуокиси углерода.

Согласно методике (Приказ №371 от 27 мая 2022 г.), определение выбросов парниковых газов от стационарного сжигания топлива, возникающие в результате сжигания всех видов газообразного, жидкого и твердого топлива в котельных агрегатах, турбинах, печах, инсинераторах и других теплотехнических агрегатах, осуществляемого с целью выработки тепловой и/или электрической энергии для собственных нужд организаций или отпуска потребителям, а также для осуществления иных технологических операций (Приказ №371 от 27 мая 2022 г.).

Количественное определение выбросов CO₂ от стационарного сжигания топлива выполняется расчетным методом по отдельным источникам, группам источников или организации в целом по формуле

$$E_{CO_2,y} = \sum_{j=1}^n (FC_{j,y} \times EF_{CO_2,j,y} \times OF_{j,y})$$

где:

E_{CO_2} - выбросы CO_2 от стационарного сжигания топлива за период u , т CO_2 ;

$FC_{j,y}$ - расход топлива j за период u , тыс. m^3 , т, т у.т. или ТДж;

$EF_{CO_2,j,y}$ - коэффициент выбросов CO_2 от сжигания топлива j за период u , т $CO_2/ед.$;
(принимается по таблице 2, согласно Методики)

$OF_{j,y}$ - коэффициент окисления топлива j , доля; (равен 1 для всех видов газообразного и жидкого топлива, в соответствии с пунктом 1.7 Методики)

j - вид топлива, используемого для сжигания;

n - количество видов топлива, используемых за период u .

$$FC_{j,y} = FC'_{j,y} \times k_{j,y}$$

где:

$FC_{j,y}$ - расход топлива j в энергетическом эквиваленте за период u , т у.т.;

$FC'_{j,y}$ - расход топлива j в натуральном выражении за период u , т или тыс. m^3 ;

$k_{j,y}$ - коэффициент перевода в тонны условного топлива, т у.т./т, т у.т./тыс. m^3
(принимается по таблице 3, согласно Методики).

Таблица №3

Коэффициенты перевода расхода топлива в энергетические единицы, коэффициенты выбросов CO_2 и содержание углерода по видам топлива

Виды топлива	Коэффициенты перевода в тонны условного топлива и энергетические единицы ($k_{j,y}$)		Коэффициенты выбросов ($EF_{CO_2,j,y}$)
	Единица измерения	т у.т./т (тыс. m^3)	т CO_2 /т у.т.
Газ горючий природный (естественный)	тыс. m^3	1,129	1,59
Топливо дизельное	тонна	1,450	2,17

Предприятие ООО «Племзавод «Бугры» эксплуатирует собственную котельную для обогрева производственных и административных зданий. Котельная работает на природном газе с расходом топлива 308,244 тыс. m^3 в год. Далее в таблице №4 представлен расчет CO_2 от котельной согласно методике (Приказ №371 от 27 мая 2022 г.).

Таблица №4

Расчет CO_2 (Котельная)		
Вид используемого топлива:	Газ горючий природный (естественный)	
Расход топлива:	308,244	тыс. m^3
k	1,129	т у.т./т
F_{cju}	348,007	т у.т.
EF	1,59	т CO_2 /т у.т.
OF	1	доля

E_{CO_2}	553,33	тонн
------------	---------------	------

Так же на балансе рассматриваемого предприятия имеется дизель-генераторная установка для подачи электрической энергии. Установка работает на дизельном топливе с расходом 40 тонн в год. Далее в таблице №5 представлен расчет CO_2 от дизель-генераторной установки согласно методике (Приказ №371 от 27 мая 2022 г.).

Таблица №5

Расчет CO_2 (Дизель-генераторная установка)		
Вид используемого топлива:	Топливо дизельное	
Расход топлива:	40	тонн
k	1,45	т у.т./т
$F_{сж}$	58	т у.т.
EF	2,17	т CO_2 /т у.т
OF	1	доля
E_{CO_2}	125,9	тонн

Всего от стационарных источников сжигания топлива выбрасывается **679,23** тонн в год CO_2 .

Далее оценим выбросы CO_2 от передвижных источников выбросов (автотранспорта).

Автомобильный транспорт производит значительное количество выбросов парниковых газов, таких, как диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4) и закись азота (N_2O). По методологии МГЭИК автомобильный транспорт, как один из источников эмиссий парниковых газов, входит в модуль «Энергетическая деятельность», так как выбросы парниковых газов от автотранспорта связаны со сжиганием топлива. При оценке выбросов парниковых газов можно использовать национальные факторы эмиссий или факторы эмиссий парниковых газов по умолчанию, предложенные в Справочном руководстве МГЭИК (СРО энергоаудиторов).

Расчеты выбросов от транспортных средств основаны на данных об общем потреблении топлива. Удельная теплота сгорания и коэффициенты выбросов для каждого типа топлива были частично рассчитаны с учетом специфики используемого топлива (СРО энергоаудиторов).

Методика расчета выбросов от сжигания топлива от автомобильного транспорта подразделяется на две части: оценка эмиссий двуокиси углерода и оценка эмиссий других газов. Оценка выбросов CO_2 лучше всего рассчитывается на основе количества и типа сгораемого топлива и содержания углерода в нем. Количество окисленного углерода

практически не варьирует в зависимости от применяемой технологии сжигания топлива. Оценка выбросов других газов с парниковым эффектом более сложна, так как зависит от типа автомобиля, топлива, характеристик эксплуатации транспортного средства, типа технологии контроля за выхлопными газами (СРО энергоаудиторов).

Согласно методике (СРО энергоаудиторов), расчет выбросов диоксида углерода от сжигания топлива в двигателях внутреннего сгорания рекомендуется проводить на основе учета видов топлива и типов двигателя. Выбросы углекислого газа по этому методу оцениваются следующим образом. Сначала оценивается потребление каждого вида топлива по типам транспорта (легковой, грузовой, автобусы, спецмашины). Затем оцениваются общие выбросы CO₂ путем умножения количества потребленного топлива на фактор выбросы для каждого типа топлива и типа транспорта по формуле:

$$E = M \times K_1 \times THЗ \times K_2 \times 44/12$$

Где:

E - годовой выброс CO₂ в весовых единицах (тонн/год);

M - фактическое потребление вида топлива за год (тонн/год);

*K*₁ - коэффициент окисления углерода в топливе (показывает долю сгоревшего углерода), таблица №5 согласно Методики;

THЗ - теплотворное нетто-значение (Дж/тонн), таблица №5 согласно Методики;

*K*₂ - коэффициент выбросов углерода (тонн С/Дж), таблица №5 согласно Методики;

44/12 – коэффициент для пересчета выбросов углерода С в двуокись углерода CO₂.

Для оценки выбросов диоксида углерода от автотранспортного сектора для используемых видов топлива (бензин, дизельное топливо, сжиженный нефтяной газ, сжатый природный газ) были рассчитаны региональные коэффициенты пересчета сожженного топлива в выбросы CO₂ (теплотворные нетто-значения, коэффициенты выбросы углерода, фракция окисленного углерода).

Таблица №6

Коэффициенты для пересчета сожженного топлива в выбросы CO₂ для автотранспорта

Виды топлива	Теплотворное нетто-значение низшее, ТНЗ ТДж/тыс.тонн	Коэффициент выбросов углерода, К ₂ , тС/ТДж	Фракция окисленного углерода, К ₁
Бензин	44,21	19,13	0,995
Дизельное топливо	43,02	19,98	0,995
СНГ	47,17	17,91	0,99
Природный газ	34,78	15,04	0,995

Далее приведен расчет CO₂ от автомобильного транспорта, работающего на предприятии.

Согласно распоряжению Минтранса России от 14.03.2008 N АМ-23-р (ред. от 30.09.2021) "О введении в действие методических рекомендаций "Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте", нами определены нормы расхода топлива для транспорта.

Таблица №7

<i>Марка автотранспорта</i>	<i>Кол-во, шт</i>	<i>Вид топлива</i>	<i>Норма расхода топлива на 100 км (литр)</i>	<i>Норма расхода топлива на 100 км (тонн)</i>	<i>Норма расхода топлива на 1000 км (литр)</i>	<i>Норма расхода топлива на 1000 км (тонн)</i>
Автобетононасос CIFA	1	Дизельный	15	0,0126	150	0,126
Автобетоносмеситель на шасси КАМАЗ 53229	1	Дизельный	30	0,0252	300	0,252
Кран МКГ-25.01А	1	Дизельный	33	0,0277	330	0,277
Погрузчик JSB 4СХ	1	Дизельный	40	0,0336	400	0,336
Погрузчик фронтальный HYUNDAI 740-7	1	Дизельный	40	0,0336	400	0,336
Газель Валдай 331061	1	Дизельный	12,5	0,0105	125	0,105
Автокран КС-55713 на шасси КАМАЗ 55111	1	Дизельный	55,8	0,0469	558	0,469
КАМАЗ 65222-43	1	Дизельный	36	0,0302	360	0,302
Экскаватор HYUNDAI ROBEX 210LC-7	1	Дизельный	30	0,0252	300	0,252
Каток Bomag 151	1	Дизельный	12,5	0,0105	125	0,105

Будем считать, что пробег автомобилей составляет по 1000 км в год. Плотность дизельного топлива 0,84 т/м³.

$$E = 2,56 \times 0,995 \times 43,02 \times 19,98 \times 44/12 = 8027,8 \text{ тонн в год } CO_2$$

Если учесть что, выбросы CO₂ при производстве бетона прямо пропорциональны содержанию цемента, используемого в бетонной смеси и при изготовлении каждой тонны цемента выделяется 900 кг CO₂, что составляет 88% выбросов, связанных со средней бетонной смесью (Mahasenan Natesan; Steve Smith, 2003), можно сделать вывод, что при добавлении 7 000 т/год цемента в бетонную смесь, согласно данным (Приложение 1), предприятие ООО «Племзавод «Бугры» при производстве бетонной смеси выбрасывает **6 300** (7 000т * 900кг) тонн выбросов CO₂.

Таким образом, согласно нашим расчетам, при работе предприятия ООО «Племзавод «Бугры» выделяется **15 007,03 тонн в год** двуокиси углерода (CO₂).

Согласно п. 1, Постановления Правительства РФ от 14.03.2022 N 355 "О критериях отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к регулируемым

организациям", юридические лица и индивидуальные предприниматели относятся к регулируемым организациям в случае, если их хозяйственная и иная деятельность сопровождается выбросами парниковых газов, масса которых эквивалентна 150 и более тыс. тонн углекислого газа в год.

Таким образом, предприятие ООО «Племзавод «Бугры» не относится к регулируемым организациям. Но тем не менее вносит вклад в общую картину выбросов CO₂.

5. СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ CO₂ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

5.1. Мероприятия по снижению выбросов диоксида углерода

Сейчас в мире большое внимание уделяется борьбе с глобальным потеплением, вызванным антропогенными выбросами парниковых газов. В целях борьбы с изменением климата и его негативными последствиями 197 стран приняли Парижское соглашение в 2015 году. Это соглашение, вступившее в силу менее чем через год, направлено на существенное сокращение глобальных выбросов парниковых газов и ограничение повышения глобальной температуры в этом столетии до 2 градусов Цельсия. В 2016 году Российская Федерация подписала Парижское соглашение, в соответствии с которым взяла на себя обязательства по снижению выбросов в атмосферу парниковых газов («Энергетика и промышленность России», 2021).

Портландцемент является обязательным сырьевым материалом бетона и также основным строительным материалом в мировом масштабе. К сожалению, при производстве портландцемента выбрасывается CO₂, приводя примерно к 5 % текущим глобальным, созданными руками человека, выбросам газа. В цементной промышленности, CO₂ образуется при сжигании топлива, а также в процессе кальцинации известняка в обжиговом агрегате (Суханова Е.В., Герасимова Е.С., 2015).

По мнению авторов статьи (Суханова Е.В., Герасимова Е.С., 2015), следующие факторы могут уменьшить выбросы CO₂:

1. Повышение термической и электрической эффективности работы обжиговой печи.

Повышение термической и электрической эффективности заключается во внедрении самых современных технологии на новых цементных заводах и в модернизации оборудования, в том случае, если это экономически целесообразно.

2. Использование альтернативных источников топлива.

Использование альтернативных источников топлива повлечёт за собой постепенную замену традиционных видов топлива. Смешанное топливо может снизить углеродоёмкость на 20-25 %, по сравнению с чистым углем.

3. Уменьшение доли клинкера в составе цементов.

Клинкер – это основной компонент – полуфабрикат при производстве большинства разновидностей цемента. На сегодняшний день замену клинкера используют в большом объёме. Минеральные компоненты, такие как молотый гранулированный доменный шлак, зола-унос и природные вулканические материалы, также обладают гидравлической

активностью, поэтому их можно вводить в состав цемента, уменьшая долю клинкера в общем объеме.

4. *Улавливание и хранение CO₂ в процессе производства портландцемента.*

Улавливание и хранение CO₂ – это новая и перспективная технология, пока ещё не внедренная в промышленном масштабе в производстве цемента, но имеющая большой потенциал. Углекислый газ улавливается сразу после его выброса, сжимается в жидкость и затем транспортируется по трубопроводу в подземное хранилище прямо на месте производства цемента.

Так же к мероприятиям по снижению выбросов можно отнести (Грицевич И. Г., Кокорин А. О., Юлкин М. А., 2005):

1. предложения на рынке новых альтернативных видов энергии, включая солнечную, водородную и ветровую энергию;
2. разработка и внедрение системы утилизации тепловых отходов (то есть повторно использует остаточное тепло и не позволяет ему греть атмосферу);
3. разработка руководства по использованию энергии в непроизводительные периоды (выходные и праздничные дни, пересменки и т. д.);
4. расчет или измерение выбросов парниковых газов от деятельности компании.

Долговечность зданий и сооружений является немаловажным фактором снижения эмиссии парниковых газов. Ремонт и восстановление зданий требует значительного расхода цемента, кирпича и других строительных материалов при производстве которых затрачивается значительное количество энергии, получаемой при сжигании природного топлива, что приводит к выбросам парниковых газов. Производство строительных материалов является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности (Желдаков, Д. Ю., 2020).

С 30 декабря 2021 года вступил в силу Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов», который предполагает обязательный отчет загрязнителей воздуха о производственных выбросах.

Для снижения выбросов CO₂ в 2016 году был запущен проект Carbon XPrize. Он предлагает крупный денежный приз тем командам, которые предложат наилучший способ полезного использования углекислого газа, который выбрасывают электростанции. Лишь в 2021 году были выбраны два победителя, которые предлагают решения по оптимизации производства бетона (Ольга Мурая, 2021).

Одна из победивших технологий (канадский стартап CarbonCure Technologies) заключается в захвате определённого количества выбросов CO₂ электростанции и

добавлении его в систему регенерации бетонного завода. Там углекислый газ вступает в реакцию с ионами кальция в цементе, образуя минеральные наночастицы, которые при добавлении в бетонную смесь увеличивают её прочность до 10%. Необходимые для этого изменения можно внести всего за одно посещение завода. Для этого нужно лишь внедрить клапанную установку, которая будет "скармливать" бетонной смеси нужное количество углекислого газа из баллона во время замешивания (Ольга Мурая, 2021).

Эта технология позволит производить бетон с меньшими затратами воды, сократит твёрдые отходы производства, и, что самое главное, сократит количество необходимого для производства цемента (Ольга Мурая, 2021).

Вторая победившая технология (Команда CarbonBuilt) очень похожа на первую: углекислый газ захватывается из потока дымовых газов электростанции и добавляется напрямую в бетонную смесь. Команда CarbonBuilt заявляет, что их технология сокращает углеродный след от производства бетона на целых 50%, а также требует до 90% меньше портландцемента для его производства (Ольга Мурая, 2021).

При этом получившийся бетон ничем не уступает традиционному, такой же крепкий и прочный. Для финальной демонстрации проекта команда инженеров создала бетонные блоки, каждый из которых содержал по 340 грамм углекислого газа. Этим они также продемонстрировали, что при помощи их технологии за 24 часа можно использовать в производстве целых 135 кг CO₂ (Ольга Мурая, 2021).

Физические риски, такие как экстремальные погодные явления и наводнения, могут возникнуть в среднесрочной перспективе и требуют перспективного анализа физических рисков. Необходимы подготовительные мероприятия против негативных последствий этих событий на этапе эксплуатации зданий и инфраструктуры. Расширение зданий и инфраструктуры также повлияет на устойчивость природной среды к негативному воздействию изменения климата на окружающую среду из-за увеличения количества осадков и способности улавливать углерод в природной среде. Сюда будут входить мероприятия, направленные на:

- Повышение стойкости материалов к экстремальным погодным условиям;
- Капитальный ремонт систем отопления/охлаждения и изоляции;
- Пересмотр управления водными ресурсами в сторону более климатически оптимизированных систем управления водными ресурсами в течение всех этапов строительства и эксплуатации зданий;

- Снижение потенциальных негативных последствий строительного сектора на окружающую среду от почвы герметизация (изменение потоков воды от сильного дождя) или изменение землепользования (поглощение углерода).

По данным ЮНЕП, ожидается, что население Африки достигнет 2,4 миллиарда человек в 2050 году, и 80 процентов этого роста придется на города. Приблизительно 70 процентов африканского фонда зданий, ожидаемых к 2040 году, еще не построены. Чтобы избежать увеличения выбросов при создании запасов, необходимых для переселения людей из неформальных поселений, и для создания зданий, устойчивых к последствиям изменения климата, африканскому сектору следует обратить внимание на устойчивые строительные материалы и методы проектирования, которыми континент богат. Африка также богата возобновляемыми источниками энергии, солнечной и ветровой, которые страны могут использовать для устойчивого энергоснабжения своих зданий (ЮНЭП, 2022).

5.2. Альтернативный бетон для строительства и передовой опыт

С целью снижения выбросов CO₂, многие исследователи во всем мире разрабатывают альтернативу бетону.

Так например, Исследователи из Токийского университета придумали оригинальный способ *рециклинга пищевых отходов* – производить из них строительный материал, по прочности не уступающий бетону. В качестве сырья использовались листья капусты, луковая шелуха, куски тыквы, морские водоросли, банановая кожура и корки апельсинов. Самое удивительное, что все опытные образцы сохранили вкус основного компонента строительной смеси. Пищевые отходы - один из самых распространенных видов бытового мусора. По данным ООН, каждый год их образуется порядка 900 миллионов тонн. Рециклинг таких отходов помог бы решить сразу несколько экологических проблем - сократить площадь свалок и уменьшить выбросы в атмосферу углерода. В свою очередь строительная отрасль нуждается в экологических материалах (Олег Сочалин, 2023).

Как выяснилось в результате экспериментов, сырье для производства цемента из органических материалов существенно влияет на его свойства, например, изделия из тыквы не дотягивают по прочности до изделий из обычного бетона, а вот из листьев пекинской капусты - наоборот превосходят их по данному показателю в четыре раза. Во

всех остальных случаях удалось получить прочность на изгиб чуть выше бетонной (Олег Сочалин, 2023).

Технология производства изделий из "пищевого цемента" состоит из следующих этапов. Сначала органическое сырье измельчается до небольших кусочков и высушивается при температуре 105°C. Полученные элементы измельчаются в порошок, который затем смешивается с водой и прессуется при температуре 180°C. Специфическое сырье для производства цемента из пищевых отходов потребовало осуществить массу экспериментов, чтобы найти оптимальный уровень давления при прессовании. Собственно это и стало для исследователей главной сложностью (Олег Сочалин, 2023).

Пока данные инновационные материалы применялись лишь для производства различных предметов: посуды, табуреток, подставок под кружки и т.д. Технология до сих пор совершенствуется. В результате четырех месяцев экспериментов по исследованию долговечности пищевого цемента выяснилось, что изделия из него устойчивы к появлению грибка и воздействию насекомых. В дальнейшем исследователи планируют использовать пищевой цемент, покрытый гидроизолирующими материалами и лаком, чтобы создать пилотные образцы временного жилья. Если данный эксперимент пройдет удачно, то материал можно будет использовать при возведении временного жилья для беженцев или пострадавших от стихийных бедствий (Олег Сочалин, 2023).

Другой альтернативой бетону может служить **3D-печать**. Технологии 3D-печати постоянно развиваются и все чаще используются в строительстве.

Так, сотрудники Центра перспективных конструкций и композитов Университета штата Мэн заявили, что им удалось создать первое в мире 3D-печатное здание, на 100% состоящее из экологичных материалов, называемое BioHome3D (Олег Сочалин, 2023).

BioHome3D состоит из четырех модулей, напечатанных в лаборатории на 3D-принтере и собранных на стройплощадке за 12 часов. На подключение к коммуникациям ушло еще несколько часов. Для печати модулей использовались только экологичные материалы: древесная мука, мелкие опилки, биосмолы и связующие из кукурузы. Благодаря такому составу в будущем этот экспериментальный дом может быть на 100% переработан. Более того, использованные технологии 3D-печати из местного возобновляемого сырья снижают зависимость от цепочки поставок строительных материалов, а также благодаря точным расчетам значительно снижают количество строительных отходов. По словам производителей, BioHome3D отличается от всех других 3D-печатных домов тем, что при печати совершенно не использовался бетон. Что приводит к нулевому выбросу CO₂ (Олег Сочалин, 2023).

Площадь одноэтажного дома составляет 57 квадратных метров, на которых расположены гостиная, спальня с рабочим местом, кухня и ванная комната.

BioHome3D является экспериментальным домом не только благодаря использованным строительным материалам - на конструкцию установлены специальные датчики, осуществляющие тепловой, экологический и структурный мониторинг. Сам прототип здания установлен под открытым небом в университетском городке, чтобы производители могли наблюдать, как конструкция реагирует на зимние погодные условия. А информацию, собранную датчиками, они планируют использовать для улучшения BioHome3D в будущем. В Университете штата Мэн рассматривают BioHome3D как отличный вариант для обеспечения доступным жильем местных жителей (Олег Сочалин, 2023).

Существует растущий ассортимент бетонных альтернатив. Эти материалы обеспечивают те же преимущества, что и бетон, такие как прочность, долговечность, но при более меньшем расходе углерода, с меньшим воздействием на окружающую среду и часто с привлекательным и характерным внешним видом.

Так в своей статье Rose Morrison рассматривает несколько альтернатив бетону (Rose Morrison, 2021):

1. Феррок.

Феррок является альтернативой бетону с отрицательным выбросом углерода. Название материала происходит от железной породы, но в основном он состоит из отходов стальной пыли и молотого кварцевого стекла.

Материал выделяет значительно меньше углекислого газа, чем бетон. Он также твердый — примерно в пять раз прочнее портландцемента. Он также гибкий и может сгибаться, не ломаясь из-за сжатия или сейсмического воздействия. На строительной площадке материал схватывается быстрее, чем бетон, что делает его практичным для работ, где необходима скорость. Этот материал может быть трудно найти из-за его новизны, но он делает его отличной альтернативой бетону в тех областях, где он доступен.

2. Утрамбованная земля.

Утрамбованную землю производят путем уплотнения влажного грунта между временной опалубкой. Его можно дополнительно укрепить с помощью строительных технологий, таких как арматура и стальные рамы.

Поскольку смесь грунта, необходимая для утрамбованной земли, легко доступна на многих строительных площадках, иногда ее может быть так же легко достать, как бетон, или даже проще.

Строительным бригадам требуется минимальная подготовка по этому материалу для строительства новых конструкций с его использованием. Строительство конструкции из утрамбованной земли является трудоемким процессом, а это означает, что трудозатраты на строительство здания могут быть выше при использовании утрамбованной земли.

Материал также имеет уникальный внешний вид. Он разноцветный, а в конечном продукте видны слои почвы, что делает его хорошим выбором для клиентов, которым нужен характерный фасад здания или внутренние стены.

Как и феррок, этот материал используется редко. Тем не менее, несколько громких строительных проектов за последние несколько лет, таких как утрамбованные земляные стены на кладбище Буши, экспериментировали с утрамбованной землей.

3. Соломенные тюки.

Как и утрамбованная земля, тюки соломы — строительный материал с многовековой историей. Хотя они не часто используются в современном строительстве, они обладают прочностью и долговечностью, сравнимыми с бетоном, что делает их эффективной альтернативой бетонным блокам в определенных ситуациях.

Тюки обычно используются в качестве изоляции или для обеспечения структурной поддержки. Тюки соломы естественно огнеупорны и обладают изоляционными твердыми свойствами, хотя они могут быть подвержены гниению, что делает их менее практичными в особенно влажном или влажном климате.

По сравнению с бетоном тюки соломы могут занимать значительно больше места по сравнению с другими материалами и, возможно, должны быть более практичными для транспортировки на строительные площадки и вокруг них. Однако использование такого оборудования, как мини-погрузчики, при перемещении материала на строительных площадках может сделать материал гораздо более практичным.

4. Тимберкрет.

Тимберкрет производится из смеси отходов опилок и цемента. Он легче бетона, и поскольку он уменьшает количество цемента, необходимого для каждого кирпича или плиты, он также менее углеродоемкий. Он может быть сравнительно прочным и устойчивым к атмосферным воздействиям в зависимости от соотношения опилок и цемента.

Поскольку материал требует цемента, он лишь частично экологически безопасен. Однако использование опилок в качестве добавки помогает уменьшить количество цемента, которое в противном случае было бы необходимо. Это также обеспечивает еще один ценный вариант переработки опилок, которые иногда выбрасываются на свалки и часто сжигаются в качестве топлива, высвобождая атмосферный углерод, для повторного поглощения которого новый рост может занять целое десятилетие.

5. Конопляный бетон.

Этот материал изготовлен из биокompозита конопляной стружки — отходов, образующихся при переработке конопли в волокно — и извести, песка или пуццолана.

Как и другие альтернативы бетону, он имеет прочность на сжатие и срок службы, сравнимый с бетоном. Он также генерирует значительно меньше углерода, чем бетон. Как и феррок, его можно рассматривать как углерод-отрицательный, потому что конопля накапливает большое количество атмосферного углерода при выращивании.

6. Гринкрет.

Гринкрет — это общий термин для нескольких экологически чистых материалов, предназначенных для имитации структурных свойств бетона. В качестве строительного материала гринкрет еще не нашел широкого применения, но строительные компании уже использовали его в нескольких экспериментальных проектах.

На практике гринкрет обычно изготавливают из переработанных материалов, таких как использованный пластик и полистирол.

Эти материалы можно легко найти на свалках, и они помогли быстро построить новые сооружения, такие как отделение интенсивной терапии на 40 коек, построенное для борьбы с всплеском случаев заболевания COVID-19 в Южной Африке (Rose Morrison, 2021).

В статье *eco-friendly alternatives to traditional concrete* (specifyconcrete.org, 2019) выделяются следующие альтернативы бетону:

Эшкрит

AshCrete — это заменитель традиционного бетона, в котором активно используется переработанная летучая зола. Летучая зола смешивается с известью и водой, чтобы сделать ее прочной и долговечной, аналогичной обычному цементу.

Использование летучей золы в Ashcrete делает его экологически чистой альтернативой, поскольку она может заменить цемент, что, в свою очередь, приводит к снижению выбросов CO₂. Более того, 25% цемента можно заменить бетоном с большим объемом летучей золы.

Другие преимущества летучей золы включают уменьшение утечек, повышенную прочность бетона и меньшую усадку по сравнению с традиционным бетоном.

Летучая зола не только экологически безопасна, но и делает бетон устойчивым к щелочно-кремнеземной реакции.

Печной шлак

Как и летучая зола, доменный шлак является побочным продуктом, который можно перерабатывать и использовать для создания экологически чистой альтернативы бетону. Этот стеклообразный гранулированный материал получают путем закалки расплавленного чугуна из доменной печи водой или паром.

Этот материал может заменить от 70% до 80% цемента и повышает долговечность бетона. Еще одним преимуществом доменного шлака является то, что в процессе производства выделяется меньшее количество тепла на гидратацию.

Микрокремнезем

Микрокремнезем, также известный как «диоксид кремния», представляет собой ультрадисперсный порошок, который является побочным продуктом производства ферросиликонового сплава и кремния в результате конденсации диоксида кремния. Он может вытеснить около 7% - 12% цемента в бетоне.

Известно, что микрокремнезем улучшает долговечность бетона, делая его менее проницаемым и увеличивая его прочность на сжатие.

Бетон, изготовленный с использованием кремнеземных паров, специально используется для конструкций, которые подвергаются воздействию агрессивных химикатов. По сравнению с традиционным бетоном, это гораздо более экологичный материал.

Papercrete или волокнистый бетон

Papercrete изготавливается из макулатуры, которая перерабатывается и повторно используется в качестве заполнителя в производстве бетона. Хотя он не полностью заменяет цемент в смеси, даже небольшого количества паперкрета достаточно для борьбы с некоторыми вредными последствиями производства бетона.

Бывшее в употреблении стекло

Стекло, будучи универсальным инертным материалом, является подходящей заменой бетона. Поскольку стекло может быть переработано и повторно использовано много раз без каких-либо изменений в его химических свойствах, бывшее в употреблении стекло повышает долговечность бетона и помогает сократить количество отходов, захораниваемых на свалках (specifyconcrete.org, 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бетон считается наиболее распространенным строительным материалом в мире и при этом наносит серьезный вред экологии. Цемент – главный ингредиент бетона – является вторым по величине промышленным источником выбросов углерода на планете. Только на производство цемента приходится до 7% выбросов CO₂ в мировую атмосферу (Wikipedia).

Пятый доклад об оценках Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) констатирует, что, с вероятностью более 95%, влияние человека было доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX в. (ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2022).

В ходе исследования нами была достигнута поставленная цель – проанализировать антропогенное воздействие человека на изменение климата на примере предприятия по производству бетона.

Для достижения цели выполнены все, поставленные, задачи.

1. изучены литературные источники по теме исследования;
2. изучены и описаны производственные процессы, источники выбросов рассматриваемого предприятия;
3. оценено влияние промышленного предприятия на климат;
4. проведен анализ мероприятий по уменьшению воздействия на изменение климата от строительной промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Environmental Impacts of Construction Projects and the Next Steps Forward for the Industry/ January 13, 2017 <https://esub.com/blog/environmental-impacts-of-construction-projects/>
2. Интернет портал: <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>
3. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
4. Желдаков, Д. Ю. Сокращение выбросов парниковых газов при увеличении долговечности строительных материалов / Д. Ю. Желдаков // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 61-2. – С. 79-84. – DOI 10.18411/lj-05-2020-37. – EDN YMNPLN.
5. Интернет портал: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=1091>
6. Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999 N 96-ФЗ
7. Environmental impact of concrete / Dan Babor, Diana Plian And Loredana Judele / Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, CONSTRUCTIONS. ARCHITECTURE Section · January 2009.
8. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019, 2020г
9. Интернет портал : https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.a272db35-639c3f00-6c213b7d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_of_concrete
10. Грицевич И. Г., Кокорин А. О., Юлкин М. А. М.: ЮНЕП, WWF Россия. 2005. 32 с
11. Low and zero emissions in the steel and cement industries. Barriers, technologies and policies, 2019.
12. Mahasen Natesan; Steve Smith; Kenneth Humphreys; Y. Kaya (2003). "The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO2 Emissions". Greenhouse Gas Control Technologies – 6th International Conference. Oxford: Pergamon. pp. 995–1000. doi:10.1016/B978-008044276-1/50157-4. ISBN 978-0-08-044276-1
13. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K.

Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi: 10.1017/9781009157896.

14. Профессиональный журнал «Справочник эколога №3, 2017», март 2017 г.

15. Интернет портал: <https://plus-one.ru/sustainability/parnikovye-gazy>

16. Изменение климата: Обзор состояния научных знаний об антропогенном изменении климата / Кокорин А. О.: РРЭЦ, GOF, WWF-России, 2005. – 20 с.

17. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/tssts-2-1.html)

18. Приказ от 27 мая 2022 г. N 371 об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в российской федерации.

19. Мусина Э.Б. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ АО "КАРЦЕМЕНТ" // Гидрометеорология и экология. 2020. №2 (97). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-tsementnoy-promyshlennosti-na-zagryaznenie-okruzhayuschey-sredy-na-primere-ao-kartsement>

20. Интернет портал: <https://www.un.org/ru/climatechange/what-is-climate-change>

21. Интернет портал: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov>

22. Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990– 2020 гг. М., 2022.

23. Газета «Энергетика и промышленность России» №17-18 (421-422) сентябрь 2021 <https://www.eprussia.ru/epr/421-422/2660244.htm>

24. Коробова О.С., Михина Т.В. Инвентаризация выбросов парниковых газов при производстве цемента // ГИАБ. 2008. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inventarizatsiya-vybrosov-parnikovykh-gazov-pri-proizvodstve-tsementa>

25. Интернет портал: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/global-co2-emissions-rebound-2021-after-temporary-reduction-during-covid19-lockdown-2022-10-14_en#:~:text=In%202021%2C%20global%20anthropogenic%20fossil,the%20world

26. Интернет портал: <https://www.ucsusa.org/resources/each-countrys-share-co2-emissions>

27. Суханова Е.В., Герасимова Е.С. «Снижение выбросов CO₂ при производстве цемента» / Уральский федеральный университет / 2015 г.
28. Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 N AM-23-р (ред. от 30.09.2021) "О введении в действие методических рекомендаций "Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте".
29. Yahaya Hassan Labaran, Vivek Shankar Mathur, Mahmoud Murtala Farou, «The carbon footprint of construction industry: A review of direct and indirect emission», 2021 г.
30. Ольга Мурая «Новый бетон серьезно поможет в борьбе с изменением климата», 2021г. Интернет портал: <https://www.vesti.ru/nauka/article/2553569>
31. Олег Сочалин "Вкусная архитектура" - В Японии создали бетон из переработанных пищевых отходов, 2023. Интернет портал: https://www.architime.ru/news/institute_industrial_science_ut/edible_cement.htm#1.jpg
32. Олег Сочалин «Экспериментальный дом BIOHOME3D - первое в мире 3D-печатное здание, полностью состоящее из биоматериалов», 2023. Интернет портал: <https://www.architime.ru/news/umasc/biohome3d.htm#4.jpg>
33. «Sources of Greenhouse Gas Emissions»/United States Environmental Protection Agency;
34. Fateh Belaïd «How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges?»/ Resources, Conservation & Recycling Advances, November 2022;
35. Keisha Rukikaire, Sophie Loran / CO2 emissions from buildings and construction hit new high, leaving sector off track to decarbonize by 2050: UN;
36. MADELEINE RUBENSTEIN / Emissions from the Cement Industry, MAY 9, 2012;
37. Lucy Rodgers / BBC News / Climate change: The massive CO2 emitter you may not know about /17 December 2018;
38. National Ready Mixed Concrete Association / Concrete CO2 Fact Sheet / June 2008;
39. Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. ГЛОБАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ. Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2018;(2):84-93. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93>;
40. Лопатин В. Н., Муравых А. И., Грицевич И. Г. Глобальное изменение климата, проблемы и перспективы реализации Киотского протокола в Российской Федерации: Комплект учебных материалов по программе курса "Государственное управление природопользованием". – М.: РАГС, ЮНЕП, WWF*Россия, 2005. – 40 с.;

41. Основы защиты населения и территорий в кризисных ситуациях / под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. – М. : Деловой экспресс, 2006.;
42. Макаров И. А. Глобальное изменение климата как вызов мировой экономике и экономической науке // Экономический журнал ВШЭ. – 2013. – № 3. – С. 479–494;
43. К.Г. Гомонов, К.А. Осокина, Л.В. Сорокин. Экономические последствия от изменения уровня мирового океана для прибрежной инфраструктуры // Вестник РУДН, серия Экономика, 2015, № 3 – С. 82–93;
44. Caitlyn Kennedy and Rebecca Lindsey / Reviewed by Richard Rood and Katharine Hayhoe. What's the difference between global warming and climate change? // JUNE 17, 2015 (<https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/whats-difference-between-global-warming-and-climate-change>);
45. Markus Huber and Reto Knutti / Anthropogenic and natural warming inferred from changes in Earth's energy balance // 4 DECEMBER 2011;
46. Выбросы углекислого газа CO2 в мире Carbon Free Zone, 2022 (<https://www.tadviser.ru>);
47. Выбросы CO2 от сжигания топлива, 2021 (<https://energystats.enerdata.net/co2/emissions-co2-data-from-fuel-combustion.html>);
48. Гидрометцентр России (<https://meteoinfo.ru>);
49. Н. Дронин / Теория антропогенного изменения климата / 2015 г. (<https://postnauka.ru/video/52637>);
50. Постановления Правительства РФ от 14.03.2022 N 355 "О критериях отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к регулируемым организациям";
51. Rose Morrison / Alternatives to concrete and concrete blockwork in construction, 2021 (<https://www.bricsys.com/blog/alternatives-to-concrete-in-construction>);
52. Eco-Friendly Alternatives To Traditional Concrete, 2019 (<https://www.specifyconcrete.org/blog/eco-friendly-alternatives-to-traditional-concrete>)
53. <https://www2.deloitte.com/ce/en/pages/real-estate/articles/putting-the-construction-sector-at-the-core-of-the-climate-change-debate.html>
54. Sandanayake, Malindu Sasanka. 2022. "Environmental Impacts of Construction in Building Industry—A Review of Knowledge Advances, Gaps and Future Directions" Knowledge 2, no. 1: 139-156. (<https://doi.org/10.3390/knowledge2010008>)
55. Guggemos, A.A.; Horvath, A. Comparison of environmental effects of steel-and concrete-framed buildings. *J. Infrastruct. Syst.* 2005, *11*, 93–101;

56. Suzuki, M.; Oka, T. Estimation of life cycle energy consumption and CO₂ emission of office buildings in Japan. *Energy Build.* 1998, 28, 33–41;
57. Suzuki, M.; Oka, T.; Okada, K. The estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. *Energy Build.* 1995, 22, 165–169;
58. Mao, C.; Shen, Q.; Shen, L.; Tang, L. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. *Energy Build.* 2013, 66, 165–176;
59. Yan, H.; Shen, Q.; Fan, L.C.H.; Wang, Y.; Zhang, L. Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. *Build. Environ.* 2010, 45, 949–955;
60. Cole, R.J. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. *Build. Environ.* 1998, 34, 335–348;
61. Simon Ofori Ametepey, Samuel Kwame Ansah, Impacts of Construction Activities on the Environment: The Case of Ghana / Journal of Environment and Earth Science, Vol.5, No.3, 2015;
62. Uher, T.E. (1999). ‘Absolute indicator of sustainable construction’, in Proceedings of COBRA 1999, RICS Research Foundation, RICS, London, pp. 243–253;
63. Hill, R.C. & Bowen, P.A. (1997). ‘Sustainable construction: principles and a framework for attainment’, in Construction Management and Economics, Vol. 15, pp. 223–239;
64. Cole, R.J. (1999). ‘Building environmental assessment methods: clarifying intentions’, in Building Research and Information, Vol. 27, No. 4/5, pp. 230–246;
65. Holmes, J. & Hudson, G. (2000). ‘An evaluation of the objectives of the BREEAM scheme for offices: a local case study’, in Proceedings of Cutting Edge 2000, RICS Research Foundation, RICS, London;
66. Spence, R. & Mulligan, H. (1995). ‘Sustainable development and the construction industry’, in Habitat International, Vol. 19, No. 3, pp. 279–292;
67. Curwell, S. & Cooper, I. (1998). ‘The implications of urban sustainability’ in Building Research and Information, Vol. 26, No. 1, pp. 17–28;
68. Worldwatch Institute (2003). Sustainable facilities: building material selection, West Michigan sustainable Business Forum retrieved from <http://www.sustainablebusforum.org/bldgmat.html>: last accessed April 2013);
69. Rohracher, H. (2001). ‘Managing the technological transition to sustainable construction of buildings: a sociotechnical perspective’, in Technology Analysis and Strategic Management, Vol. 13, No. 1, pp. 137–150;

70. Sterner, E. (2002). 'Green procurement of buildings: A study of Swedish clients' considerations', in *Construction Management and Economics*, Vol. 20, pp. 21–30;
71. Ofori, G. & Chan, P. (1998). 'Procurement methods and contractual provisions for sustainability in construction', in *Proceedings of Construction and the Environment: CIB World Building Congress, Gävle, 7–12 June*, pp. c296;
72. Langford, D.A., Zhang, X.Q., Maver, T., MacLeod, I. & Dimitrijeic, B. (1999). 'Design and managing for sustainable buildings in the UK', in *Profitable partnering in construction procurement*, CIB W92 (Procurement Systems) and CIB23 (Culture in Construction), Joint Symposium, S.O. Ogunlana, (Ed.), E & FN Spon, London, pp. 373–382;
73. UNEP and IEA, "Global Status Report 2017: Towards a Zero-Emission, Efficient, and Resilient Buildings and Construction Sector," 2017;
74. OECD, "Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences" (Paris, 2019), <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>;
75. Интернет-портал: <https://carbonleadershipforum.org>;
76. Hamish Champ, What Is Embodied Carbon in Construction and How Can It Be Reduced?, April 11, 2022 (<https://blog.nemetschek.com/en/topics-and-insights/embodied-carbon-in-construction>);
77. World steel association, Climate change and the production of iron and steel, 2021;
78. Ali Hasanbeigi, Steel Climate Impact. An International Benchmarking of Energy and CO2 Intensities, 2022.