

Оценка потенциала глобального потепления объекта капитального строительства (на примере коттеджного посёлка в г. Батайск Ростовской области)

И.А. Чернявский

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Статья посвящена оценке потенциала глобального потепления от строительства комплекса объектов индивидуального жилищного строительства на этапах жизненного цикла: А1-А3 (добыча, транспортировка и производство), А4-А5 (доставка на строительную площадку, процесс строительства). В работе использована цифровая BIM-модель типового коттеджа для точного определения объёмов строительных материалов. Расчёты проводились с учётом региональных особенностей Ростовской области на основе экологических деклараций продуктов и эмиссионных факторов. В статье подчёркивается необходимость перехода к устойчивым практикам для минимизации углеродного следа строительной отрасли. Исследование демонстрирует важность интеграции BIM-моделей для прогнозирования и снижения экологического воздействия на ранних стадиях проектирования.

Ключевые слова: потенциал глобального потепления, жизненный цикл, климатические изменения, строительные материалы, BIM-моделирование.

В условиях происходящего активного роста климатических изменений возникают вопросы как о вкладе хозяйственной деятельности человека в данные процессы, так и об их влиянии на уязвимые секторы экономики. Особенность данной проблемы заключается в её новизне, и, как следствие, недостаточной изученности влияния изменений климата на конкретные отрасли.

На границе XX – XXI вв. все мировые научные сообщества пришли к выводу о том, что в мире активно происходит изменения климата, вызываемые парниковым эффектом и прямым образом воздействующие на социально-экономические процессы в странах, энергетическую устойчивость, сельское хозяйство, строительную сферу, а также качество жизни населения в целом. Антропогенное изменение климата (АИК) превратилось в одно из острых проблем из-за глубокой экономической зависимости общества от ископаемого топлива. Многочисленные угрозы, вызванные воздействием АИК, в настоящее время считаются глобальной

чрезвычайной ситуацией с потенциально катастрофическими последствиями для человечества.

Поскольку современная деятельность человека сопровождается большим количеством выбросов парниковых газов (ПГ), в особенности углекислого газа, она играет ключевую роль в изменении климата. Парниковый эффект является естественным процессом, который делает Землю пригодной для жизни, но в избытке приводит к глобальному потеплению. Атмосфера Земли содержит газы, такие, как углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O) и водяной пар. Эти газы пропускают солнечное излучение (в основном коротковолновое) к поверхности планеты, но задерживают часть исходящего от Земли тепла (длинноволновое инфракрасное излучение). Это удержание тепла необходимо: без парникового эффекта средняя температура на Земле была бы около -18°C вместо нынешних $+15^\circ\text{C}$. Однако увеличение концентрации этих газов из-за человеческой деятельности усиливает эффект, нарушая тепловой баланс [1]. Будучи основной движущей силой глобального потепления, антропогенные выбросы парниковых газов (ПГ) должны быть быстро ограничены в больших масштабах, чтобы предотвратить негативные последствия изменения климата. Основные материалы, используемые в строительстве, такие, как бетон, алюминий, сталь требуют значительных энергетических затрат на производство. Это связано с процессами добычи природных ресурсов для сырья, обработки и изготовления.

Выбросы парниковых газов в строительной отрасли возникают на всех этапах жизненного цикла капитального объекта — от добычи сырья и производства материалов до возведения, эксплуатации и последующей утилизации. Оценка выбросов производится через потенциал глобального потепления (ПГП, или GWP — Global Warming Potential), выражаемый в эквиваленте углекислого газа (CO_2e). Показатель рассчитывается на единицу

массы, объёма или функциональной единицы материала, например, кг CO₂e на килограмм или кубический метр (кг CO₂e/кг или кг CO₂e/м³). Такой подход позволяет количественно сравнивать климатическое воздействие разных материалов и технологий, оценить общий углеродный след комплекса объектов на стадии производства материалов и строительства, выявляя доминирующие вклады от материалов с высокой углеродоёмкостью, таких как цемент и арматура. Объектом исследования выступает коттеджный посёлок «Легенда» в городе Батайске Ростовской области. Посёлок расположен на земельном участке, ограниченном улицами Дружная, Дивная и Красочная. Выбор этого объекта обоснован типичностью применяемых строительных решений для малоэтажной застройки юга России, что делает результаты анализа репрезентативными для аналогичных проектов. Расположение участка изображено на рисунке 1.

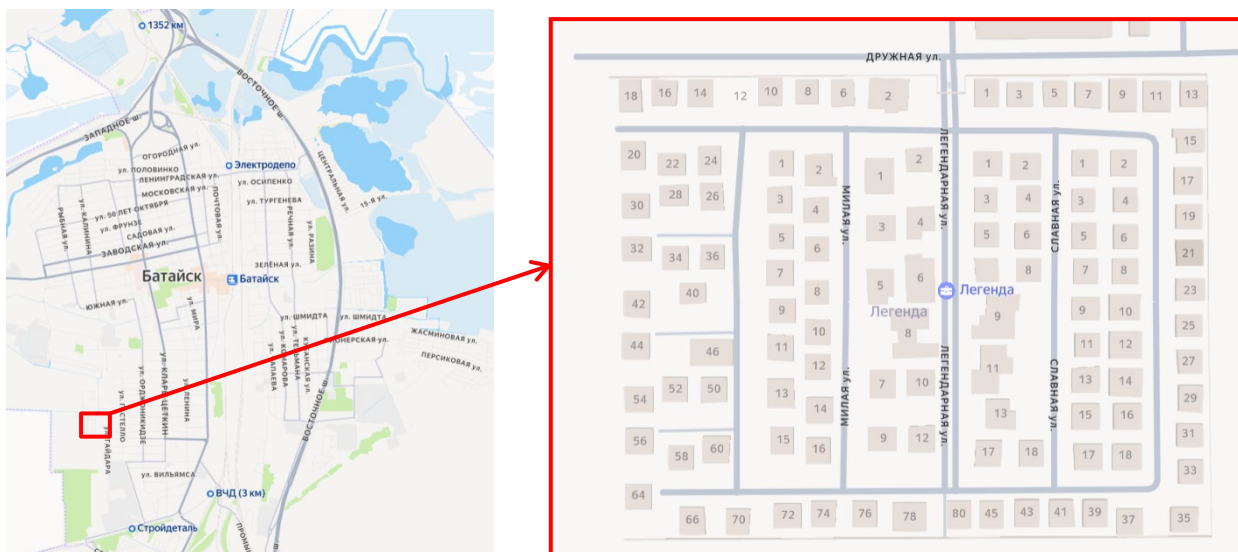


Рис. 1. – Расположение коттеджного поселка «Легенда» в г. Батайск

Посёлок состоит из 114 индивидуальных жилых домов типового проекта, каждый из которых имеет общую площадь 234,19 м². Для точного определения объёмов строительных материалов была использована готовая BIM - модель типового коттеджа [2], изображенная на рисунке 2.

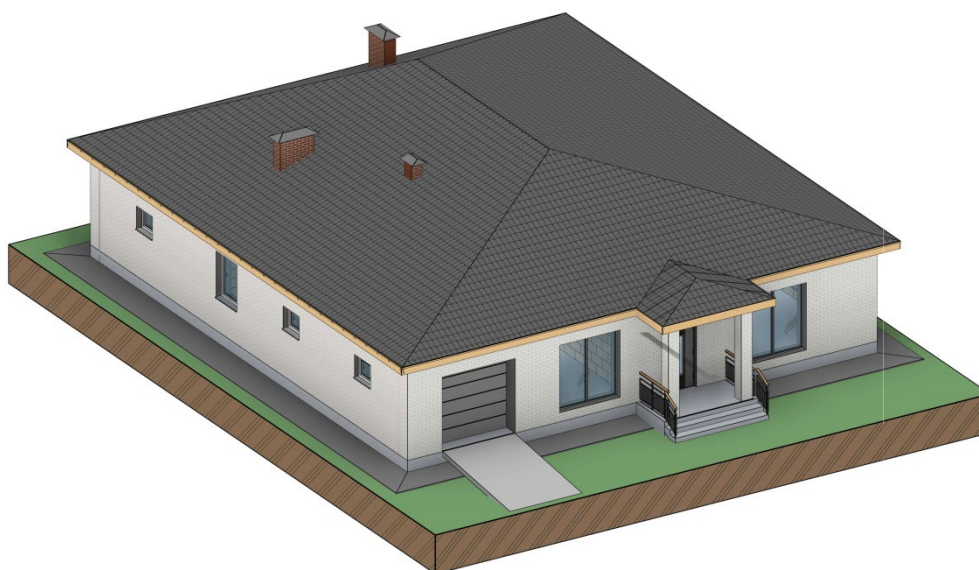


Рис. 2. – BIM-модель типового коттеджа

Суммарный ПГП материала будет определяться как сумма выбросов парниковых газов на этапах его жизненного цикла:

$$GWP_{total} = \sum(m_i \cdot EF_i) + GWP_{biogenic} + GWP_{carbonation} \quad (1)$$

где m_i - масса материала или объём потреблённого энергоносителя на i -ом этапе (в кг, МДж и др.); EF_i - эмиссионный фактор для соответствующего материала или процесса (в кг CO₂-экв./кг или кг CO₂-экв./МДж); $GWP_{biogenic}$ - вклад биогенного углерода (отрицательный при поглощении CO₂ растениями, положительный при его выделении, например, при сжигании биомассы); $GWP_{carbonation}$ - эффект карбонизации (отрицательный, поскольку цементные материалы со временем поглощают CO₂ из атмосферы).

Данная формула основана на стандарте EN 15804+A2 («Устойчивое строительство. Экологические декларации продукции») и охватывает этапы жизненного цикла A1–A3 (стадия производства) и A4–A5 (стадия строительства). Этапы A1-A3 характеризуют собой стадию производства строительных материалов, включающую в себя:

- A1 - добычу и переработку сырья, использование вторичного сырья;
- A2 - доставку сырья производителю,

– А3, производство строительных материалов.

Этапы А4-А5 – характеризуют стадию строительства, включающую:

– А4 – транспортировку строительных материалов;

– А5 - процесс возведения/монтажа.

Расчет потенциала глобального потепления будет производиться по материалам, имеющим наибольший вес в структуре, либо высокую углеродоёмность на отдельно взятом этапе жизненного цикла. Ведомость материалов типового коттеджа представлена в таблице 1.

Таблица № 1

Ведомость материалов типового коттеджа

№ п/п	Материал	Объем, м ³
1	Газобетон (D600)	95,93
2	Кирпич керамический пустотелый с плотностью 1200 кг/м ³	24,98
3	Минераловатный утеплитель 100 кг/м ³	8,55
4	Бетон М250	105,75
5	Арматура стальная А240 и А500	0,638

Для расчёта GWP строительных материалов на этапах добычи и переработки сырья (А1–А3) применяются экологические декларации продукции (EPD), а также данные IPCC, Ecoinvent и отечественные источники [3–5]. При этом учитываются региональные особенности Ростовской области — промышленного региона с высокой степенью газификации, что снижает углеродный след за счёт использования природного газа вместо угля.

Состав автоклавного газобетона марки D600 на 1 м³ включает примерно 50 % портландцемента, 40 % кварцевого песка, 6 % извести и 4 % гипса. Монолитный бетон М250 на 1 м³ содержит 350 кг цемента, 720 кг песка и 1200 кг щебня. Минеральная вата на 1 м³ состоит из 95 кг базальтового волокна и 5 кг фенолформальдегидной смолы. Арматура включает 90 % стального лома и

10 % чугуна с ферросплавами, общий вес составляет 5008 кг (плотность стали — 7850 кг/м³).

Производство цемента включает добычу известняка и глины с последующим обжигом в барабанных печах на природном газе. Автоклавирование газобетона требует 22 кВт·ч электроэнергии на 1 м³ смеси. Производство кирпича учитывает обжиг в туннельных печах на газе с энергозатратами 5000 МДж на тонну. Для минеральной ваты энергопотребление на плавление базальта составляет 250 кВт·ч на 100 кг материала. Смешивание бетона требует 10 кВт·ч на 1 м³. Средняя дальность транспортировки материалов до площадки — 80 км (дизельное топливо).

Основные источники выбросов — природный газ (для обжига), дизельное топливо (транспорт) и электроэнергия (производственные процессы). Использование газа в Ростовской области заметно снижает эмиссионные факторы, особенно для цемента и кирпича.

Эмиссионные факторы определяются для каждого материала и этапа с учётом доли вторичного сырья, региональных энергетических и технологических особенностей. Расчёт GWP проводится выборочно по материалам с наибольшей массой или углеродоёмкостью — цементу, бетону, газобетону, арматуре и минвате. Такой подход позволяет выявить ключевые источники углеродного следа и предложить приоритетные меры по его снижению. Расчет эмиссионных факторов для каждого из строительного материала на каждом этапе жизненного цикла представлены в таблице 2.

После определения эмиссионных факторов для 1 м³ строительных материалов на ключевых этапах их жизненного цикла (A1–A3 и A4–A5), переходим к расчёту потенциала глобального потепления (GWP) для одного типового коттеджа в посёлке «Легенда» [6]. Расчет представлен в таблице 3

Таблица № 2

Эмиссионные факторы на 1 м³ строительных материалов на этапах
жизненного цикла

Материал	Процесс	Масса сырья / дальность транспортировки / Энергопотребление	Величина эмиссионного фактора EF	GWP сырья / процесса, кг CO ₂ -экв/м ³ (по формуле 1)
1	2	3	4	5
Газобетон (D600)	Добыча и обжиг цемента	300 кг	0,85 кг CO ₂ - экв./кг	300
	Добыча песка	240 кг	0,015 кг CO ₂ - экв./кг	
	Добыча и обжиг известняка	36 кг	0,75 кг CO ₂ - экв./кг	
	Добыча гипса	24 кг	0,2 кг CO ₂ - экв./кг	
	Автоклавирова ние	22 кВт·ч	0,6 кг CO ₂ - экв./МДж	
	Транспортиров ка	48 т-км	0,12 кг CO ₂ - экв./т-км	5,76
Кирпич керамический пустотелый с плотностью 1200 кг/м ³	Добыча глины	1300 кг (с учётом усушки)	0,045 кг CO ₂ - экв./кг	478,5
	Обжиг сырья	6000 МДж	0,07 кг CO ₂ - экв./МДж	11,52
	Транспортиров ка	96 т-км	0,12 кг CO ₂ - экв./т-км	
Минераловатн ый утеплитель 100 кг/м ³	Добыча базальта	95 кг	0,02 кг CO ₂ - экв./кг	164,4
	Химическое производство фенолформальд егидной смолы	5 кг	2,5 кг CO ₂ - экв./кг	
	Использование электричества для производственн ых процессов	250 кВт·ч	0,6 кг CO ₂ - экв./кВт·ч	
	Транспортиров ка	80 км	0,12 кг CO ₂ - экв./т-км	0,96

1	2	3	5	5
Бетон М250	Добыча и обжиг цемента	350 кг	0,85 кг CO ₂ -экв./кг	345,5
	Добыча песка	720 кг	0,015 кг CO ₂ -экв./кг	
	Добыча щебня	1200 кг	0,02 кг CO ₂ -экв./кг	
	Использование электричества для производственных процессов	10 кВт·ч	0,6 кг CO ₂ -экв./кВт·ч	
	Транспортировка	80 км	0,12 кг CO ₂ -экв./т-км	21,79
Арматура стальная А240, А500	Переработка стального лома	4507,2 кг	0,04 кг CO ₂ -экв./кг	931,5
	Добыча железа и производство чугуна	500,8 кг	1,5 кг CO ₂ -экв./кг	
	Транспортировка	80 км	0,12 кг CO ₂ -экв./т-км	48,08

Таблица № 3

Расчет потенциала глобального потепления от строительства коттеджа

Материал	GWP сырья / процесса, кг CO ₂ -экв/м ³	Объем материала, м ³	GWPtotal, кг CO ₂ -экв
Газобетон (D600)	305,76	95,93	29 331,56
Кирпич керамический пустотелый с плотностью 1200 кг/м ³	490,02	24,98	12 240,69
Минераловатный утеплитель 100 кг/м ³	165,36	8,55	1413,82
Бетон М250	367,29	105,75	38 840,81
Арматура стальная А240, А500	979,58	0.638	624,97
Итого:			82 451,15

Расчеты на основе экологических деклараций продуктов и данных региональных эмиссионных факторов показали, что для одного типового коттеджа общим объемом материалов около 235 м³ GWP составляет 82,45 т CO₂-экв. Учитывая наличие 114 аналогичных домов в поселке, общий потенциал глобального потепления от проекта превышает 9400 т CO₂-экв, с преобладающим вкладом от углеродоемких материалов, таких как бетон (около 47% от общего GWP) и газобетон (35%), в основном за счет процессов добычи и обжига цемента, а также наибольшего удельного объема данных строительных материалов в объеме всех использованных материалов.

Этот объём выбросов, обусловленный в первую очередь высокой углеродоёмкостью добычи сырья, производства и транспортировки материалов, эквивалентен годовому выхлопу примерно 2050 легковых автомобилей (при среднем пробеге 15 000 км/год и выбросах 4,6 т CO₂-экв на машину) либо годовому энергопотреблению около 1200 домохозяйств (при среднем уровне потребления 7,8 т CO₂-экв на дом в год).

Необходимо подчеркнуть, что строительная отрасль, как значительный источник антропогенных эмиссий, требует перехода к устойчивым практикам для минимизации воздействия на климат, таких как внедрение альтернативных материалов с низким углеродным следом (например, вторичного сырья или низкоэмиссионного цемента), оптимизация логистики транспортировки и интеграция BIM-моделей для прогнозирования GWP на ранних стадиях проектирования, а также учет зависимости производства от локальных (региональных) источников энергии.

Литература

1. Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Зильберова И.Ю. и др. Устойчивое развитие строительной отрасли с учетом климатических изменений. Ростов – н/Д: ДГТУ, 2024. 160 с.

2. Чубарова К.В. Мовина В.А. Возможности и перспективы использования цифровых двойников в строительстве. // Международная научно-практическая конференция «Строительство и архитектура». Ростов-н/Д: ДГТУ, 2024. С. 58-65.

3. Fedorovskaya A., Sheina S. Comprehensive assessment for optimal wind energy use in cottage construction. // Magazine of Civil Engineering. 2022. №114. URL: [doi.org/ 10.34910/MCE.114.14](https://doi.org/10.34910/MCE.114.14).

4. Шеина С.Г., Грибок Е.В. Использование энергоэффективных технологий при строительстве «здоровых» офисных зданий // Инженерный вестник Дона. 2025. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2025/10488.

5. Петров К.С., Аль-Фатла Т.Н.М., Батальщиков К.В., Лукьянов Д.В., Карчагинский А.А., Шанхоев З.В. Организационно-технологические аспекты снижения энергоемкости гражданских зданий в рамках ремонтно-строительного производства // Инженерный вестник Дона. 2023. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8398.

6. Greenhouse Gas Protocol. IPCC Emissions Factor Database. URL: ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/IPCC-Emissions-Factor-Database.

7. Ecoinvent Database. URL: ecoinvent.org/database/.

8. Новоселова И.В., Феофилов В.А., Дахнова Т.М., Удовиченко Е.Н. Применение экологической сертификации при реализации проектов в строительстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. №5. С. 44-45.

9. Федоровская А.А., Калайчева Е.С. Оценка проекта строительства объекта образования по стандарту GREEN ZOOM // XVI Международная научно-практическая конференция «Экспертиза и управление недвижимостью. Комплексное развитие территорий, энергосбережение, информационное моделирование». Ростов –н/Д: ДГТУ, 2024. С. 110-117.

10. Шеина С.Г., Чернявский И.А., Кострюкова Е.А. Управление климатозависимыми параметрами эксплуатационных качеств объектов

капитального строительства на протяжении жизненного цикла как инструмент адаптации к климатическим изменениям // V Международный Косыгинский форум, Международный научно-технический симпозиум «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики». М: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. С. 252-256.

11. Novoselova I., Zilberova I., Petrov K., Sukhinin S., Borovoy V. Retracted: specifics of infrastructure construction under the conditions of urban // BIO Web of Conferences. 2024. №138. URL: doi.org/10.1051/bioconf/202413800001.

References

1. Sheina S.G., Umniakova N.P., Zilberova I.YU. i dr. Ustojchivoe razvitie stroitelnoj otrasli s uchetom klimaticheskikh izmenenij [Sustainable development of the construction industry taking into account climate change]. Rostov-na-Donu. DGTU, 2024. 160 p.

2. Chubarova K.V. Movina V.A. Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferenciia «Stroitel'stvo i arhitektura» (International scientific and practical conference "Construction and architecture"). Rostov-na-Donu: DGTU, 2024. pp. 58-65.

3. Fedorovskaya A., Sheina S. Magazine of Civil Engineering. 2022. №114. URL: doi.org/ 10.34910/MCE.114.14.

4. Sheina S.G., Gribok E.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2025/10488.

5. Petrov K.S., Al'-Fatla T.N.M., Batal'shhikov K.V., Luk'yanov D.V., Karchaginskij A.A., Shanxoev Z.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8398.

6. Greenhouse Gas Protocol. IPCC Emissions Factor Database. URL: ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/IPCC-Emissions-Factor-Database.

7. Ecoinvent Database. URL: ecoinvent.org/database/.

8. Novoselova I.V., Feofilov V.A., Dahnova T.M., Udovichenko E.N. BST: Byulleten' stroitel'noj tehniki. 2023. №5. pp. 44-45.
9. Fedorovskaia A.A., Kalajcheva E.S. XVI Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferenciia «Ekspertiza i upravlenie nedvizhimost'yu. Kompleksnoe razvitie territorij, energosberezhenie, informacionnoe modelirovanie». Rostov-na-Donu: DGTU, 2024. pp. 110-117.
10. Sheina S.G., Cherniavskij I.A., Kostryukova E.A. V Bezhdunarodnyj Kosyginskij forum, Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij simpozium «Sovremennye inzhenernye problemy klyuchevyh otraslej ekonomiki». Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj universitet im. A.N. Kosy`gina, 2025. pp. 252-256.
11. Novoselova I., Zilberova I., Petrov K., Sukhinin S., Borovoy V. BIO Web of Conferences. 2024. №138. URL: doi.org/10.1051/bioconf/202413800001.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 20.12.2025

Дата публикации: 20.02.2026