

Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота

© 2022. В. Ф. Вторый[✉], С. В. Вторый

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ученых беспокоит рост средней температуры атмосферы земли, связанный с парниковым эффектом, вызванным повышением концентрации ряда газов, в том числе и углекислого, одним из источников которого являются животные и продукты их жизнедеятельности. Ежегодно возрастает потребность в продукции животноводства, что ведет к увеличению поголовья крупного рогатого скота и соответственно эмиссии углекислого газа в окружающую среду. Для определения основных источников, интенсивности и закономерностей эмиссии углекислого газа на молочных фермах с учетом влияния условий содержания животных в 2015-2021 гг. проведены теоретические и экспериментальные исследования на базе Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства и в условиях сельскохозяйственных предприятий Ленинградской области РФ. Основными источниками углекислого газа на молочной ферме крупного рогатого скота являются выдыхаемый животными воздух и навоз. В результате исследований установлено, что молочной коровой выдыхается от 4,5 до 8,5 кг углекислого газа в сутки в зависимости от ее продуктивности и массы. Эмиссия углекислого газа из навоза, накапливающегося в коровнике, составляет менее 1 % от массы углекислого газа, выдыхаемого животными. Применение современных инновационных технологий позволяет более эффективно использовать генетический потенциал животных при снижении негативного воздействия на окружающую среду. Выявленные закономерности и моделирование процессов эмиссии углекислого газа позволили определить, что при увеличении удоя коровы от 10 до 30 кг в сутки снижение эмиссии углекислого газа на 1 кг молока может составить 2,3-2,5 раза.

Ключевые слова: коровник, парниковые газы, эмиссия, навоз, воздух

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (работа № 0581-2019-0025).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вторый В. Ф., Вторый С. В. Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):572-579.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>

Поступила: 04.05.2022

Принята к публикации: 04.07.2022

Опубликована онлайн: 25.08.2022

Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm

© 2022. Valeriy F. Vtoryi[✉], Sergei V. Vtoryi

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, the Russian Federation

The great concern of scientists is the rise in the average temperature of the Earth's atmosphere associated with the greenhouse effect caused by higher concentration of some gases, carbon dioxide included. Animals and their wastes are one of the carbon dioxide sources. Annually there is the growing need in livestock products. This leads to a bigger number of farm animals and consequent higher carbon dioxide emissions into the environment. Theoretical and experimental studies of 2015-2021 at the premises of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production and agricultural enterprises in the Leningrad Region of the Russian Federation were aimed at identifying the main sources, intensity and patterns of carbon dioxide emissions in dairy cow barns with due account for the effect of animal housing conditions. The main carbon dioxide sources on a cattle dairy farm are the air exhaled by animals and manure. From the study results, a dairy cow exhales from 4.5 to 8.5 kg of carbon dioxide per day depending on its productivity and mass. The carbon dioxide emission from manure accumulated in a barn is below 1 % of the carbon dioxide exhaled by animals. Modern innovative technologies allow for more efficient use of genetic potential of animals and reduce the negative impact on the environment. The revealed patterns and modelling of carbon dioxide emissions showed that with an increase in cow milk yield from 10 to 30 kg/day, the carbon dioxide emission per 1 kg of milk can decrease 2.3 to 2.5 times.

Keywords: cow barn, greenhouse gases, emissions, manure, air

Acknowledgements: the research was performed under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0025).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):572-579. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>

Received: 04.05.2022

Accepted for publication: 04.07.2022

Published online: 25.08.2022

Повышение средней температуры в атмосфере земли приводит к усилению негативных процессов, нарушающих экологическое равновесие окружающей человека среды, что обостренно вызывает тревогу. Одним из факторов, ускоряющих эти процессы, является «парниковый эффект», связанный с ростом концентрации в атмосфере парниковых газов, где одним из основных является углекислый газ (CO₂), образующий «карбоновый след».

Проблема климатических изменений признается учеными всех стран, ведется поиск путей снижения выбросов CO₂ с совершенствованием технологий производства, в т. ч. и сельскохозяйственной продукции [1].

Животноводство – это один из источников парниковых газов, в т. ч. и CO₂. Годовой объем выбросов парниковых газов на территории РФ в CO₂ – эквиваленте от внутренней ферментации сельскохозяйственных животных, в 2018 году составил 49 млн т, а от системы сбора и хранения навоза 15 млн т, это 2,9 % от всех выбросов в России [2].

В то же время несоблюдение зоотехнических требований по содержанию углекислого газа в животноводческом помещении отрицательно влияет на молочную и мясную продуктивность скота и в целом на эффективность производства. Существует ряд исследований, подтверждающих отрицательное воздействие на сельскохозяйственных животных, когда концентрация углекислого газа составляет 3000 ppm или выше. Такие неблагоприятные условия наблюдаются в коровниках при зимних условиях содержания животных [3, 4].

Нашими исследованиями установлено, что в зимний стойловый период в коровнике с привязным содержанием концентрация CO₂ может превышать предельно допустимые концентрации (ПДК) до 25 % [5]. Исследования микроклиматических условий в коровнике на 200 голов в летний период показали, что содержание CO₂ составляет в среднем от 700 до 1200 ppm и не превышает 50 % от ПДК [6]. Длительное воздействие на организм животных воздуха, содержащего свыше 1 % (10000 ppm) углекислого газа, может вызвать хроническое отравление, снижение продуктивности и устойчивости к заболеваниям [3].

Источником парниковых газов, в том числе и CO₂, являются животные и продукты их жизнедеятельности (выдыхаемый воздух, навоз). Необходимо отметить, что с ростом интенсивности производства и продуктивности животных растет объем выделяемых ими продуктов жизнедеятельности и CO₂ в окружающую среду.

На состояние микроклимата и концентрацию CO₂ в коровнике существенное влияние оказывает технология содержания животных, уборки и удаления навоза. В работе [7] рассмотрены комбикоксовый и беспривязный способы содержания. Загрязненность навозных проходов в секциях с комбикоксами была в два раза больше, чем в секциях с боксами и соответственно концентрация углекислого газа в секциях с комбикоксами выше. Отмечено, что содержание коров на подстилке существенно снижает концентрацию вредных газов в коровнике.

В процессе удаления навоза из коровника с привязным содержанием концентрация углекислого газа возрастает в 1,3-1,5 раза в различных частях коровника. По завершению процесса удаления навоза концентрация углекислого газа снижается до начальных значений через 6-10 минут в зависимости от существующих условий вентиляции помещения [8].

Молочное скотоводство является существенным источником углекислого газа, оказывающим влияние на формирование «карбонового следа» в окружающей среде. Для оценки уровня этого воздействия необходимо установить источники и уровень эмиссии CO₂ на молочных фермах КРС.

Цель исследования – определение источников, интенсивности и закономерностей эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота.

Научная новизна состоит в обосновании зависимостей выделения углекислого газа из различных источников на молочной ферме КРС с учетом влияния технологии содержания скота, параметров микроклимата коровников и внешней среды.

Материал и методы. Теоретические исследования эмиссии CO₂ в животноводческих помещениях проведены с использованием

обзора научно-технической литературы, нормативных и патентных документов с обобщением и систематизацией собранной информации методом сравнительного анализа, что позволило определить основные источники и уточнить закономерности выделения углекислого газа на молочных фермах КРС при различных условиях содержания коров их продуктивности и массы.

Экспериментальные исследования проводили с 2015 по 2021 год по разработанным в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ программам-методикам, частично опубликованным в работах [6, 8, 9, 10, 11], с использованием метода планирования экспериментов, инструментального экспресс-метода, компьютерной регистрации и обработки данных в лабораторных и производственных условиях хозяйств Ленинградской области. Результаты исследований обработаны известными методами математической статистики с использованием программ MS Excel и Statgraphics¹.

Результаты и их обсуждение. В животноводческом помещении комфорт содержания коров определяется, в том числе и параметрами воздушной среды. Наряду с температурой, относительной влажностью воздуха нормиру-

ется содержание газов – аммиака, сероводорода, углекислого газа (CO₂). CO₂ – продукт дыхания животных и основная составляющая газовой среды в коровнике. Распределение его по помещению неравномерное и зависит от внешних погодных условий, направления и силы ветра, и разница эта может составлять 1,3-2,5 раза [9]. Концентрация CO₂ не должна превышать 2500 ppm, иначе происходит снижение продуктивности животных и работоспособности персонала.

Углекислый газ выделяется в процессе дыхания, причем объем его зависит от ряда факторов – продуктивности, массы животного, температуры окружающего воздуха и других. Анализ данных, представленных в методических рекомендациях², позволил определить зависимость выделения лактирующей коровы CO₂ при дыхании от среднего суточного удоя (рис. 1) и в виде математической модели:

$$CO_2^L = -7,8 + 0,2197 \cdot M_k + 0,0011 \cdot Q \cdot M_k + 0,0211 \cdot Q^2, \quad (1)$$

где CO₂^L – выделение коровы углекислого газа при дыхании, л/ч; Q – средний суточный удой, кг/гол; M_к – масса коровы, кг.

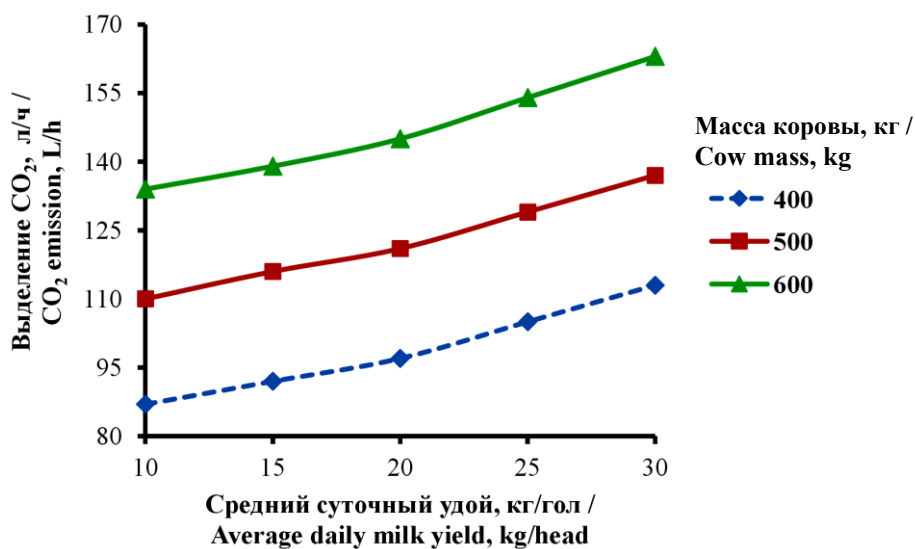


Рис. 1. Зависимость выделения лактирующей коровы CO₂ в зависимости от среднего суточного удоя и массы животного

Fig. 1. Dependence between the carbon dioxide emission from a lactating cow and average daily milk yields and animal mass

¹Валге А. М. Использование систем Excel и Mathcad при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства: методическое пособие. ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. СПб., 2013. 200 с.

²Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.-1-18. МСХ РФ. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 166 с.

При снижении или повышении температуры воздуха происходит замедление или усиление процесса воздухообмена животного с окружающей средой и, как следствие, уменьшение или увеличение выделения CO_2 . Зависимость поправочного температурного коэффициента

для расчета выделения коровой CO_2 представлена на рисунке 2 и математической моделью:

$$k = 0,7592 + 0,0181 \cdot T + 0,0003 \cdot T^2, \quad (2)$$

где k – поправочный температурный коэффициент; T – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

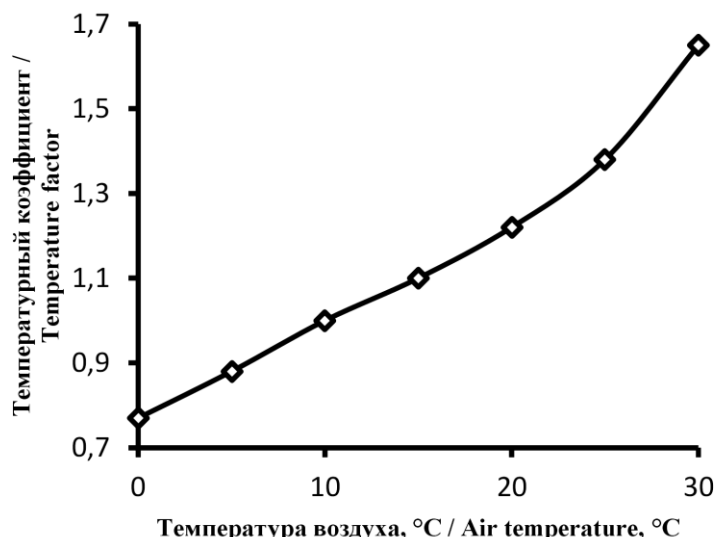


Рис. 2. Зависимость поправочного температурного коэффициента k от температуры окружающего воздуха для расчета выделения коровой CO_2 /

Fig. 2. Dependence between the temperature correction factor k and the ambient temperature for calculating carbon dioxide emission from a cow

Человечество не может отказаться от производства животноводческой продукции, в т. ч. от молока, объем производства которого будет только расти. Поэтому повышение продуктивности животных при снижении удельной эмиссии CO_2 на единицу произведенной продукции необходим для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду. По зависимости (рис. 3) видно, что при увеличении суточного удоя коровы снижается удель-

ная эмиссия углекислого газа на 1 кг произведенного молока. При росте продуктивности коровы от 10 до 30 кг в сутки снижение эмиссии CO_2 л/на 1 кг молока может составить 2,3-2,5 раза. В то же время повышение продуктивности коров сопровождается наращиванием массы животных и потреблением кормов и соответственно возрастает эмиссия CO_2 в 1,4-1,5 раза (рис. 3).

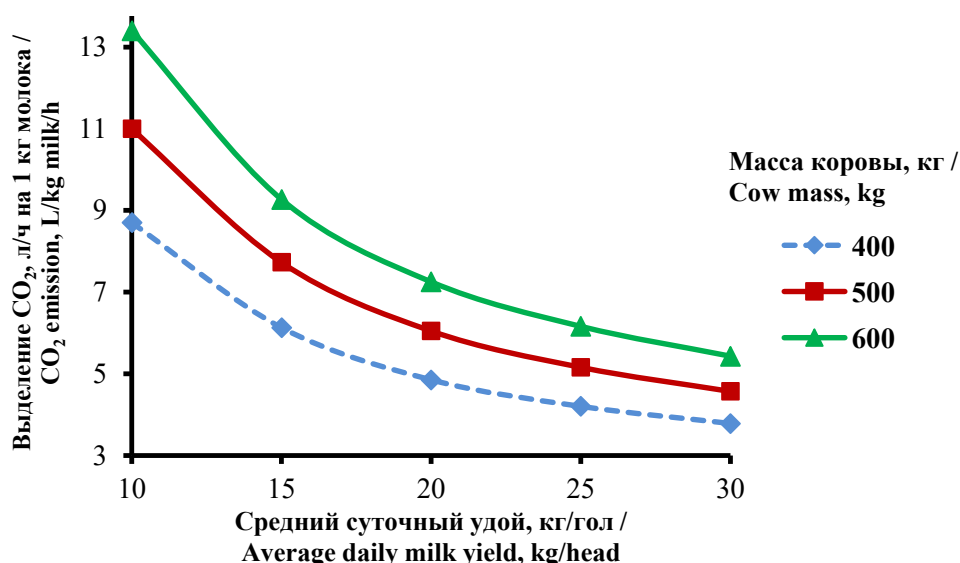


Рис. 3. Зависимость выделения CO_2 л/кг молока от среднего суточного удоя и массы животного /

Fig. 3. Dependence between the carbon dioxide emissions in litres per kg of milk yield per hour, the average daily milk yield, and the animal weight.

Для расчета удельной эмиссии CO_2 в зависимости от суточного удоя и массы коровы можно использовать уравнение регрессии (3):

$$\text{CO}_2 = 19,1365 - 1,9865 \cdot Q + 0,0192 \cdot M_{\text{к}} + 0,0402 \cdot Q^2, \quad (3)$$

где CO_2 – удельная эмиссия углекислого газа, л/ч на 1 кг молока.

При хранении навоза в коровнике выделяются в основном три парниковых газа – CO_2 , метан CH_4 , оксид азота N_2O [12]. Эмиссия углекислого газа из навоза является довольно существенной и плотность его при нормальных условиях составляет 1,977 г/л.

Выход навоза зависит от породы и массы животных, их продуктивности, рациона кормления и ряда других факторов. В работах [13, 14] установлена зависимость выхода навоза от массы лактирующей коровы и ее продуктивности. Анализ результатов исследований, представ-

ленных в этих публикациях, позволил построить модель процесса суточного выхода навоза от дойной коровы $M_{\text{н}}$ в зависимости от ее продуктивности и массы:

$$M_{\text{н}} = 12,069 + 2,476 \cdot Q + 0,02 \cdot M_{\text{к}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{н}}$ – суточный выход навоза от дойной коровы, кг/гол. сутки

Ранее нами проведены исследования по определению интенсивности эмиссии углекислого газа из навоза КРС при различных температурно-влажностных режимах [10, 15], в ходе которых средние значения температуры воздуха варьировали от 5 до 25 °С, температура навоза от 6,3 до 22,5 °С, влажность навоза составила 84-87 %, масса навески навоза 1 кг. Наиболее интенсивно процесс эмиссии CO_2 протекает в первые 1-2 часа, затем интенсивность снижается и стабилизируется (рис. 4).

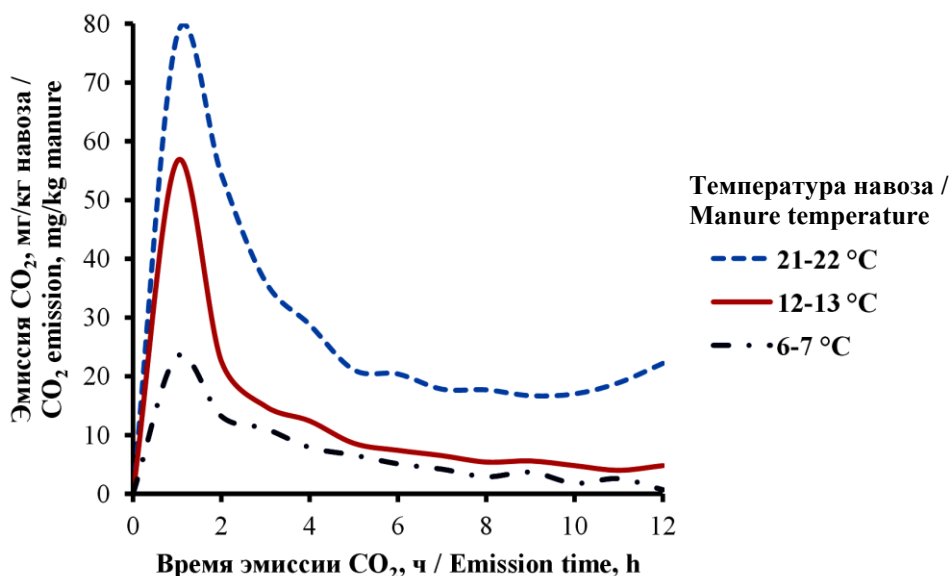


Рис. 4. Интенсивность эмиссии CO_2 из 1 кг навоза КРС в зависимости от температуры навоза и времени процесса /

Fig. 4. Intensity of CO_2 emission from 1 kg of cattle manure depending on the manure temperature and process time

Процесс эмиссии CO_2 из 1 кг навоза в зависимости от продолжительности процесса и температуры материала описывается уравнением регрессии:

$$\text{CO}_2' = -13,382 + 21,432 \cdot t + 1,401 \cdot T_{\text{н}} + 1,722 \cdot t \cdot T_{\text{н}} - 3,672 \cdot t^2, \quad (5)$$

где CO_2' – эмиссия углекислого газа, мг/кг навоза; t – время эмиссии CO_2 , ч; $T_{\text{н}}$ – температура навоза, °С

В процессе жизнедеятельности коровы масса выделенных экскрементов накапливается в коровнике, соответственно растет эмиссия

углекислого газа. На рисунке 5 представлен график эмиссии CO_2 из навоза, выделенного коровой за 6 часов в зависимости от температуры (зима-лето) накапливаемого навоза.

Получено уравнение регрессии, позволяющее определить количество выделяемого углекислого газа животными с учетом эмиссии из навоза:

$$\sum \text{CO}_2 = -1,8107 + 0,0129 \cdot M_{\text{к}} + 0,0856 \cdot Q, \quad (6)$$

где $\sum \text{CO}_2$ – суммарная эмиссия CO_2 , кг/гол. в сутки.

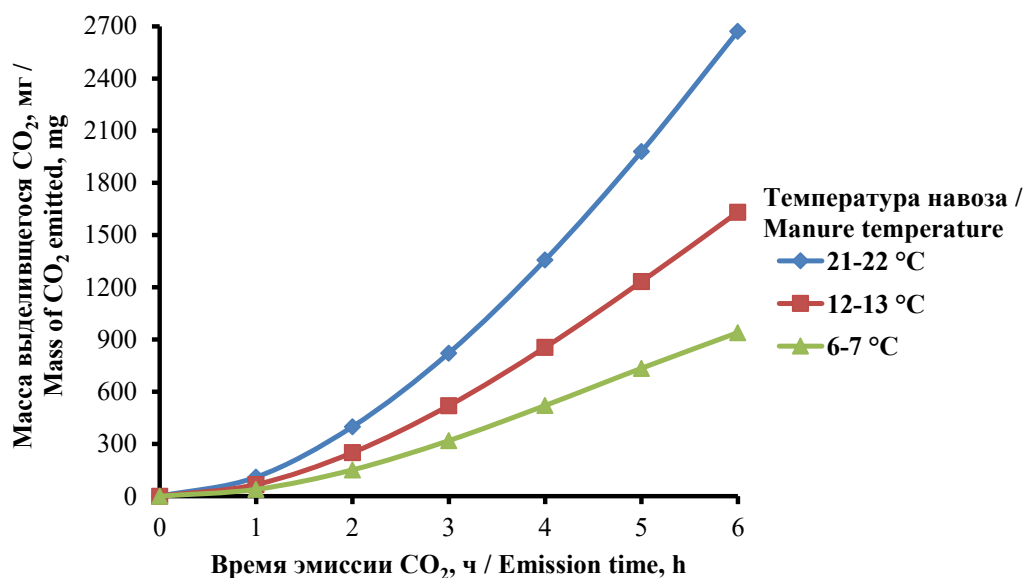


Рис. 5. Эмиссия CO₂ из навоза от одной коровы за 6 часов /
Fig. 5. CO₂ emission from manure per cow per 6 hours

Результаты исследований являются основой модели для расчета эмиссии CO₂ из коровника за сутки, расчетные значения представлены в таблице.

Таблица – Суточная эмиссия CO₂ из коровника на 200 гол., кг /
Table – Daily CO₂ emission from a cow barn for 200 cows, kg

Суточный удой / Daily milk yield	Масса коровы / Cow mass		
	400	500	600
20	1018	1277	1526
25	1099	1354	1613
30	1181	1445	1709

Как следует из данных таблицы, суточная эмиссия углекислого газа из коровника на 200 голов может достигать 1709 кг, при этом она зависит от продуктивности и массы животных.

Закключение. В результате наших исследований и расчетов установлено, что животными в зависимости от продуктивности и массы выдыхается от 4,5 до 8,5 кг углекислого газа в сутки. Эмиссия углекислого газа из навоза, накапливающегося в коровнике, весьма незначительна и составляет менее 1 % от массы углекислого газа, выделяемого лактирующими коровами.

Основной путь обеспечения населения продуктами животноводства при снижении ущерба окружающей среде это интенсификация производства. Так, при увеличении суточного удоя коровы от 10 до 30 кг в сутки снижение удельной эмиссии CO₂ на 1 кг молока может составить 2,3-2,5 раза.

Выявленные закономерности интенсивности эмиссии углекислого газа позволяют разработать модель влияния молочной фермы КРС на экологическое состояние окружающей среды в зоне функционирования животноводческого объекта.

Список литературы

1. Nanda S., Reddy S., Mitra S., Kozinski J. The progressive routes for carbon capture and sequestration. Energy Science&Engineering. 2016;4(2):99-122. DOI: <https://doi.org/10.1002/ese3.117>
2. Иванов А. Ю., Дурманов Н. Д., Орлов М. П., Пиксендеев К. В., Ровнов Ю. Е., Лукша П. О., Макаров И. А., Птичников А. В., Степанов И. А., Харченко М. М., Чертков Г. М. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад. Под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова. М.: Издательский дом НИУВШЭ, 2021. 120 с.
3. Scientific report of EFSA prepared by the Animal Health and Animal Welfare Unit on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease. Annex to the EFSA Journal. 2009;1143:1-7. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1143r>
4. Romaniuk W., Karbowy A. Dostosowanie nowoczesnych systemów chowu zwierząt do wymagań ekologicznych. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE: XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Warszawa: IBMER, 2008. pp. 21-29.

5. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Гордеев В. В., Ланцова Е. О. Микроклимат коровника на 200 голов в зимний период. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(4 (28)):99-103.

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-korovnika-na-200-golov-v-zimniy-period>

6. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Ланцова Е. О. Результаты исследования концентрации CO₂ в типовом коровнике на 200 голов. Молочнохозяйственный вестник. 2016;(4(24)):72-79.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27698025>

7. Солодун В. И. Результаты мониторинга технологических процессов уборки навоза и микроклимата в коровнике при беспривязном содержании животных. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2014;(85):121-127.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22489613>

8. Vtoryi V., Vtoryi S., Gordeev V., Lantsova E. Carbon dioxide emission from cattle manure removed by scrapers. Engineering for Rural Development: Proceedings of the 16th International Scientific Conference (May 24-26, Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2017;16:328-332. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N064>

9. Vtoryi V., Vtoryi S., Lantsova E., Gordeev V. Effect of weather conditions on content of carbon dioxide in barns. Engineering for Rural Development: Proceedings of the 15th International Scientific Conference (May 25-27, 2016, Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2016;15:437-441.

URL: <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N080.pdf>

10. Вторый С. В., Ланцова Е. О. Влияние температуры воздуха и влажности навоза на интенсивность эмиссии газов из навоза крупного рогатого скота. Региональная экология. 2015;(5(40)):43-45.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25127093>

11. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Ильин Р. М. Исследование параметров микроклимата коровника переносным измерительным комплексом. АгроЭкоИнженерия. 2021;(3 (108)):154-164.

Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47145865>

12. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Эмиссия парниковых газов и аммиака из навоза в процессе уборки и подготовки его к использованию. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(1(25)):25-33. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/emissiya-parnikovyyh-gazov-i-ammiaka-iz-navoza-v-protsesse-uborki-i-podgotovki-ego-k-ispolzovaniyu>

13. Текучев И. К., Текучева М. С., Черновол Ю. Н. Методология определения суточного выхода экскрементов от коров. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016; (4(24)):131-136.

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-opredeleniya-sutochnogo-vyhoda-ekskrementov-ot-korov>

14. Текучев И. К., Черновол Ю. Н. Зависимости объема выделяемых коровой экскрементов от ее продуктивности. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(1(25)):40-43. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimosti-obema-vydelyaemyh-korovoy-ekskrementov-ot-ee-produktivnosti>

15. Вторый С. В., Ланцова Е. О. Исследование эмиссии углекислого газа из навоза КРС. Инновации в сельском хозяйстве. 2014;(5):116-119. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22603756>

References

1. Nanda S., Reddy S., Mitra S., Kozinski J. The progressive routes for carbon capture and sequestration. Energy Science&Engineering. 2016;4(2):99-122. DOI: <https://doi.org/10.1002/ese3.117>

2. Ivanov A. Yu., Durmanov N. D., Orlov M. P., Piskendejev K. V., Rovnov Yu. E., Luksha P. O., Makarov I. A., Ptichnikov A. V., Stepanov I. A., Kharchenko M. M., Chertkov G. M. The Battle for Climate: Carbon farming as Russia's stake: expert report. Pod red. A. Yu. Ivanova, N. D. Durmanova. Moscow: Izdatel'skiy dom NIUVShE, 2021. 120 p.

3. Scientific report of EFSA prepared by the Animal Health and Animal Welfare Unit on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease. Annex to the EFSA Journal. 2009;1143:1-7.

DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1143r>

4. Romaniuk W., Karbowy A. Dostosowanie nowoczesnych systemów chowu zwierząt do wymagań ekologicznych. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE: XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Warszawa: IBMER, 2008. pp. 21-29.

5. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Gordeev V. V., Lantsova E. O. The microclimate of 200 heads' cowshed in winter period. Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. 2017;(4 (28)):99-103. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-korovnika-na-200-golov-v-zimniy-period>

6. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Lantsova E. O. Investigation results of CO₂ concentration in a standard barn for 200 cow heads. Molochno-khozyaystvennyy vestnik. 2016;(4(24)):72-79. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27698025>

7. Solodun V. I. Monitoring results of technological processes of manure removal and microclimate in a barn with loose cow housing. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhaniziro-vannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2014;(85):121-127. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22489613>

8. Vtoryi V., Vtoryi S., Gordeev V., Lantsova E. Carbon dioxide emission from cattle manure removed by scrapers. *Engineering for Rural Development: Proceedings of the 16th International Scientific Conference* (May 24-26, Jelgava, Latvia). Jelgava: LL. 2017;16:328-332. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N064>
9. Vtoryi V., Vtoryi S., Lantsova E., Gordeev V. Effect of weather conditions on content of carbon dioxide in barns. *Engineering for Rural Development: Proceedings of the 15th International Scientific Conference* (May 25-27, 2016, Jelgava, Latvia). Jelgava: LLU. 2016;15:437-441. URL: <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N080.pdf>
10. Vtoryi S. V., Lantsova E. O. The effect of air temperature and manure humidity on the intensity of gas emission from cattle manure. *Regional'naya ekologiya = Regional Ecology*. 2015;(5(40)):43-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25127093>
11. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Ilyn R. M. Study of the barn inside climate parameters with a portable measuring complex. *AgroEkoInzheneriya = Agricultural Engineering* (Moscow). 2021;(3 (108)):154-164. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47145865>
12. Gridnev P. I., Gridneva T. T. The greenhouse gases and ammonia emission at the manure cleaning and preparing it to use process. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;(1(25)):25-33. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/emissiya-parnikovyh-gazov-i-ammiak-iz-navoza-v-protsesse-uborki-i-podgotovki-ego-k-ispolzovaniyu>
13. Tekuchev I. K., Tekucheva M. S., Chernovol Yu. N. The cows' excrements daily output determining methodology. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016;(4(24)):131-136. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-opredeleniya-sutochnogo-vyhoda-ekskrementov-ot-korov>
14. Tekuchev I. K., Chernovol Yu. N. The cow's allocated excrements volume and its milk production dependings. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;(1(25)):40-43. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimosti-obema-vydelyaemyh-korovoy-ekskrementov-ot-ee-produktivnosti>
15. Vtoryi S. V., Lantsova E. O. The research of the cattle manure's carbon dioxide emission. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2014;(5):116-119. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22603756>

Сведения об авторах

✉ **Вторый Валерий Федорович**, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0026-6979>, e-mail: vvtoryj@yandex.ru

Вторый Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

Information about the authors

✉ **Valeriy F. Vtoryi**, DSc in Engineering, chief researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0026-6979>, e-mail: vvtoryj@yandex.ru

Sergei V. Vtoryi, PhD in Engineering, senior researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

✉ – Для контактов / Corresponding author