

К вопросу о допустимом содержании ионов аммония в химических добавках для бетонов

Докт. техн. наук П. И. Юхневский¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Азотсодержащие соединения, которые поступают в бетон совместно с сырьевыми компонентами, в частности с химическими модификаторами бетонной смеси и бетона, а также присутствующие в портландцементе, способны в результате разложения образовывать аммиак. Процессы образования и эмиссии аммиака как вызывают ухудшение атмосферы жилых помещений, так и являются причиной понижения прочности и показателей эксплуатационной безопасности железобетонных конструкций. Эти обстоятельства обуславливают необходимость проведения исследований и разработки методов определения безопасного количества аммонийсодержащих добавок в бетоне. Чаще всего в азотсодержащих соединениях присутствуют добавки-пластификаторы, противоморозные и комплексные добавки, а также ускорители схватывания и твердения. Согласно Изменению № 2 СТБ 1112–98 «Добавки для бетонов. Общие технические условия», содержание ионов аммония в добавках не должно превышать 100 мг/кг (кроме противоморозных). Вместе с тем некоторые добавки, в том числе пластификаторы, успешно применяемые не один год без выявленных проблем с эмиссией аммиака, не укладываются в установленную норму. Для определения предельно допустимых концентраций (ПДК) аммонийных солей в бетоне необходимо знать зависимость эмиссии аммиака из бетона от различных факторов, в частности от массового содержания солей в бетоне, площади поверхности, с которой осуществляется эмиссия аммиака, массы бетонных конструкций, температуры, влажности и кратности воздухообмена в помещении. В меньшей степени на эмиссию аммиака будут влиять характеристики бетона и условия реакции гидролиза солей в нем. В статье приведены формулы для расчета эмиссии аммиака из бетона при введении различных аммонийсодержащих добавок. Показано, что, несмотря на сверхнормативное содержание ионов аммония в добавках С-3, ЛСТ и УП-4, эмиссия аммиака из бетона в ряде случаев не превышает установленных ПДК. Объем эмиссии аммиака из бетона определяется не только количеством ионов аммония в добавках, но и в значительной степени конструктивно-технологической схемой здания и параметрами загрузки бетоном помещения. При известных ПДК в воздухе помещения, заданных параметрах загрузки бетоном помещения формулы позволяют рассчитать предельную концентрацию добавки в бетонной смеси, не превышение которой обеспечит соблюдение ПДК по аммиаку в воздухе помещений.

Ключевые слова: азотсодержащие соединения, ионы аммония, эмиссия аммиака, предельно допустимая концентрация, конструктивно-технологическая схема здания, параметры загрузки бетоном помещения

Для цитирования: Юхневский, П. И. К вопросу о допустимом содержании ионов аммония в химических добавках для бетонов / П. И. Юхневский // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 5. С. 420–426. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-5-420-426>

On Issue of Permissible Content of Ammonium Ions in Chemical Additives for Concrete

P. I. Yukhnevskiy¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Nitrogen-containing compounds that enter concrete together with raw materials, in particular with chemical modifiers of concrete mixture and concrete, as well as those present in Portland cement, are capable of forming ammonia as a result

Адрес для переписки
Юхневский Павел Иванович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-96-73
pyukhnevsky@bntu.by

Address for correspondence
Yukhnevskiy Pavel I.
Belarusian National Technical University
12, Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-96-73
pyukhnevsky@bntu.by

of decomposition. The processes of formation and emission of ammonia cause both a deterioration of the atmosphere of residential premises and are the reason for a decrease in the strength and operational safety indicators of reinforced concrete structures. These circumstances necessitate research and development of methods for determining the safe amount of ammonium-containing additives in concrete. Most often, nitrogen-containing compounds contain plasticizing additives, antifreeze and complex additives, as well as setting and hardening accelerators. According to Amendment No 2 STB (Standards of the Republic of Belarus) 1112–98 “Additives for Concrete. General Requirements”, the content of ammonium ions in additives should not exceed 100 mg/kg (except for antifreeze). At the same time, some additives, including plasticizers, which have been successfully used for more than one year without identified problems with ammonia emission, do not fit into the established norm. To determine the maximum permissible concentration (MPC) of ammonium salts in concrete, it is necessary to know the dependence of the emission of ammonia from concrete on various factors, in particular, on the mass content of salts in concrete, the surface area from which ammonia is emitted, the mass of concrete structures, temperature, humidity and air exchange rate in the room. To a lesser extent, the ammonia emission will be affected by the characteristics of the concrete and the reaction conditions for the hydrolysis of salts in the concrete. The paper provides formulas for calculating the emission of ammonia from concrete with the introduction of various ammonium-containing additives. It is shown that, in spite of the above-standard content of ammonium ions in additives C-3, LST and UP-4, the emission of ammonia from concrete in some cases does not exceed the established maximum permissible concentration (MPC). The volume of ammonia emission from concrete is determined not only by the amount of ammonium ions in the additives, but also to a large extent by the structural and technological scheme of the building and the parameters of the concrete loading of the room. With the known MPC in the air of the room, the given parameters of loading the room with concrete, the formula allows you to calculate the maximum concentration of the additive in the concrete mixture, not exceeding which will ensure compliance with the MPC for ammonia in the air of the premises.

Keywords: nitrogen-containing compounds, ammonium ions, ammonia emission, maximum permissible concentration, structural and technological scheme of building, parameters of loading room with concrete

For citation: Yukhnevskiy P. I. (2021) On Issue of Permissible Content of Ammonium Ions in Chemical Additives for Concrete. *Science and Technique*. 20 (5), 420–426. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-5-420-426> (in Russian)

Введение

При возведении жилых домов одной из актуальных проблем является применение современных технологий строительства и строительных материалов, удовлетворяющих требованиям безопасности согласно ТР 2009/013/ВУ [1]. К таким материалам и компонентам бетона относятся химические добавки, в состав которых входят аммонийные соли.

Азотсодержащие соединения, которые поступают в бетон совместно с сырьевыми компонентами, в частности с химическими модификаторами бетонной смеси и бетона, а также присутствующие в портландцементе, способны в результате разложения образовывать аммиак. Процессы образования и эмиссии аммиака как вызывают ухудшение атмосферы жилых помещений, так и являются причиной понижения прочности и показателей эксплуатационной безопасности железобетонных конструкций. Эти обстоятельства обуславливают необходимость проведения исследований и разработки методов определения безопасного количества аммонийсодержащих добавок в бетоне.

В Республике Беларусь аммиак относится к веществам 4-го класса опасности, для которого принят гигиенический критерий качества атмо-

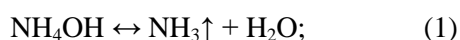
сферного воздуха: предельно допустимая концентрация – максимальное разовое содержание ПДК_{мр} – 200 мкг/м³ [2]. ПДК аммиака в воздухе рабочей зоны производственного помещения 20 мг/м³ [3] и в атмосферном воздухе территории промышленного предприятия 7 мг/м³.

Действующими нормами Беларуси и России не установлена ПДК аммиака в воздухе жилых помещений, но, согласно гигиеническим нормативам России [4], ПДК аммиака в атмосферном воздухе населенных мест составляет: среднесуточная ПДК_{сс} 0,04 мг/м³; максимальная разовая ПДК_{мр} 0,2 мг/м³; ПДК в воздухе рабочей зоны 20 мг/м³ [5].

Как показали результаты исследований [6–8], основная причина эмиссии аммиака из бетонных конструкций – азотсодержащие химические добавки для бетонов. Чаще всего это добавки-пластификаторы, противоморозные и комплексные добавки, а также ускорители схватывания и твердения [9–11]. Сюда относятся:

– аммиачная вода NH₄OH – добавка противоморозного действия, вводится в бетонную смесь в количестве 5–15 % от массы воды затворения в зависимости от расчетной температуры твердения. Легко распадается на аммиак и воду, поэтому бетонирование с применением

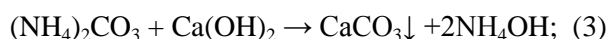
аммиачной воды ведут преимущественно на открытом воздухе. Реакция гидролиза протекает по схеме



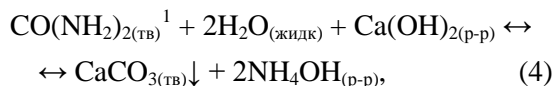
– мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – добавка противоморозного действия, входит в состав комплексных добавок. Например, добавка НКМ (нитрат кальция + мочевины в соотношении 1:1) вводится в бетонную смесь в количестве 6–10 % от массы цемента в зависимости от расчетной температуры твердения; добавка ННХКМ (нитрит-нитрат-хлорид кальция с мочевиной в соотношении 3:1) вводится в бетонную смесь в количестве 6–14 % от массы цемента. Образование аммиака из мочевины можно представить реакциями:



карбонат аммония вступает в реакцию с гидроксидом кальция



итоговая реакция



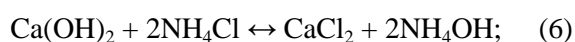
и затем – гидролиз гидроксида аммония по реакции (1);

– аммонийные соли (нитрат аммония NH_4NO_3 , хлористый аммоний NH_4Cl , оксалат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, аммонийная форма нитрата кальция $\text{Ca}_5\text{NH}_4(\text{NO}_3)_{11} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) входят в состав комплексных добавок в качестве противоморозных или ускорителей твердения. Процессы образования аммиака на примере хлористого аммония запишем следующим образом:

реакция гидролиза



обменная реакция с гидроксидом кальция



¹ Индексы «ТВ», «жидк», «р-р» – агрегатное состояние вещества – соответственно твердое, жидкость и раствор, – для которого принималась энтальпия образования при расчете теплового эффекта реакции.

– амиды карбоновых кислот с общей формулой RCONH_2 входят в состав противоморозных добавок и ускорителей твердения. Потенциально данные соединения также являются источником аммиака. Так, ацетамид CH_3CONH_2 , при обычных условиях являющийся довольно стабильным соединением, медленно разлагается холодными основаниями, а с горячими щелочными растворами быстро образует соответствующие ацетат и аммиак;

– аминокислоты, например аминокислота $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ и другие, входят в состав добавок – регуляторов твердения бетона;

– сульфированные меламиноформальдегидные смолы входят в состав добавок-пластификаторов и суперпластификаторов, однако на практике не отмечено признаков их разложения в щелочной среде портландцемента с выделением аммиака;

– лигносульфонат аммония – добавка-пластификатор III группы, поставляется из КНР, содержит до 3,5 % аммонийного азота.

По данным [12], диапазон значений содержания ионов аммония для противоморозных добавок составляет 300–24000 мг/кг, для пластификаторов на основе лигносульфонатов – 100–152 мг/кг, для пластификаторов на основе нафталинсульфонатов – 90–300 мг/кг, для поликарбоксилатов – 50–150 мг/кг. Согласно [13], содержание ионов аммония в добавках на основе нафталинсульфонатов оказалось ниже границ обнаружения прибора, а для добавки «Универсал П-4» составило 264 мг/кг добавки. Согласно Изменению № 2 СТБ 1112–98, содержание ионов аммония в добавках не должно превышать 100 мг/кг (кроме противоморозных). Таким образом, некоторые добавки, в том числе пластификаторы, успешно применяемые не один год без выявленных проблем с эмиссией аммиака, не укладываются в установленную норму. Следует добавить, что в стандартах США ASTM C494/C494M–19 и европейском EN 934-1 (2, 3) на химические добавки не приведены требования в части содержания ионов аммония или азотсодержащих компонентов.

Основная часть

Как видно из приведенных данных, в большинстве случаев источником аммиака в бетоне служит гидроксид аммония. Рассчитаем эн-

тальпию его образования по реакциям (4)–(6) и оценим вероятность эмиссии. Используя следствие из закона Гесса [14], согласно которому тепловой эффект химической реакции равен сумме теплот (энтальпий) образования продуктов реакции за вычетом суммы теплот (энтальпий) образования исходных веществ, применительно к уравнению (4) запишем формулу для расчета теплового эффекта реакции

$$\Delta H_f^0 = (\Delta H_{fCaCO_3} + 2\Delta H_{fNH_4OH}) - (\Delta H_{fCO(NH_2)_2} + \Delta H_{fCa(OH)_2} + 2\Delta H_{fH_2O}). \quad (7)$$

Пользуясь данными стандартных теплот образования простых веществ [14], в результате расчета получаем величину теплового эффекта реакции (4): $\Delta H_f = -33$ кДж/моль, реакция экзотермическая. Тепловой эффект реакции (5): $\Delta H_f = 52,83$ кДж/моль, а реакции (6): $\Delta H_f = -9$ кДж/моль. Поскольку реакция по схеме (6) является экзотермической, вероятность ее протекания значительно выше по сравнению с (5) – эндотермической.

Стехиометрические расчеты, проведенные по уравнениям (1), (4), (6), показали, что 1 г мочевины способен выделить 586 мг аммиака, 1 г хлористого аммония – 318 мг аммиака и 1 г гидроксида аммония – 486 мг аммиака.

Для определения ПДК аммонийных солей в бетоне необходимо знать зависимость эмиссии аммиака из бетона от различных факторов, в частности, от массового содержания солей в бетоне, размера поверхности, с которой осуществляется эмиссия аммиака, от массы бетонных конструкций, температуры, влажности и кратности воздухообмена в помещении. В меньшей степени на эмиссию аммиака будут влиять характеристики бетона и условия реакции гидролиза солей в бетоне.

Исходя из физико-химии процессов, естественно предположить, что определяющими факторами концентрации аммиака в воздухе помещений A , мг/м³, являются:

- интенсивность воздухообмена помещения с внешней средой, характеризуемая кратностью воздухообмена $K_{во}$ за единицу времени, ч⁻¹;
- содержание аммонийных солей (мочевины) в бетоне $K_{мб}$, мг/кг бетона. Косвенно этот

показатель учитывает и время, прошедшее с момента возведения бетонных конструкций, поскольку в результате гидролиза концентрация аммиака с течением времени уменьшается;

– удельная площадь бетонных поверхностей (выделяющих аммиак) в помещении $S_{убп}$, т. е. площадь всех бетонных поверхностей, выходящих в помещение, отнесенная к объему помещения, м²/м³ = м⁻¹;

– удельная масса бетона, приходящаяся на единицу бетонной поверхности, $P_{убп}$, кг/м²;

– температура, влажность и пористость бетона.

Как показано в [15, 16], эмиссия аммиака из бетона сильно зависит от температуры и в меньшей степени от относительной влажности воздуха: с повышением температуры от 25 до 40 °С эмиссия аммиака возрастает в три-четыре раза и, наоборот, уменьшается на 25 % при увеличении относительной влажности воздуха с 30 до 90 %. Влиянием пористости бетона при В/Ц = 0,5–0,7 на эмиссию аммиака можно пренебречь. Авторами [16] предложена формула для расчета равновесной концентрации аммиака в помещении при стандартных параметрах влажности (50 %), температуры (25 °С) и кратности воздухообмена

$$A = \frac{0,00009828 \ln(P_{убп} / 12,827) K_{мб} S_{убп}}{K_{во}}. \quad (8)$$

Для помещений без принудительной вентиляции кратность воздухообмена $K_{во}$ можно принять, равной 0,5 ч⁻¹.

В [17] для расчета выбросов вредных веществ из строительных конструкций (аммиака) и строительных материалов (летучих органических соединений) использовалась похожая формула

$$C_a = \frac{LSEa}{n}, \quad (9)$$

где C_a – ожидаемая концентрация загрязнителя, мкг/м³; L – отношение поверхности к объему, м²/м³; SEa – удельная скорость выброса, мкг/(м²·ч); n – кратность воздухообмена, ч⁻¹.

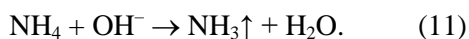
Формула (8) для расчета содержания аммиака в воздухе помещений при стандартных параметрах получена авторами [16] для мочеви-

ны. Расчеты тепловых эффектов реакций гидролиза показали, что вероятность образования гидроксида аммония по реакции (4) из мочевины примерно такая же, как и из хлористого аммония по (6). В таком случае постараемся провести аналогию для расчетов содержания аммиака при введении других аммонийных солей. Учитывая изложенное, модернизируем ее для других добавок. Рассчитаем новую постоянную вместо 0,00009828 для хлористого аммония. Исходя из того, что теоретически 1 г мочевины выделяет 586 мг аммиака, а 1 г хлористого аммония – 318 мг аммиака, получаем величину постоянной 0,00005333 и итоговую формулу для добавки NH_4Cl

$$A = 0,00005333 \frac{\ln(P_{\text{убп}}/12,827) K_{\text{амхб}} S_{\text{убп}}}{K_{\text{во}}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{амхб}}$ – содержание хлористого аммония в бетоне, мг/кг бетона.

Теперь получим формулу для добавки «Универсал П-4». По данным [12], добавка содержит 263,16 мг/кг ионов NH_4^+ . Подсчитаем, сколько это может выделить аммиака по реакции



В результате несложных расчетов получаем 248,54 мг/кг NH_3 . Аналогичным образом откорректируем формулу для расчета содержания аммиака в помещении при введении добавки «Универсал П-4»

$$A = 0,00004168 \frac{\ln(P_{\text{убп}}/12,827) K_{\text{П-4}} S_{\text{убп}}}{K_{\text{во}}}, \quad (12)$$

где $K_{\text{П-4}}$ – содержание добавки «Универсал П-4» в бетоне, мг/кг бетона.

По формуле (12) выполним расчет содержания аммиака в воздухе помещений каркасно-монолитного жилого дома (на примере дома в районе ул. Кропоткина в г. Минске). Конструктивная схема представляет собой монолитные диски перекрытий толщиной 20 см из бетона класса С25/30, монолитные несущие вертикальные конструкции, а именно – лестничные клетки, диафрагмы жесткости, колонны. Высота потолков 2,8 м. Наружные стены

и внутренние перегородки выполнены из ячеистобетонных блоков.

По нашим расчетам, удельная площадь бетонной поверхности $S_{\text{убп}}$ на единицу объема помещения составляла от 0,45 до 0,60 $\text{м}^2/\text{м}^3$, а удельная масса бетона на единицу площади бетона $P_{\text{убп}}$ примерно 170 $\text{кг}/\text{м}^2$. Кратность воздухообмена примем $K_{\text{во}} = 0,5 \text{ ч}^{-1}$, т. е. без принудительной вентиляции.

При введении добавки «Универсал П-4» в количестве 0,6 % от массы цемента ($350 \text{ кг}/\text{м}^3$) содержание добавки в бетоне составит 875 мг/кг бетона. В свою очередь, содержание аммиака в воздухе двухкомнатной квартиры $A = 0,094 \text{ мг}/\text{м}^3$ воздуха, т. е. имеем концентрацию аммиака в воздухе меньше допустимой санитарными нормами [2, 3] – 200 $\text{мкг}/\text{м}^3$. По данным [12], добавка С-3 содержит 304 мг/кг ионов NH_4^+ , ЛСТ – 170–220 мг/кг, карбоксилатов – 130 мг/кг, что близко по содержанию к добавке «Универсал П-4», а с учетом содержания добавок в бетоне эмиссия аммиака в воздухе помещения не будет превышать санитарных норм, что и наблюдается на практике.

Удельные параметры загрузки бетона $S_{\text{убп}}$ и $P_{\text{убп}}$ для типовых жилых помещений в зависимости от конструктивно-технологической схемы здания могут существенно различаться. Приведенные выше расчеты выполнены для каркасного дома с монолитными перекрытиями и колоннами. Для дома с несущими монолитными внутренними стенами и перекрытиями толщиной 160 мм эти параметры, по данным [16], примерно составляют:

– удельная площадь бетонной поверхности $S_{\text{убп}}$: 1,4–1,5 $\text{м}^2/\text{м}^3$;

– удельная масса бетона на единицу поверхности бетона $P_{\text{убп}}$: 180–200 $\text{кг}/\text{м}^2$.

По [17], удельная площадь бетонной поверхности для стен составляет 1,41 $\text{м}^2/\text{м}^3$, потолка – 0,41, колонны, ригеля – 0,24 и двери – 0,10 $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Рассчитаем содержание аммиака в помещении с новыми удельными параметрами загрузки бетоном помещения, используя формулу (12) для добавки «Универсал П-4». После несложных расчетов имеем $A = 0,30 \text{ мг}/\text{м}^3$ воздуха помещения, или в три раза больше по сравнению с данными загрузки помещения бе-

тоном для дома в г. Минске и больше допустимого нормами [2]. Таким образом, конструктивная схема здания существенно влияет на количество аммиака в помещении при одинаковом содержании добавки в бетоне.

При известных значениях A (например, равных ПДК, установленным санитарными нормами Беларуси), заданных $S_{убп}$, $K_{во}$ и $P_{убп}$ формула (12) позволяет рассчитать предельную концентрацию добавки в бетонной смеси $K_{мб}$, не превышение которой обеспечит соблюдение ПДК по аммиаку в воздухе помещений при их эксплуатации. Например, для добавки «Универсал П-4» имеем

$$K_{П-4} = \frac{A_{ПДК} K_{во}}{0,00004168 \cdot \ln(P_{убп} / 12,827) S_{убп}} = \frac{0,2 \cdot 0,5}{0,00004168 \cdot \ln(200/12,827) \cdot 1,5} = 625 \text{ мг/кг.} \quad (13)$$

При плотности бетона 2400 кг/м^3 получаем допустимый расход добавки на 1 м^3 бетона $1,5 \text{ кг}$ (при заданном содержании ионов аммония $263,16 \text{ мг/кг}$ добавки). При расходе добавки $0,5 \%$ от массы цемента (300 кг/м^3) содержание аммиака в воздухе помещения будет в пределах нормы.

ВЫВОДЫ

1. Как показали расчеты и практика применения добавок-пластификаторов бетона, несмотря на то что содержание ионов аммония NH_4^+ в добавках превышает установленную норму (Изменение № 2 СТБ 1112–98) в два-три раза, эмиссия аммиака из бетона не превышает предельно допустимую концентрацию 200 мкг/м^3 в воздухе, установленную в Республике Беларусь.

2. Объем эмиссии аммиака из бетона определяется не только количеством ионов аммония в добавках, но и в значительной степени конструктивно-технологической схемой здания и параметрами загрузки бетоном помещения.

3. Допустимое содержание ионов аммония в химических добавках может быть скорректировано в сторону увеличения после проведения экспериментальных исследований эмиссии аммиака из бетона для различных конструктивно-технологических схем зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ. Минск: Госстандарт, 2015. 28 с.
2. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 № 37 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100037_1614891600.pdf.
3. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к контролю воздуха рабочей зоны» [Электронный ресурс]: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 11.10.2017 № 92 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/W21732492p_1510174800.pdf.
4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: ГН 2.1.6.1338–03. М., 2003. 61 с.
5. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532–18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [Электронный ресурс]: постановление Главного гос. санитар. врача РФ от 13.02.2018 г. № 25 // Гарант.Ру. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71829532/>.
6. Шиманов, В. Н. Проблема эмиссии аммиака из бетонных конструкций [Электронный ресурс] / В. Н. Шиманов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. Режим доступа: <https://science-education.ru/article/view?id=7025>.
7. Rathbone, R. F. A Study of the Effects of Post-Combustion Ammonia Injection on Fly Ash Quality: Characterization of Ammonia Release from Concrete and Mortars Containing Fly Ash as a Pozzolanic Admixture / R. F. Rathbone, T. L. Robl. Kentucky: University of Kentucky Center for Applied Energy Research, 2001. 63 p. <https://doi.org/10.2172/833653>.
8. Benjamin, M. T. Estimating Ammonia Emissions in California [Electronic Resource] / M. T. Benjamin // LADCO Workshop on Fine Particle Emission Inventories Des Plaines, IL Sept. 28, 2000. Mode of access: <https://slideplayer.com/slide/4213732/>.
9. Пособие к строительным нормам и правилам. Применение добавок в бетоне: П1-99 к СНиП 3.09.01–85. Введ. 01.07.2000. Минск: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. 33 с.
10. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.
11. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В. Г. Батраков; 2-е изд. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
12. Калыска, А. А. Определение содержания азотсодержащих соединений потенциометрическим методом в добавках для бетонов / А. А. Калыска, А. А. Дрозд // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. Минск, 2017. Вып. 9. С. 219–231.

13. Халецкая, К. В. Аммиак и его соединения в железобетонных изделиях: обзор аналитических методик и результаты потенциометрического и фотометрического определения / К. В. Халецкая, Н. П. Яловая, Ю. С. Яловая // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 8. С. 88–96.
14. Рабинович, В. А. Краткий химический справочник / В. А. Рабинович, З. Я. Хавин. Л.: Химия, 1978. 392 с.
15. Emission of Ammonia from Indoor Concrete Wall and Assessment of Human Exposure / Z. Bai [et al.] // Environment International. 2006. Vol. 32, No 3. P. 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.06.002>.
16. Отчет о выполнении НИР [Электронный ресурс]. СПб., 2012. Режим доступа: <http://www.prostroymat.ru/blog/chastnyy-detektiv-po-sledu-ammiaka-v-betone-chast-6>. Дата доступа: 14.03.2019.
17. Järnström, H. Reference Values for Building Material Emissions and Indoor Air Quality in Residential Buildings [Electronic Resource] / H. Järnström. VTT, 2007. Mode of access: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2007/P672.pdf>.
- Поступила 26.03.2021
Подписана в печать 27.05.2021
Опубликована онлайн 30.09.2021

REFERENCES

1. TR [Technical Recommendations] 2009/013/BY. *Buildings and Structures, Materials and Products for Building Application*. Minsk, Gosstandart Publ. 28 (in Russian).
2. Hygienic Standard “Indicators of Safety and Harmlessness of Atmospheric Air”: Resolution of the Council of Ministers dated 25.01.2021 No 37. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100037_1614891600.pdf (in Russian).
3. Sanitary Norms and Rules “Requirements for Air Control of the Working Area”: Approved by the Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus from 11.10.2017 No 92. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/W21732492p_1510174800.pdf (in Russian).
4. GN [Hygienic Normative] 2.1.6.1338–03. *Maximum Permissible Concentration (MPC) of Pollutants in the Atmospheric Air of Populated Areas*. Moscow, 2003. 61 (in Russian).
5. On the Approval of Hygienic Standards 2.2.5.3532–18 “Maximum Permissible Concentration (MPC) of Harmful Substances in the Air of the Working Area”: Approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation from 13.02.2018 No 25. *Garant.Ru*. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71829532/>.
6. Shimanov V. N. (2012) Problem of Ammonia Emissions from Concrete Structures. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*, (5). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7025>.
7. Rathbone R. F., Robl T. L. (2001) *A Study of the Effects of Post-Combustion Ammonia Injection on Fly Ash Quality: Characterization of Ammonia Release from Concrete and Mortars Containing Fly Ash as a Pozzolanic Admixture*. Kentucky, University of Kentucky Center for Applied Energy Research. 63. <https://doi.org/10.2172/833653>.
8. Benjamin M. T. (2000) Estimating Ammonia Emissions in California. *LADCO Workshop on Fine Particle Emission Inventories Des Plaines, IL September 28, 2000*. Available at: <https://slideplayer.com/slide/4213732/>.
9. SNiP [Construction Rules and Regulations] 3.09.01–85. *III-99 Building Code Guide. Use of Additives in Concrete*. Minsk, Publishing House of Belarusian State Institute for Standardization and Certification, 1999. 33 (in Russian).
10. Ratinov V. B., Rozenberg T. I. (1989) *Concrete Admixtures*. Moscow, Stroiizdat Publ. 188 (in Russian).
11. Batrakov V. G. (1998) *Modified Concrete. Theory and Practice*. Moscow, Stroiizdat Publ. 768 (in Russian).
12. Kalyska A. A., Drozd A. A. (2017) Determination of the Content of Nitrogen-Containing Compounds by the Potentiometric Method in Additives for Concrete. *Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona: Sb. Nauch. Tr. [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete: Collection of Scientific Papers]*. Minsk. Iss. 9. 219–231 (in Russian).
13. Khaletskaia K. V., Yalovaya N. P., Yalovaya Yu. S. (2015) Ammonia and its Compounds in Reinforced Concrete Products: a Review of Analytical Methods and Results of Potentiometric and Photometric Determination. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye Nauki = Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*, (8), 88–96 (in Russian).
14. Rabinovich V. A., Khavin Z. Ya. (1978) *Brief Chemical Handbook*. Leningrad, Khimiya Publ. 392 (in Russian).
15. Bai Z., Dong Y., Wang Z., Zhu T. (2006) Emission of Ammonia from Indoor Concrete Wall and Assessment of Human Exposure. *Environment International*, 32 (3), 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.06.002>.
16. Research Progress Report [Electronic Resource]. Saint-Petersburg, 2012. Available at: <http://www.prostroymat.ru/blog/chastnyy-detektiv-po-sledu-ammiaka-v-betone-chast-6>. (Accessed 14 March 2019).
17. Järnström H. (2007) *Reference Values for Building Material Emissions and Indoor Air Quality in Residential Buildings*. Available at: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2007/P672.pdf>.

Received: 26.03.2021

Accepted: 27.05.2021

Published online: 30.09.2021