Тип статьи: научная
УДК 620.193.23
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-88-95

К ВОПРОСУ ПРОТЕКАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАВОЗОУБОРОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Николай Петрович Аюгин [1], Денис Евгеньевич Молочников [2], Асгат Завдетович Мухитов[3], Александр Викторович Морозов [4], Сергей Александрович Яковлев [5]
[1,2,3,4,5] *Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, г. Ульяновск, Россия*
[1]nikall85g@yandex.ru, [2]denmol@yandex.ru, [3]surgeon-dep@ugsha.ru, [4]alvi.mor@mail.ru, [5]jakseal@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Денис Евгеньевич Молочников, denmol@yandex.ru
Corresponding author: Denis Molochnikov, denmol@yandex.ru

Реферат. *Статья посвящена изучению скорости протекания коррозионных процессов стальных деталей в животноводческих и птицеводческих помещениях, в первую очередь навозоуборочного оборудования, которое эксплуатируется и взаимодействует с химически агрессивной средой. Рассмотрены вопросы потерь металла деталей, контактирующих с продуктами жизнедеятельности крупного рогатого скота, свиней и птицы. Установлено, что максимальная коррозионная активность продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных наблюдается при следующей влажности: помет кур – 70…72 %, экскременты свиней – 66…70 %, экскременты крупного рогатого скота – 70…74 %. Наиболее агрессивной средой является помет птиц, при этом за год скорость коррозии может достигать до 600 г/м^2, в экскрементах свиней – до 540 г/м^2, крупного рогатого скота – 440 г/м^2. При этом максимальная коррозия металла в помете кур наблюдается при влажности 71 %, экскрементах свиней – 68 %, экскрементах крупного рогатого скота – 72 %. Исследование влияния коррозионных процессов на увеличение крутящего момента при отворачивании резьбовых соединений навозоуборочного оборудования животноводческих и птицеводческих ферм показало, что окисление резьбовых соединений в продуктах жизнедеятельности животных в течение года приводит к увеличению крутящего момента на отворачивание в среднем 2,1 раза.*

Ключевые слова: *коррозия, животноводческое и птицеводческое оборудование, агрессивная среда, потеря массы металла, скорость коррозии, момент откручивания.*

ON THE ISSUE OF THE COURSE OF CORROSION PROCESSES ON MANURE HARVESTING EQUIPMENT

Nikolaj Ayugin [1], Denis Molochnikov [2], Asgat Muhitov [3], Aleksandr Morozov [4], Sergej Yakovlev [5]
[1,2,3,4,5] *Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia*
[1]nikall85g@yandex.ru, [2]denmol@yandex.ru, [3]surgeon-dep@ugsha.ru, [4]alvi.mor@mail.ru, [5]jakseal@mail.ru

Abstract. *The article is devoted to the study of the rate of corrosion processes in steel parts in livestock and poultry buildings, primarily manure equipment, which is operated and interacts with a chemically aggressive environment. The issues of metal loss of parts in contact with the waste products of cattle, pigs and poultry are considered. It has been established that the maximum corrosive activity of the waste products of agricultural animals is observed at the following humidity: chicken droppings - 70 ... 72%, pig excrement - 66 ... 70%, cattle excrement - 70 ... 74%. The most aggressive environment is bird droppings, while during the year the corrosion rate can reach up to 600 g/m2, in pig excrement - up to 540 g/m2, cattle - 440 g/m2. At the same time, the maximum corrosion of metal in chicken droppings is*

observed at a moisture content of 71%, pig excrement - 68%, cattle excrement - 72%. The study of the effect of corrosion processes on the increase in torque when unscrewing the threaded joints of manure equipment of livestock and poultry farms showed that the oxidation of threaded joints in animal waste products during the year leads to an increase in the torque for unscrewing by an average of 2.1 times.

Keywords: *corrosion, livestock and poultry equipment, aggressive environment, loss of metal mass, corrosion rate, unscrewing moment.*

Для цитирования: Аюгин Н.П., Молочников Д.Е., Мухитов А.З., Морозов А.В., Яковлев С.А. К вопросу протекания коррозионных процессов на навозоуборочном оборудовании // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 64, № 4. С. 88-95. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-88-95.

For citation: Ayugin N., Molochnikov D., Muhitov A., Morozov A., Yakovlev S. On the issue of the course of corrosion processes on manure harvesting equipment // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 64(4): 88-95. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-88-95.

Введение. Поскольку продовольствие является первичной потребностью человека, продовольственная безопасность страны является ключевой задачей государства [1]. Объемы потребления населением продуктов питания и их качественный состав является одним из основных показателей, характеризующих благополучие нации. Отрасль животноводства вносит существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны.

При этом отрасли растениеводства и животноводства имеют тесную взаимосвязь, поскольку растениеводческая продукция во многом производится на корм животным, а побочные продукты животноводства используются в качестве органических (экологически чистых) удобрений для сельскохозяйственных растений [2].

Наличие навозоуборочного оборудования является неотъемлемым элементом современных животноводческих и птицеводческих ферм. Микроклимат ферм способствует быстрому окислению металлических поверхностей, вследствие высокой влажности воздуха, наличия водяных паров, соединений аммиака и т.д. Кроме того, рабочие органы навозоуборочного оборудования постоянно контактируют с продуктами жизнедеятельности животных, которые способствуют активному протеканию коррозионных процессов [3].

Особенно остро коррозионные процессы на фермах протекают в холодное время года, поскольку с целью сохранения тепла в помещении содержания животных стараются утеплить, загерметизировать окна, двери, оставляя лишь ворота для входа людей и для заезда кормораздатчиков.

В самые холодные месяцы года для сохранения тепла используют рециркуляционные системы, так как на обогрев воздуха, поступающего в помещение, расходуется много энергетических ресурсов. В результате чего в помещении содержания животных наблюдается повышенная влажность, кроме того, при заезде и выезде кормораздатчика в помещение поступает холодный воздух, который конденсируется на всех поверхностях фермы [4], дополнительно влияя на влажность в животноводческих помещениях.

В теплое время года процессы коррозии протекают значительно в меньшей степени, поскольку помещения постоянно проветриваются и лишняя влага удаляется через вентиляционные окна.

Продукты жизнедеятельности животных в своем составе содержат коррозионно активные вещества, содержание которых обусловлено обменом веществ в организме животного [5]. Так, например, в продуктах жизнедеятельности крупного рогатого скота может содержаться 500…2800 мг/л сульфат ионов, свиней – 190…210 мг/л. Содержание солей магния в навозе крупного рогатого скота составляет порядка 840 мг/л и более, свиней – не более 480 мг/л, в помете птицы содержание солей магния совсем незначительное. Содержание ионов хлора в навозных стоках крупного рогатого скота может достигать достаточно значительных величин – до 6000 мг/л, свиней – до 340 мг/л, в помете птицы содержание данных веществ незначительное.

Как показывают данные таблицы 1, содержание минеральных солей: нитратов, фосфатов в продуктах жизнедеятельности крупного рогатого скота может достигать 29000 мг/л, свиней – до 9500 мг/л, птицы – 68000 мг/л. Следует отметить, что в помете птицы отсутствует хлориды и

сульфаты, а также летучие органические вещества, кетоны, серосодержащие органические вещества.

Серосодержащие органические вещества, которые представлены цистином, метионином, цистеином, в которых содержатся тиогруппы, легко переходят в дисульфиды. При распаде дисульфидов образуется серная кислота и ряд эфирсерных кислот, таких как индоксилсерная, фенилсерная и ряд летучих серосодержащих кислот. В составе мочи животных сера обуславливает кислую реакцию. В составе фекалий крупного рогатого скота содержится таурин, представленный солями серосодержащих бескислородных минеральных кислот. Механизм распара дисульфидов напрямую влияет на коррозионную активность продуктов жизнедеятельности животных на металлы.

Кроме вышеперечисленных элементов, продукты жизнедеятельности животных содержат вещества, входящие в группу аминного азота – мочевая кислота, пуриновые основания, аллантоин. Наибольшее содержание аминного азота в фекалиях птицы (может составлять до 60 %), когда как в фекалиях свиней и птицы незначительное содержание. Присутствие в навозных стоках органических аминов приводит к снижению поверхностного натяжения воды на границе раздела жидкость – металл, что усиливает смачиваемость металла. При этом существует зависимость, чем выше концентрация аминов в составе фекальных стоков, тем значительнее снижение величины поверхностного натяжения и сильнее смачиваемость фекальными стоками поверхности металла. Это усиливает взаимодействие между агрессивными компонентами навоза и крепежными элементами машин животноводческих и птицеводческих ферм.

Таблица 1 - Содержание кислот, минеральных и органических веществ в продуктах жизнедеятельности крупного рогатого скота, свиней и птицы

Вещества и их концентрация	Птицы	Свиньи	Крупный рогатый скот
Органические вещества, %			
мочевая кислота	57	1,8	7,3
гиппуриновая кислота	Минимальное значение	Отсутствует	15,0
глюкороновая кислота	Отсутствует	6,9	16,8
глютамин	12,3	5,0	23,0
бензойная кислота	150	5,0	3,0
Амины (пуриновые основания), % от общего азота	10	5,8	0,7
Минеральные соли, мг/л			
фосфаты, нитраты	До 68000	До 9500	До 29000
соли магния	Минимальные значения	150…480	800…880
сульфаты	Отсутствуют	190…210	500…820 (периодически увеличение до 2800)
хлориды	Минимальные значения	150…340	900…1500 (периодически превышают до 6000)
Летучие органические кислоты, кетоны, мг/л	Отсутствуют	3,9	Отсутствуют
Серосодержащие органические вещества, мг/л	Отсутствуют	1,4	150

Органические кислоты в составе продуктов жизнедеятельности животных также являются агрессивными компонентами по отношению к металлу. Химическое взаимодействие стальных деталей с органическими кислотами приводит к образованию соответствующих солей, хорошо растворимых в воде.

Содержание влаги существенно влияет на протекание коррозионных процессов. С увеличением влажности продуктов жизнедеятельности животных увеличивается степень их диссоциации и электрохимически активная площадь металла, находящегося в них. При этом происходит более интенсивная диффузия, что ведет к увеличению скорости коррозии. При чрезмерном повышении влажности происходит некоторое замедление скорости коррозии вследствие уменьшения притока кислорода воздуха к поверхности металла.

На навозоуборочном оборудовании в животноводческих и птицеводческих помещений есть детали из углеродистой стали Ст3, в том числе крепежные, исследование коррозионных процессов на деталях из стали Ст3, в том числе крепежных, в экскриментах животных актуально. В данной работе определяли наиболее агрессивные экскременты животных по отношению к стали Ст3 и изучали крутящие моменты резьбовых соединений до и после экспозиции в экскриментах животных.

Материалы и методы. Для изучения процесса корродирования стальных поверхностей под воздействием экскрементов сельскохозяйственных животных были изготовлены пластины из стали Ст3 толщиной 3 мм, а также подготовлены крепежные элементы, включающие шайбы, болты и гайки М10, материал которых также Ст3.

а б

Рисунок 1 – Крепежные элементы до (а) и после испытаний (б)

Рисунок 2 – Фото размещения пластин с крепежными элементами на рабочих органах транспортеров для удаления навоза

Для изучения влияния влажности на коррозионные процессы стали в экскрементах животных с целью поддержания постоянной влажности от 50 до 90% первая часть пластин была помещена в герметичные емкости. Продолжительность выдержки составляла 1 год. Вторая часть пластин

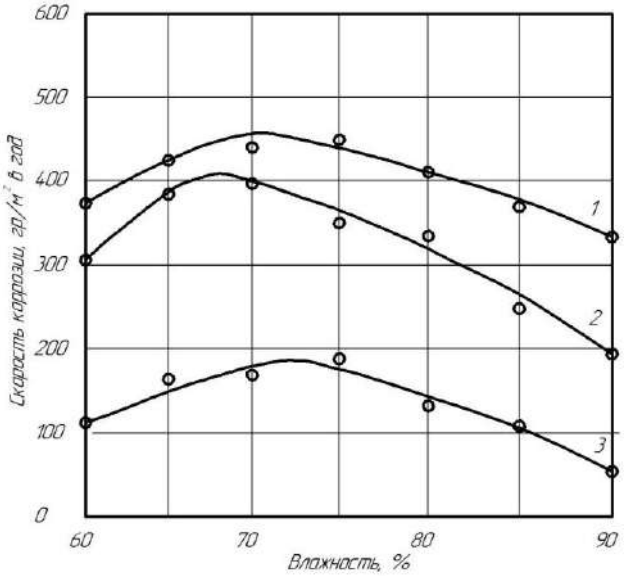
вместе с крепежными элементами, затянутыми динамометрическим ключом с крутящим моментом равным 20 Н·м, была размещена на рабочих органах транспортеров для удаления навоза на учебной ферме КРС ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ (рисунок 2). Образцы ежемесячно извлекались для оценки потери металла за счет коррозии, а также изменения крутящего момента на отворачивание. Влажность экскрементов была «естественная», учитывалось только время контакта пластин с экскрементами.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 3 представлена зависимость скорости коррозии металла Ст3 от влажности продуктов жизнедеятельности различных животных.

Данные, представленные на рисунке 2, свидетельствуют, что наименьшая скорость коррозии металла при помещении его в продукты жизнедеятельности сельскохозяйственных животных характерна для экскрементов крупного рогатого скота (до 190 г/м^2 в год), для экскрементов свиней и птицы характерна более высокая интенсивность коррозионных процессов (до 310 г/м^2 и 460 г/м^2 в год).

Максимальная коррозионная активность продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных наблюдается при следующей влажности: помет кур – 70…72 %, экскременты свиней – 66…70 %, экскременты крупного рогатого скота – 70…74 %.

Из-за особенностей фракционного состава продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, наличия в них непереваренных растительных остатков и влажности касание экскрементов с металлической поверхностью происходит не по всей площади, а в отдельных точках касания. При недостатке влаги протекание коррозионного процесса возможно только в местах контакта с влажными частицами экскрементов, площадь коррозионных поражений уменьшается, но наблюдается проникновение коррозии вглубь металла.



1- помет кур; 2 – экскременты свиней; 3- экскременты крупного рогатого скота
Рисунок 3 – Зависимость скорости коррозии металла Ст3 от влажности

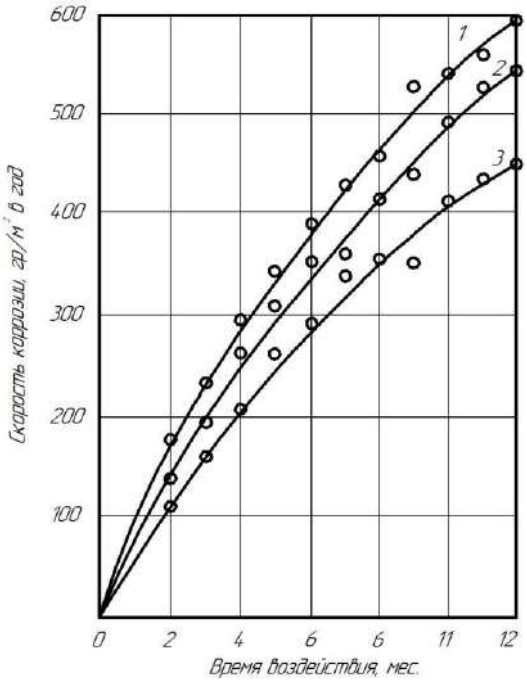
Это вызвано тем, что содержащиеся в жидкой фазе ионы вызывают разрушение имеющейся на металле первоначальной оксидной пленки, главным образом в местах тесного контакта металла с частицами экскрементов. В тех местах поверхности металла, где контакт менее тесный, эта пленка почти целиком сохраняется неповрежденной. Создаются условия, когда значительный участок поверхности металла не защищен пленкой (тесный контакт), а другой участок остается покрытым ею (рисунок 4). Первоначальное распределение площадей, покрытых и непокрытых пленкой участков сохраняется при дальнейшем протекании коррозионного процесса. Коррозия на участках контакта при этом будет проникать вглубь металла, образуя глубокие питтинги.

Рисунок 4 – Коррозионные повреждения металла

Поскольку в условиях животноводческих предприятий рабочие органы навозоуборочных машин постоянно контактируют со свежими порциями продуктов жизнедеятельности животных, во втором эксперименте металлические пластины были закреплены на рабочих органах навозоуборочных транспортеров, а результаты по потере массы представлены на рисунке 5.

Анализируя данные, представленные на рисунке 5, следует отметить, что при закреплении стальных пластин на ленте навозоуборочного транспортера скорость коррозионных процессов возросла в несколько раз, по сравнению со скоростью коррозии пластин, находящихся в герметичных емкостях при различных значениях влажности (рисунок 3): для экскрементов крупного рогатого скота в 2,3 раза; свиней – 1,8 раза; птицы – 1,3 раза.

Как показали результаты эксперимента наибольшая коррозионная активность продуктов жизнедеятельности животных проявляется на границе раздела фаз в условиях периодического смачивания.

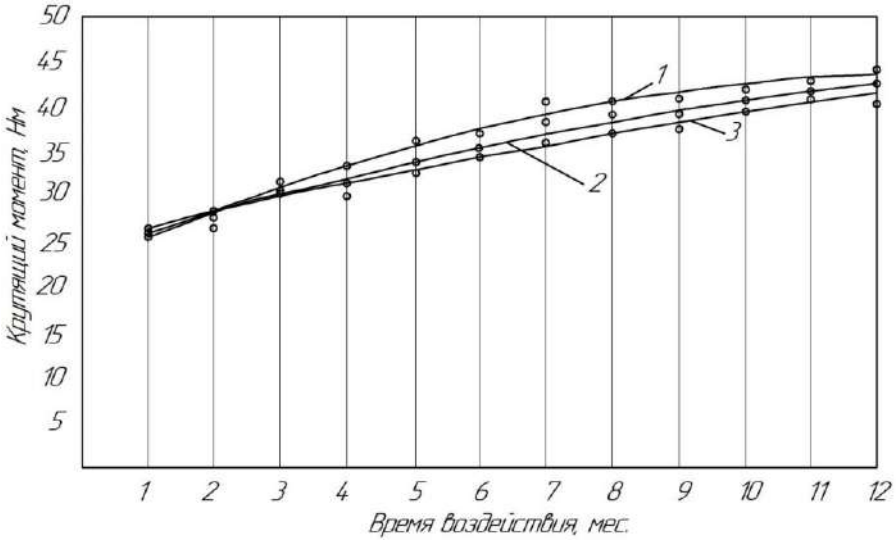


1- помет кур; 2 – экскременты свиней; 3- экскременты крупного рогатого скота

Рисунок 5 - Зависимость коррозии стали Ст3 от времени воздействия продуктов жизнедеятельности животных (при закреплении на навозоуборочных транспортерах)

Результаты исследований по изучению изменения крутящего момента на отворачивание крепежных элементов, под действием агрессивной среды продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, представлены в виде графика на рисунке 6.

Результаты эксперимента свидетельствуют, что за год нахождения в агрессивной среде экскрементов животных происходит увеличение крутящего момента на отворачивания в 2…2,2 раза.



1- помет кур; 2 – экскременты свиней; 3- экскременты крупного рогатого скота

Рисунок 6 - Зависимость крутящего момента отворачивания гайки от продолжительности ее нахождения в продуктах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных

Продукты жизнедеятельности сельскохозяйственных животных являются весьма агрессивной средой для металлических деталей навозоуборочной техники, что объясняется содержанием в них солей и органических кислот. Коррозионные процессы, протекающие на поверхности стальных деталей, приводят как к потере металла, так и к увеличению крутящего момента на отворачивание данных соединений из-за проникновения в зазор между гайкой и болтом под действием капиллярных сил влаги с образованием пленок. В этой пленке постепенно растворяются такие компоненты воздуха, как углекислый газ, оксиды серы и азота, в результате чего образуются слабые серная и азотная кислоты. Также экскременты в своем составе также содержат мочевую, гиппуриновую, глюкороновую и бензойную кислоты, что в конечном итоге только интенсифицирует процесс коррозии металла, также не следует забывать о минеральных солях, содержащихся в продуктах жизнедеятельности животных.

Выводы. Результаты исследования влияния продуктов жизнедеятельности животных на коррозию металла свидетельствуют, что в связи с различным содержанием кислот, минеральных и органических веществ в продуктах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, наиболее агрессивной средой является помет птиц, при этом за год может происходить снижение массы металла на 600 г/м^2, в экскрементах свиней – до 540 г/м^2, крупного рогатого скота – 440 г/м^2. При этом максимальная коррозия металла в помете кур наблюдается при влажности 71 %, экскрементах свиней – 68 %, экскрементах крупного рогатого скота – 72 %.

Окисление резьбовых соединений в продуктах жизнедеятельности животных в течение года приводит к увеличению крутящего момента на отворачивание в среднем 2,1 раза.

Список источников

1. Павлов, В. С. Моделирование и исследование процесса коррозии стали ст.3 и цинка в водной среде животноводческих и птицеводческих помещений / В. С. Павлов, А. Г. Смирнов, И. А. Павлов // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3(6). – С. 97-102.

2. Пек, Л. Защита от коррозии оборудования животноводческих ферм методом цинкования / Л. Пек // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский ГАУ". – 2009. – № 3(34). – С. 50-51.

3. Лоскутова, Е. В. Виды коррозии оборудования и сооружений объектов животноводства / Е. В. Лоскутова // Инновационные тенденции развития российской науки : материалы X

Международной научно-практической конференция молодых ученых, посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ, Красноярск, 22–23 марта 2017 года. Том Часть I. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. – С. 164-166.

4. О проблемах защиты от атмосферной коррозии техники и оборудования в АПК / Л. Г. Князева, А. В. Дорохов, Н. А. Курьято, В. В. Сафонов // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16, № 8(120). – С. 1106-1117. – DOI 10.35679/1991-9476-2021-16-8-1106-1117.

5. Козлов, А. А. Методы коррозионных исследований / А. А. Козлов, Д. Е. Молочников, Х. Карадаг // Инновационное развитие АПК: проблемы и перспективы кадрового обеспечения отрасли и внедрения достижений аграрной науки: Материалы Международной научно-практической конференции, Махачкала, 30 сентября 2021 года. – Махачкала: Дагестанский институт повышения квалификации кадров АПК, Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, 2021. – С. 232-237.

References

1. Pavlov, V. S. Modeling and investigation of the corrosion process of steel st.3 and zinc in the aquatic environment of livestock and poultry premises / V. S. Pavlov, A. G. Smirnov, I. A. Pavlov // Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy. – 2018. – № 3(6). – Pp. 97-102.

2. Peck, L. Corrosion protection of livestock farm equipment by galvanizing / L. Peck // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agrarian University". – 2009. – № 3(34). – Pp. 50-51.

3. Loskutova, E. V. Types of corrosion of equipment and structures of livestock facilities / E. V. Loskutova // Innovative trends in the development of Russian science : Materials of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the Year of Ecology and the 65th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, March 22-23, 2017. Volume Part I. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2017. – pp. 164-166.

4. On the problems of protection from atmospheric corrosion of machinery and equipment in the agro-industrial complex / L. G. Knyazeva, A.V. Dorokhov, N. A. Kuryato, V. V. Safonov // Scientific life. – 2021. – Vol. 16, No. 8(120). – pp. 1106-1117. – DOI 10.35679/1991-9476-2021-16-8-1106-1117.

5. Kozlov, A. A. Methods of corrosion research / A. A. Kozlov, D. E. Molochnikov, H. Karadag // Innovative development of the agro-industrial complex: problems and prospects of staffing the industry and the introduction of achievements of agricultural science : Materials of the International Scientific and Practical Conference, Makhachkala, September 30, 2021. – Makhachkala: Dagestan Institute of Advanced Training of Agricultural Personnel, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, 2021. – pp. 232-237.

Информация об авторах

Н.П. Аюгин - кандидат технических наук, доцент, Д.Е. Молочников - кандидат технических наук, доцент, А.З. Мухитов - кандидат технических наук, доцент, А.В. Морозов - доктор технических наук, доцент, С.А. Яковлев - кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

N.P. Ayugin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, D.E. Molochnikov - Candidate of Technical Sciences, associate Professor, A.Z. Mukhitov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, A.V. Morozov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, S.A. Yakovlev - Candidate of Technical Sciences, associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 14.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.08.2023