

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.243.2

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-2-46-51

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТАЛЬНОЙ ЭМАЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ДЛЯ СИЛОСНЫХ БАШЕН****ПАВКИН ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, заведующий лабораториейdimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>**ЮРОЧКА СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**, аспирант, младший научный сотрудникyurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>**НИКИТИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, аспирант, младший научный сотрудникevgeniy.nicks@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>**РУЗИН СЕМЕН СЕРГЕЕВИЧ**, младший научный сотрудникruzin.s.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>**ХАКИМОВ АРТЕМ РУСТАМОВИЧ**✉, аспирант, младший научный сотрудникarty.hv@gmail.com✉; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>**КИРЮШИН ИВАН АЛЕКСЕЕВИЧ**, аспирант, инженерivankiriushin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3748-6561>**ЗАДОРОЖНИЙ РОМАН НИКОЛАЕВИЧ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудникgosniti8@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8007-0732>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

**Аннотация.** Одной из технологий получения и хранения высококачественного силоса и сенажа считается использование силосных башен. Корпусные листы для силосных башен предложено изготавливать из высокопрочной и коррозионно-устойчивой стали, покрытой стеклоэмалью, обладающей более низким коэффициентом трения скольжения, чем сталь и бетон, а также высокой стойкостью к агрессивной внешней среде. Целью исследования являлось определение свойств стеклоэмалевого покрытия стальных деталей для изготовления хранилищ башенного типа. Стеклоэмалевое покрытие из фритты стеклоэмальной марки МК-5 наносилось на подготовленные листы из стали 09Г2С с помощью пульверизатора. Общая толщина эмалированного покрытия составила от 200 до 350 нм. Обжиг в печи производился при температуре 850°C в течение 30 мин. Толщина эмалированного покрытия определялась микроскопом Olympus GX51. Определение шероховатости проводилось на профилографе-профилометре TAYLOR HOBSON Surtronic 25. Исследование адгезионных свойств покрытия проводилось адгезиметром Positest AT-M. Каждый тестовый образец испытывался дважды. Испытания проводились на участке площадью 0,06 м<sup>2</sup>. Коэффициент трения скольжения определялся на адаптированном испытательном стенде. Лабораторные испытания с силосной массой проводились согласно разработанной методике. Исследования стальной поверхности со стеклоэмальным покрытием показали, что толщина эмалированного слоя в среднем составила 690 нм, шероховатость – 0,01 мкм, адгезия – 5,25 МПа. Коэффициент трения скольжения измельченных растительных материалов об эмалированную стальную поверхность составил 0,15, что в 2,6 и 3,2 раза ниже, чем у неэмалированной стали и бетона соответственно. Сделаны выводы о возможности применения в силосных башнях стали 09Г2С в качестве подходящей замены стали 65Г и о достаточной эффективности выбранной технологии эмалирования.

**Ключевые слова:** силосная башня, силосная масса, испытание материалов, коэффициент трения скольжения, адгезия, эмаль.

**Формат цитирования:** Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Никитин Е.А., Рузин С.С., Хакимов А.Р., Кирюшин И.А., Задорожний Р.Н. Исследование свойств стальной эмалированной поверхности для силосных башен // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 2. С. 46-51. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-46-51>.

© Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Никитин Е.А., Рузин С.С., Хакимов А.Р., Кирюшин И.А., Задорожний Р.Н., 2022



## ORIGINAL PAPER

**STUDY OF THE PROPERTIES OF STEEL ENAMELED SURFACE  
FOR SILO TOWERS****DMITRIY YU. PAVKIN**, PhD (Eng), Head of Laboratorydimqaqa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>**SERGEYS. YUROCHKA**, postgraduate student, Junior Research Engineeryurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>**EVGENIYA A. NIKITIN**, postgraduate student, Junior Research Engineerevgeniy.nicks@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>

**SEMYON S. RUZIN**, Junior Research Engineer

ruzin.s.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

**ARTEM R. KHAKIMOV**<sup>✉</sup>, PhD student, Junior Research Engineer

arty.hv@gmail.com<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

**IVAN A. KIRYUSHIN**, postgraduate student, Engineer

ivankiryushin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3748-6561>

**ROMAN N. ZADOROZHNIY**, PhD (Eng), Lead Research Engineer

gosniti8@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8007-0732>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

**Abstract.** One of the technologies for obtaining and storing high-quality silage and haylage is the use of silo towers. The authors propose to manufacture silo towers from high-strength and corrosion-resistant steel sheets, coated with glass enamel, which has a lower coefficient of sliding friction than steel and concrete, as well as high resistance to aggressive environments. The aim of the study was to determine the properties of the glass-enamel coating of steel parts for the manufacturing of tower-type storages. A glass-enamel coating from a frit of glass-enamel brand MK-5 was applied to prepared sheets of steel 09G2S using a spray gun. The total thickness of the enameled coating ranged from 200 to 350 nm. Steel sheets were baked at a temperature of 850°C for 30 minutes. The thickness of the enamel coating was determined with an Olympus GX51 microscope. The roughness was determined using a TAYLOR HOBSON Surtronic 25 profilometer. The adhesive properties of the coating were studied using a Positest AT-M adhesive meter. Each test piece was tested twice. The tests were carried out on a sheet of 0.06 m<sup>2</sup>. The coefficient of sliding friction was determined on an adapted test bench. Laboratory tests with silage mass were carried out according to the developed methodology. Studies of the steel surface with a glass-enamel coating showed that the average thickness of the enameled layer was 690 nm, the roughness was 0.01 μm, and the adhesion was 5.25 MPa. The sliding friction coefficient of sliced plant materials on the enameled steel surface was 0.15, which is 2.6 and 3.2 times lower than that of non-enameled steel and concrete, respectively. The authors have made conclusions about the possibility of using steel 09G2S in silo towers as a suitable substitute for steel 65G and the sufficient efficiency of the chosen enameling technology.

**Key words:** silo tower, silage, material testing, sliding friction coefficient, adhesion, enamel.

**For citation:** Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Nikitin E.A., Ruzin S.S., Khakimov A.R., Kiryushin I.A., Zadorozhniy R.N. Study of the properties of steel enameled surface for silo towers. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(2): 46-51. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-46-51>.

**Введение.** Эффективность работы молочных ферм зависит от качества рациона животных, для чего агрофирмы и холдинги организуют высокотехнологичное оригинальное производство качественных кормов. Ввиду того, что основную долю в составе рациона занимают объемистые компоненты корма – такие, как силос и сенаж, к процессу их производства и хранению предъявляется ряд зоотехнических требований на предмет соответствия уровня их питательности, содержания сухого вещества и др. [1, 2].

Наиболее распространенными технологиями хранения силоса и сенажа в мировой практике считают использование: бетонных силосных траншей, земельных буртов, полимерных рукавов и использование силосных башен [3-7].

Силосные башни являются технологически сложным способом производства силоса, но в то же время позволяют получать наибольший процент высококалорийного корма. Установлено, что закладка силоса, провяленного в течение 3-4 сут., приводит к потере сухого вещества на уровне 2...5%. Первые силосные башни из бетона имели два серьёзных недостатка: очень высокий коэффициент трения внутренних стенок башни о силосную массу, приводящий к избыточному давлению на стены, и отсутствие герметичности [8]. Стальные башни обеспечивали лучшую герметичность и имели на 20...30% меньшую шероховатость внутренней поверхности, но все ещё не обладали удовлетворительными характеристиками [9].

Для создания силосных башен с высокими показателями сохранности корма необходимы современные материалы и технологии, а также наличие знаний

о взаимодействии контактирующих материалов<sup>1</sup> [10]. Формирование бездефектного покрытия является важным для предотвращения коррозии и обеспечения стойкости к различным агрессивным и абразивным средам [11].

Изучение научно-технической литературы позволило определить, что нанесение высокопрочной и коррозионно-устойчивой стеклоэмали позволит изготовить корпусные листы для силосных башен, обладающих более низким коэффициентом трения скольжения, чем сталь и бетон, а также высокой стойкостью к агрессивной внешней среде [12, 13].

Сталь 65Г, имеющая в составе 0,65% углерода и 1% марганца, применяемая в силосных башнях Витковиц, имеет шероховатость Rz 40 мкм, толщину эмалирования от 100 до 300 мкм, адгезию в 12 МПа.

На производстве проводились исследования по нанесению фритты марки МК-5Р на сталь 65Г. Несмотря на соблюдение всех мер по подготовке образцов и нанесению покрытия, стеклоэмаль оказалась некачественной и характеризовалась местными «вздутиями», что объясняется нарушением адгезии в локальных участках исследуемых образцов. Сделан вывод о невозможности использования фритты марки МК-5Р и стали 65Г. Предложен аналог – сталь 09Г2С, которая является наиболее схожей по своим прочностным свойствам, подходящей для успешного нанесения стеклоэмали и наиболее доступной на российском рынке. Также после проведения прочностных расчетов и разработки конструкторской документации было

<sup>1</sup> Красниченко А.В. Трение между разными материалами. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Т. 2. 1961. 862 с.

установлено, что силосная башня диаметром 8 м и высотой 31 м, выполненная из листов стали 09Г2С, будет успешно работать с внутренними и внешними нагрузками.

**Цель исследований:** изучение свойств и параметров стеклоэмалевых покрытий стальных деталей из стали 09Г2С для хранилищ башенного типа.

**Материалы и методы.** Первый этап исследований подразумевал подготовку образцов, определение адгезии, толщины эмалированного покрытия и шероховатости покрытия.

В исследованиях принималось допущение по сравнению результатов адгезии разных сталей и разных марок эмали (допущение по причине небольшой разницы).

Из стали 09Г2С изготовлены тестируемые образцы: 3 диска диаметром 300 мм и металлическая пластина.

Перед эмалированием образцы металла зачищались и обезжиривались, проходили пескоструйную обработку для очистки поверхности от инородных элементов. Затем производилась лазерная резка листов, на которых путем нанесения металлическими щётками насечек создавалась шершавость поверхности для улучшения адгезии. Глубина насечек составляла не более 0,2 мм. Следующим шагом являлась гибка листов для создания радиуса листа 4030 мм.

На одну сторону подготовленного образца металла с помощью пульверизатора наносилась в 4 слоя фритта стеклоэмальная марки МК-5, общая толщина эмалированного покрытия составила от 200 до 350 нм.

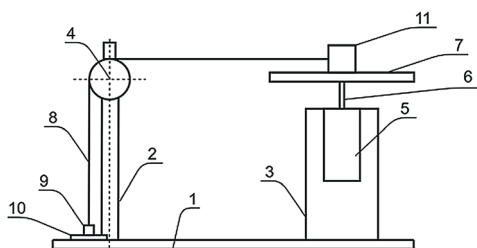
Обжиг в печи производился при температуре 850°C в течение 30 мин. Далее производилось естественное охлаждение листов путем обдува воздухом с температурой 20...25°C.

Толщина эмалированного покрытия определялась на инвертированном металлографическом микроскопе Olympus GX51. Микроскоп обладает шагом точной фокусировки в 1 мкм и полным ходом в 25 мм. Использовалась светодиодная осветительная система на 0,5 Вт.

Определение шероховатости проводилось на профилографе-профилометре TAYLOR HOBSON Surtronic 25. Диапазон датчика +/- 150 мкм при разрешении 0,01 мкм. Предельная погрешность устройства составляла 3%.

Определение адгезионных свойств покрытия проводилось при помощи адгезиметра модели Positest AT-M. Каждый тестовый образец испытывался дважды. Испытание проводилось на участке площадью 0,06 м<sup>2</sup> на расстоянии от краев 5 см. Показания прибора фиксировались с дисплея и выражались в МПа.

Второй этап исследований подразумевал проведение эксперимента по определению коэффициента трения скольжения, который проводился на лабораторном стенде для исследования трения скольжения между различными образцами почвы и композитными материалами [14, 15]. Стенд, измеряющий изменение веса в зависимости от коэффициента трения между тестируемой поверхностью и силосной массой, представлен на рисунке 1.



**Рис. 1. Испытательный стенд по определению коэффициента трения скольжения:**

1 – основание; 2 – стойка; 3 – корпус; 4 – вращающийся ролик; 5 – электродвигатель; 6 – вал электродвигателя; 7 – эмалированный образец из стали 09Г2С; 8 – гибкая нить; 9 – эталонный груз; 10 – электронные весы; 11 – контейнер с образцом

**Fig. 1. Test bench for determining the coefficient of sliding friction:**

1 – base; 2 – rack; 3 – housing; 4 – rotating roller, 5 – electric motor; 6 – motor shaft; 7 – enameled sample of steel 09Г2С; 8 – flexible thread; 9 – reference weight; 10 – electronic scales; 11 – container with a sample

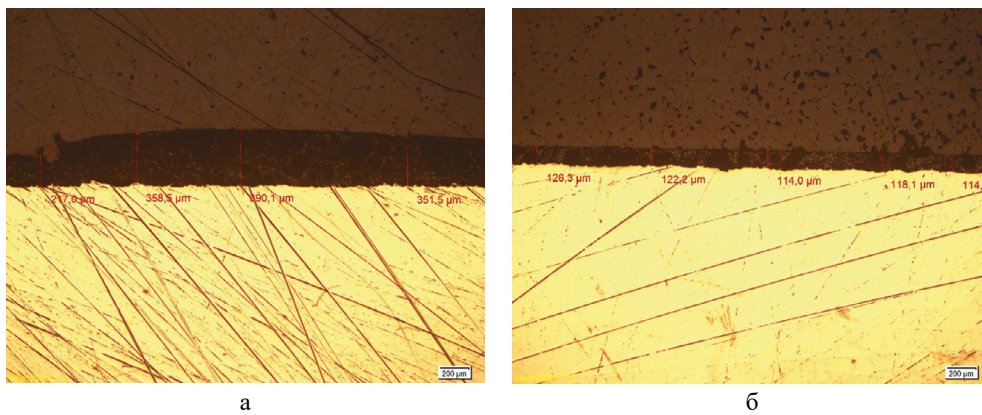
Весовой рабочий диапазон стенда составлял от 15 до 400 г. Стенд включает в себя основание 1, на котором размещена стойка 2, к которой крепится свободно вращающийся ролик 4, опору 3 с электродвигателем 5 и электронные весы 10. На вертикальном валу 6 электродвигателя 5 закреплен диск 7 – эмалированный металлический исследуемый образец из стали 09Г2С. Через ролик 4 переброшена гибкая нить 8, связанная с эталонным грузом 9, размещенном на электронных весах 10. Бюкса с силосной массой расположена на диске 7. Первичная адаптация стенда заключалась в замене композитного вращающегося диска на стальной эмалированный и в настройке скорости вращения диска.

**Результаты и обсуждение.** В результате исследования толщины эмалированного покрытия выявилась закономерность – значительно бóльшая толщина покрытия на краях образцов в сравнении с серединой. Средняя толщина покрытия на краях образца составила 304 мкм (рис. 2а). Средняя толщина покрытия в середине

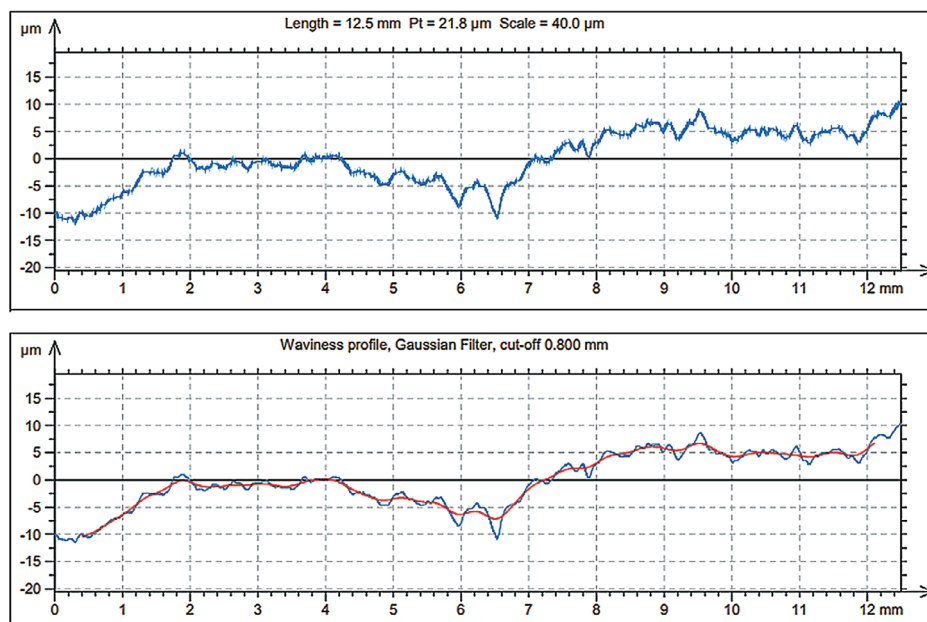
образца – 149 мкм (рис. 2б). Минимальная толщина покрытия составила 114 мкм, максимальная – 390 мкм. Максимальный разброс толщины слоя покрытия составил 276 мкм. Наплывы покрытия связаны с технологией ручного нанесения фритты.

Исследование шероховатости стеклоэмального покрытия показало небольшой разброс на уровне 10 мкм,  $R_z = 2,52$  мкм,  $R_a = 0,514$  мкм, что означает крайне низкое значение шероховатости по ГОСТ 2789-73 (рис. 3).

При испытании адгезии образца из стали 09Г2С после отрыва на торцевой поверхности упора присутствовали материал покрытия, оторванный от образца, и клеевой состав. Прочность соединения составила 5,25 МПа (рис. 4). Данное значение оказалось значительно хуже, чем результаты адгезии в 12 МПа для стали 65Г. Считаем, что полученное значение адгезии стали 09Г2С, хотя и меньше в 2,3 раза, чем у эталонного образца, но будет достаточным для сохранения работоспособности башни в течение 15 лет.



**Рис. 2. Толщина покрытия стали 09Г2С на краях образца (а) и в середине (б)**  
**Fig. 2. Thickness of the 09G2S steel coating at the sample edges (a) and in the middle (b)**



**Рис. 3. Шероховатость стеклэмального покрытия**  
**Fig. 3. Roughness of glass enamel coating**



**Рис. 4. Испытание адгезии образца из стали 09Г2С**  
**Fig. 4. Adhesion test of a sample of steel 09G2S**

Во второй части исследований определялся коэффициент трения скольжения между эмалированной сталью 09Г2С и измельченной силосной массой влажностью 65%. На исследовательском стенде было произведено по 10 измерений, в результате обработки которых получены значения коэффициента трения между эмалированной стальной поверхностью и силосной массой (табл.). Исходный вес

грузила, г (M1), и вес грузила в процессе равномерного скольжения силосной массы, г (M2), определены опытным путем. Вес грузила за вычетом массы контейнера (M3) получен расчетным методом по формуле:

$$M3 = M4 - M5,$$

где M4 – вес грузила в момент начала скольжения, г; M5 – вес пустого контейнера, г.

В результате проведения экспериментального исследования получены коэффициенты трения между эмалированной стальной поверхностью и силосной массой, а также выведен средний коэффициент, равный 0,15. Итоговые значения были получены на адаптированном стенде для исследования коэффициента трения скольжения образцов почвы, что могло оказать некоторое влияние на точность эксперимента. В дальнейших исследованиях методика исследования будет скорректирована.

Коэффициент трения силосной массы по стеклэмальному покрытию составил 0,15, по стальному листу – 0,40, по бетону [16] – 0,48 (рис. 5).

Таблица

## Результаты для силосной массы

Table

## Results for silage

Номер опыта <i>Experiment Number</i>	Исходный вес груза, М1 <i>Initial weight of the sinker, M1</i>	Вес груза в процессе равномерного скольжения силосной массы, М2 <i>Weight of the sinker during uniform sliding of the silage mass, M2</i>	Вес груза за вычетом массы контейнера, М3 <i>Weight of the sinker without the container weight, M3</i>	Вес груза в момент начала скольжения, М4 <i>Weight of the sinker at the start moment of sliding, M4</i>	Вес пустого контейнера, М5 <i>Empty container weight, M5</i>	Коэффициент трения, f <i>Coefficient of friction, f</i>
1	500	433	424	437	13	0,1580
2	500	410	401	414	13	0,2244
3	500	413	402	415	13	0,2164
4	500	401	392	405	13	0,2525
5	500	452	447	460	13	0,1073
6	500	445	438	451	13	0,1255
7	500	444	447	460	13	0,1252
8	500	456	446	459	13	0,0986
9	500	458	449	462	13	0,0935
10	500	443	434	447	13	0,1313

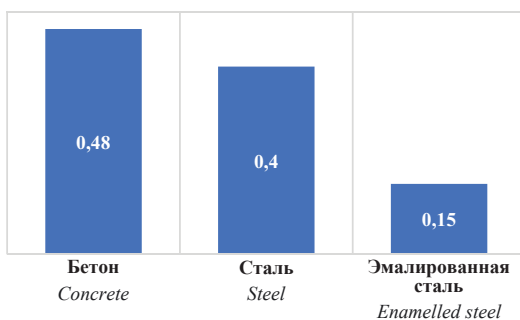


Рис. 5. Коэффициент трения скольжения для различных поверхностей

Fig. 5. Coefficient of sliding friction for various surfaces

Практическая значимость проведенного исследования заключается в определении подходящей замены для стали 65Г. Выбранная по результатам исследования сталь 09Г2С хорошо подходит для эмалирования, поскольку не образует окалина на обратной стороне эмалированного листа, что позволяет нанести защитное антикоррозийное

## Библиографический список

1. Федоренко В.Ф. Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве: науч. – аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 224 с.
2. Neethirajan S. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2020; 29: 100367. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
3. Тищенко П.И. Преимущества и недостатки различных технологий заготовки силоса // Эффективное животноводство. 2020. № 4(143). С. 27-29.
4. Rothacher M., Wyss U., Arrigo Y. In vivo digestibility of maize silages harvested with different techniques. *Agrarforschung Schweiz*, 2019; 10(2): 54-59.
5. Ли С.С., Пшеничникова Е.Н., Кроневальд Е.А. Пути повышения качества заготовки силоса и сенажа // Вестник

покрытие на вторую сторону листа. Данное условие необходимо для стали, применяемой в строительстве силосных башен, поскольку гладкое стеклоэмальное покрытие требуется только с внутренней стороны башни для обеспечения минимального трения стенок башни о насыпь.

## Выводы

1. Свойства эмалированной стали 09Г2С в целом сходны со сталью 65Г, что позволяет допустить ее использование в качестве подходящей замены для применения в силосных башнях.

Шероховатость эмалированной стали 09Г2С составила 10 нм, адгезия стеклоэмального покрытия – 5,25 МПа. Коэффициент трения скольжения эмалированной стальной поверхности в 2,6 раза ниже, чем у неэмалированной стальной поверхности, и в 3,2 раза меньше, чем у бетонной поверхности.

2. Толщина покрытия продемонстрировала достаточную эффективность выбранной технологии эмалирования, обеспечивающей среднюю толщину эмалированного слоя 690 нм.

## References

1. Fedorenko V.F. *Informatsionnye tekhnologii v sel'skohozyaystvennom proizvodstve: nauch. – analit. obzor* [Information technologies in agricultural production: research-and-analytical review]. Moscow, Rosinformagrotekh, 2014. 224 p. (In Rus.)
2. Neethirajan S. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 2020; 29: 100367. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
3. Tishenkov P.I. *Preimushchestva i nedostatki razlichnykh tekhnologiy zagotovki silosa* [Advantages and disadvantages of different silage harvesting technologies]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*, 2018; 4(143): 27-29. (In Rus.)
4. Rothacher M., Wyss U., Arrigo Y. In vivo digestibility of maize silages harvested with different techniques. *Agrarforschung Schweiz*, 2019; 10(2): 54-59.
5. Li S.S., Pshenichnikova E.N., Kroneval'd E.A. *Puti povysheniya kachestva zagotovki silosa i senazha* [Ways to improve the quality

Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 2(112). С. 98-102.

6. Tharangani R.M.H., Yakun C., Zhao L.S., Ma L., Liu H.L., Su S.L., Shan L., Yang Z.N., Kononoff P.J., Weiss W.P., Bu D.P. Corn silage quality index: An index combining milk yield, silage nutritional and fermentation parameters. *Animal feed science and technology*, 2021; 273: 114817. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.114817>

7. Соколов А.В., Замана С.П. Новые технологии и технические средства заготовки и хранения силоса и сенажа // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2013. № 14(19). С. 118-123.

8. Буланов Э.Я. Давление сыпучего тела на стенки силоса. Плоская задача // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 7. С. 32-38.

9. Маркович А.С. Теоретические исследования давления сыпучего материала на стены силосных сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. 2011. № 23(42). С. 60-65.

10. Астахов М.В., Короткий О.А. Совершенствование конструкции сельскохозяйственных цилиндрических силосов на основе САПР // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 4. С. 49-50.

11. Ryabova A.V., Yatsenko E.A., Kerimova V.V., Klimova L.V., Fanda A.Y., Smolii V.A. Glass Enamel Monolayer Coating for the Protection of Steel Articles Against Corrosion. *Glass Physics and Chemistry*, 2019; 45(1): 82-84. <https://doi.org/10.1134/S1087659619010085>

12. Zhao Y., Huang X., Yu B., Yuan X., Liu X. Effect of coiling temperature on microstructure, properties and resistance to fish-scaling of hot rolled enamel steel. *Materials*, 2017; 10(9): 1012. <https://doi.org/10.3390/ma10091012>

13. Huang X., Zhang Z., Liu X. Variations of microstructure and resistance to fish-scaling of a hot rolled enamel steel before and after enamel firing. *Journal of materials research and technology-JMR&T*, 2021; 11: 466-473. [10.1016/j.jmrt.2021.01.048](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.048)

14. Устройство для определения коэффициента внешнего трения почвы: Пат. 196928U1 Российская Федерация МПК G01N33/24, G01N19/02 / С.И. Старовойтов. 2020104299, заявл., 2020.01.31; опубл. 2020.03.23. 3 с.

15. Информационно-измерительная система для определения коэффициента внешнего трения сыпучего материала: Пат. 95843U1 Российская Федерация МПК G01N33/24, G01N19/02 / С.В. Першина. 2009115159/22, заявл., 2009.04.21.; опубл. 2010.07.10. 3 с.

16. Притчин Г.П. Совершенствование технологического процесса измельчения провяленных трав и нижнего способа разгрузки сенажных башен. Челябинск, 2005. 130 с.

#### Критерии авторства

Юрочка С.С., Никитин Е.А., Павкин Д.Ю., Хакимов А.Р. выполнили теоретическое исследование. Юрочка С.С., Никитин Е.А., Задорожний Р.Н., Рузин С.С. на основании полученных результатов провели эксперимент. Юрочка С.С., Никитин Е.А., Хакимов А.Р., Кирюшин И.А. провели обработку результатов эксперимента и подготовили рукопись. Юрочка С.С., Никитин Е.А., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Хакимов А.Р., Задорожний Р.Н., Кирюшин И.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за plagiat.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 06.07.2021

Одобрена после рецензирования 30.11.2021

Принята к публикации 17.02.2022

of silage and haylage making]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014; 2(112): 98-102. (In Rus.)

6. Tharangani R.M.H., Yakun C., Zhao L.S., Ma L., Liu H.L., Su S.L., Shan L., Yang Z.N., Kononoff P.J., Weiss W.P., Bu D.P. Corn silage quality index: An index combining milk yield, silage nutritional and fermentation parameters. *Animal feed science and technology*, 2021; 273: 114817. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.114817>

7. Sokolov A.V., Zamana S.P. Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva zagotovki i khraneniya silosa i senazha [New technologies and technical means of making and storing silage and haylage]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnoy universiteta*, 2013; 14(19): 118-123. (In Rus.)

8. Bulanov E.Ya. Davleniya sypuchego tela na stenki silosa. Ploskaya zadacha [Pressure of a loose body on the silo tower walls. A flat problem]. *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii*, 2016; 7: 32-38. (In Rus.)

9. Markovich A.S. Teoreticheskie issledovaniya davleniya sypuchego materiala na steny silosnykh sooruzheniy [Theoretical study of the pressure of a loose material on the silo tower walls]. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Series: Stroitel'stvo i Arkhitektura*, 2011; 23(42): 60-65. (In Rus.)

10. Astakhov M.V., Korotkiy O.A. Sovershenstvovanie konstrukt-sii sel'skokhozyaystvennykh tsilindricheskikh silosov na osnove SAPR [Improving the design of agricultural cylindrical silo towers based on CAD]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2009; 4: 49-50. (In Rus.)

11. Ryabova A.V., Yatsenko E.A., Kerimova V.V., Klimova L.V., Fanda A.Y., Smolii V.A. Glass Enamel Monolayer Coating for the Protection of Steel Articles Against Corrosion. *Glass Physics and Chemistry*, 2019; 45(1): 82-84. <https://doi.org/10.1134/S1087659619010085>

12. Zhao Y., Huang X., Yu B., Yuan X., Liu X. Effect of coiling temperature on microstructure, properties and resistance to fish-scaling of hot rolled enamel steel. *Materials*, 2017; 10(9): 1012. <https://doi.org/10.3390/ma10091012>

13. Huang X., Zhang Z., Liu X., Zhao Y., Li X. Variations of microstructure and resistance to fish-scaling of a hot rolled enamel steel before and after enamel firing. *Journal of Materials Research and Technology*, 2021; 11: 466-473. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.048>

14. Starovoytov S.I. Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsienta vneshnego treniya pochvy [Device for the determination of the external friction coefficient of soil]. Pat. 196928U1 Russian Federation. MPK G01N33/24, G01N19/02, 2020. (In Rus.)

15. Pershina S.V. Informatsionno-izmeritel'naya sistema dlya opredeleniya koeffitsienta vneshnego treniya sypuchego materiala [Information-measuring system for determination of the external friction coefficient of a loose material]. Pat. 95843U1 Russian Federation. MPK G01N33/24, G01N19/02, 2010. (In Rus.)

16. Pritchinn G.P. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa izmel'cheniya provyalennykh trav i nizhnego sposoba razgruzki senazhnykh bashen [Improving the process of shredding dried grass and the lower method of silo tower unloading]. Chelyabinsk, 2005. 130 p. (In Rus.)

#### Contribution

S.S. Yurochka, E.A. Nikitin, D.Yu. Pavkin, I.A. Kiryushin performed theoretical studies. S.S. Yurochka, E.A. Nikitin, R.N. Zadorozhny, S.S. Ruzin conducted the experiment based on the theoretical studies. S.S. Yurochka, E.A. Nikitin, A.R. Khakimov, I.A. Kiryushin processed the experimental results and based on them prepared the manuscript. S.S. Yurochka, E.A. Nikitin, D.Yu. Pavkin, S.S. Ruzin, A.R. Khakimov, R.N. Zadorozhny, I.A. Kiryushin have author's rights and bear responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 06.07.2021

Approved after reviewing 30.11.2021

Accepted for publication 17.02.2022