**Antamoshkina Elena Nikolaevna** , associate Professor of the Department of Social and cultural services and tourism, Volgograd state agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), candidate of economic Sciences, associate Professor

**Информация об авторах**

**Рогачев Алексей Фруминович**, зав. кафедрой "Математическое моделирование и информатика" Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), доктор технических наук, профессор https://orcid.org/0000-0001-6483-6091, rafr@mail.ru

**Мелихова Елена Валентиновна,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), https://orcid.org/0000-0002-4041-4270, melv07@mail.ru

**Антамошкина Елена Николаевна**, доцент кафедры «Агротуризма и сервисных технологий» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), кандидат экономических наук, доцент, https://orcid.org/0000-0002-1306-616X, antamoshkina@mail.ru

**DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-39**

# NEW CORROSION INHIBITORS FOR THE PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINERY

**I. A. Uspensky[1], I. V. Fadeev[2], L. Sh. Pestrjaeva[3], Sh. V. Sadatdinov[4], A. S. Kazarin[1]**

*[1]Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan*
*[2]Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, Cheboksary*
*[3]Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary*
*[4]Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary*

Received 17.03.2020 Submitted 15.08.2020

***The research was carried out within the framework of the research plan of the Ryazan state University agrotechnological University named after P. A. Kostychev for 2016-2020 on topic 3 "Improvement of technologies, means of mechanization, electrification and technical services in agricultural production" under section 3.3 "Improving the efficiency of mobile agricultural machinery operation through the development of new designs, methods and tools for maintenance, repair and diagnostics" (subsection 3.3.8 " improving efficiency use of mobile agricultural machinery through improvement its technical operation based on innovative methods***

**Summary**

The article presents the results of research of corrosion resistance of steel 10 in a corrosive environment and the influence bortagaray compounds orthoborathexamethylentetramine composition of H3BO3·C6H12N4 and orthoborate-3-amino-1-propanol composition of H3BO3·HO(CH2)3NH2. Gravimetric, electrochemical studies and corrosion-fatigue tests have shown that the inhibiting ability of lubricant compositions for conservation treatment of external surfaces of agricultural machinery with the addition of orthoborathexamethylentetramine and orthoborate-3-amino-1-propanol increases by 1.5 times. The results of laboratory and production tests correlate with each other and allow us to recommend the developed lubricant containing used engine oil, orthoborathexamethylentetramine (orthoborate-3-amino-1-propanol) and water for use to protect agricultural machinery from corrosion during off-season storage.

**Abstract**

**Introduction.** Very often, agricultural machinery loses its performance due to corrosion damage. The fight against corrosion in agriculture, where more than 10% of the total metal stock of the country is concentrated and corrosion losses account for 15% of the total losses, is one of the urgent problems. For anti-corrosion protection of parts that are disassembled during the repair of units and assemblies, they are washed with synthetic detergents with the addition of inhibitory additives. When preparing for storage, the outer surfaces of agricultural machinery are preserved with anti-corrosive lubricants, treated with passivating solutions, and anti-corrosive additives are also used. To increase the service life of metal

equipment by protecting it from corrosion destruction, metal corrosion inhibitors are widely used in modern practice, so research aimed at developing new, more effective compositions of inhibitors with a wide range of characteristics is of great scientific and practical importance and is particularly relevant for the agro-industrial complex. Borate-containing inhibitors are characterized by a high coefficient of corrosion inhibition and a wide range of actions in relation to various types of corrosion. **Object.** The object of research is orthoborathexamethylentetramine composition of $H_3BO_3 \cdot C_6H_{12}N_4$ and orthoborate-3-amino-1-propanol composition of $H_3BO_3 \cdot HO(CH_2)_3NH_2$ and their effect on the anti- corrosion resistance of steel 10 in a corrosive environment. **Materials and methods.** To determine the possibility of using new bortagaray connections: autobrecciation (orthoborathexamethylentetramine) composition of $H_3BO_3 \cdot C_6H_{12}N_4$ and orthoborate-3-amino-1-propanol composition of $H_3BO_3 \cdot HO(CH_2)_3NH_2$ (orthoborate-3-amino-1-propanol) as corrosion inhibitors for ferrous metals in neutral environments and investigated their influence on the corrosion resistance of steel 10 in a 3% solution of sodium chloride. The research was carried out by well-known gravimetric, electrochemical methods and corrosion-fatigue tests. Electrochemical studies were performed using P-5848 potentiostat, and the 0.5% concentration of orthoborathexamethylentetramine and orthoborate-3-amino-1-propanol was selected as the most effective. Corrosion-fatigue tests were performed on the original installation, which allows creating cyclic stresses in the steel sample by symmetrically bending them with a frequency of 500 cycles/min. the cyclic strength of steel was determined using the values of the cyclic strength reserve coefficient based on $N = 2 \cdot 10^6$ cycles. The anticorrosive properties of orthoborathexamethylentetramine and orthoborate-3-amino-1-propanol were also determined in production conditions, for which we recorded the duration of time from the moment of application of the studied compositions of lubricants to the appearance of the first foci of corrosion on the surface of the treated elements of agricultural machinery. **Results and conclusions.** In a corrosive environment, which was used as a solution of sodium chloride, steel 10 is susceptible to corrosion. With the introduction of orthoborathexamethylentetramine (orthoborate-3-amino-1-propanol) in NaCl solution the corrosion rate of steels is markedly reduced. Increasing the concentration of orthoborathexamethylentetramine and orthoborate-3-amino-1-propanol in 3% solution of sodium chloride NaCl naturally reduces the corrosion rate of steel and the greatest decrease in corrosion rate is observed at a concentration of 0.5%, and the degree of protection reaches values 97.22 and 96.80%. Further increase in the concentration of borate-containing additives practically does not reduce the rate of steel corrosion, that is, it does not enhance the anti-corrosive properties of the solution. The results of electrochemical studies and corrosion-fatigue tests correlate with the data obtained by the gravimetric method. Production tests of the protective ability of various compositions of lubricants with and without additives orthoborathexamethylentetramine and orthoborate-3-amino-1-propanol from corrosion of agricultural machinery were carried out in Agricultural production plant - collective farm named after Lenin of Cheboksary district of the Chuvash Republic. It was found that orthoborathexamethylentetramine and orthoborate-3-amino-1-propanol are effective corrosion inhibitors in neutral environments, since their presence in the 5 g/l concentration in the anti-corrosion lubricant increases the anti-corrosion resistance of the treated surface of agricultural machinery elements by 1.5 times. The results of laboratory and production tests allow us to recommend the developed lubricant containing used engine oil, orthoborathexamethylentetramine (orthoborate-3-amino-1-propanol) and water for use to protect agricultural machinery from corrosion during off-season storage.

***Key words:*** *corrosion, corrosion protection, agricultural machinery, orthoborate hexamethylentetramine, orthoborate-3-amino-1-propanol, steel 10, 3% sodium chloride solution, gravimetric, electrochemical, method, corrosion rate, degree of protection, anode action inhibitor, corrosion-mechanical damage.*

**Citation.** Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestrjaeva L. Sh., Sadaddinov Sh. V., Kazarin A. S. New corrosion inhibitors for the protection of agricultural machinery. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2020. 3(59). 365-376 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-39.

**Author's contribution.** All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

**Conflict of interest**. The authors declare no conflict of interest.

***** ИЗВЕСТИЯ *****
НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
№ 3 (59), 2020

УДК 547:548.736:620.193

# НОВЫЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

**И. А. Успенский**[1], *доктор технических наук, профессор*
**И. В. Фадеев**[2], *кандидат технических наук, доцент*
**Л. Ш. Пестряева**[3], *кандидат педагогических наук, доцент*
**Ш. В. Садетдинов**[4], *доктор химических наук, профессор*
**А. С. Казарин**[1], *соискатель*

[1]*Рязанский агротехнологический университет им П. А. Костычева, Рязань,*
[2]*Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева, г. Чебоксары*
[3]*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары*
[4]*Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары*

Дата поступления в редакцию 17.03.2020 Дата принятия к печати 15.08.2020

***Исследования выполнены в рамках плана НИР ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им П. А. Костычева на 2016-2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» в рамках раздела 3.3 «Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники за счет разработки новых конструкций, методов и средств технического обслуживания, ремонта и диагностирования» (подраздел 3.3.8 «Повышение эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники за счет совершенствования её технической эксплуатации на основе инновационных методов***

**Аннотация.** Представлены результаты исследования противокоррозионной стойкости стали 10 в коррозионной среде и влияние на нее боратсодержащих соединений ортоборатгексаметилентетрамина (ОБГМТА) состава $H_3BO_3 \cdot C_6H_{12}N_4$ и ортоборат-3-амино-1-пропанола состава $H_3BO_3 \cdot HO(CH_2)_3NH_2$ (ОБАП). Гравиметрическими, электрохимическими исследованиями и коррозионно-усталостными испытаниями установлено, что ингибирующая способность составов смазки для консервационной обработки наружных поверхностей сельскохозяйственной техники с добавкой ОБГМТА и ОБАП повышается в 1,5 раза. Результаты лабораторных и производственных испытаний коррелируют друг с другом и позволяют рекомендовать разработанную смазку, содержащую отработанное моторное масло, ОБГМТА (ОБАП) и воду, к использованию для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии при межсезонном хранении.

**Актуальность.** Очень часто сельскохозяйственная техника теряет работоспособность вследствие коррозионного разрушения. Борьба с коррозией в сельском хозяйстве, где сконцентрировано свыше 10 % общего металлофонда страны и потери от коррозии составляют 15 % от общих потерь, является одной из актуальных проблем. Для противокоррозионной защиты деталей, разбираемых при ремонте агрегатов и узлов, их моют синтетическими моющими средствами с добавкой ингибиторных присадок. При подготовке к хранению наружные поверхности сельскохозяйственной техники консервируют противокоррозионными смазками, обрабатывают пассивирующими растворами, а также используют противокоррозионные присадки. Для повышения срока службы металлического оборудования путем защиты его от коррозионного разрушения широкое распространение в современной практике получили ингибиторы коррозии металлов, поэтому исследования, направленные на разработку новых, более эффективных композиций ингибиторов с широким ассортиментом характеристик, имеют большое научно-практическое значение и являются особо актуальными для агропромышленного комплекса. Боратсодержащие ингибиторы характеризуются высоким показателем коэффициента торможения коррозии и широким спектром действия по отношению к различным видам коррозии. **Объект.** Объектом исследований являются ортоборатгексаметилентетрамин (ОБГМТА) состава $H_3BO_3 \cdot C_6H_{12}N_4$ и ортоборат-3-амино-1-пропанол (ОБАП) состава $H_3BO_3 \cdot HO(CH_2)_3NH_2$ и их

влияние на противокоррозионную устойчивость стали Ст10 в коррозионной среде. **Материалы и методы.** С целью определения возможности использования новых боратсодержащих соединений: ортоборатгексаметилентетрамина (ОБГМТА) состава $H_3BO_3 \cdot C_6H_{12}N_4$ и ортоборат-3-амино-1-пропанола состава $H_3BO_3 \cdot HO(CH_2)_3NH_2$ (ОБАП) в качестве ингибиторов коррозии черных металлов в нейтральных средах исследовано их влияние на противокоррозионную устойчивость стали 10 в 3 %-м растворе хлорида натрия. Исследования проведены широко известными гравиметрическим, электрохимическим методами и коррозионно-усталостными испытаниями. Электрохимические исследования проводили с использованием потенциостата П-5848, для исследований была выбрана 0,5 %-я концентрация ОБГМТА и ОБАП как наиболее эффективная. Коррозионно-усталостные испытания проводили на оригинальной установке, которая позволяет создавать циклические напряжения в стальном образце, симметрично изгибая их с частотой 500 цикл/мин. Циклическую прочность стали определяли, используя значения коэффициента запаса циклической прочности на базе $N = 2 \cdot 10^6$ циклов. Противокоррозионные свойства ОБГМТА и ОБАП были определены и в производственных условиях, для чего мы фиксировали продолжительность времени с момента нанесения исследуемых составов смазок до появления первых очагов коррозии на поверхности обработанных элементов сельскохозяйственной техники. **Результаты и выводы.** В коррозионной среде, в качестве которой был использован раствор хлорида натрия, сталь 10 подвергали коррозии. С введением ОБГМТА (ОБАП) в раствор хлорида натрия скорость коррозии стали заметно снижается. Повышение концентрации ОБГМТА и ОБАП в 3%-м растворе хлорида натрия NaCl закономерно снижает скорость коррозии стали, и наибольшее снижение скорости коррозии наблюдается при концентрации 0,5 %, а степень защиты достигает значений 97,22 и 96,80 %. Дальнейшее увеличение концентрации боратсодержащих добавок практически не снижает скорости коррозии стали, то есть не усиливает противокоррозионные свойства раствора. Результаты электрохимических исследований и коррозионно-усталостных испытаний коррелируют с данными, полученными гравиметрическим методом. Производственные испытания защитной способности различных составов смазок с добавками и без добавок ОБГМТА и ОБАП от коррозии сельскохозяйственной техники проводили в СХПК – колхоз им. Ленина Чебоксарского района Чувашской республики. Установлено, что ОБГМТА и ОБАП являются эффективными ингибиторами коррозии в нейтральных средах, так как их присутствие концентрацией 5 г/л в составе противокоррозионной смазки повышает противокоррозионную стойкость обработанной поверхности элементов сельскохозяйственной техники в 1,5 раза. Результаты лабораторных и производственных испытаний позволяют рекомендовать разработанную смазку, содержащую отработанное моторное масло, ОБГМТА (ОБАП) и воду, к использованию для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии при межсезонном хранении.

***Ключевые слова:*** *ингибиторы коррозии, защита сельскохозяйственной техники, ортоборатгексаметилентетрамин, скорость коррозии, ингибиторы анодного действия, коррозионно-механическое поражение.*

**Цитирование.** Успенский И. А., Фадеев И. В., Пестряева Л. Ш., Садетдинов Ш. В., Казарин А. С. Новые ингибиторы коррозии для защиты сельскохозяйственной техники. *Известия НВ АУК*. 2020. 3(59). 365-376. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-39.

**Авторский вклад.** Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Конфликт интересов**. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Введение.** Известно, что в процессе эксплуатации сельскохозяйственная техника очень часто теряет работоспособность вследствие износа, ускоряющегося, в частности, из-за атмосферной коррозии. Применение в сельском хозяйстве минеральных и органических удобрений, гербицидов, пестицидов приводит к ускорению процессов коррозии. Коррозионное разрушение сельскохозяйственной техники происходит как в период его эксплуатации, так и в период его хранения [5, 16].

Для поддержания работоспособного состояния сельскохозяйственной техники и ее эксплуатационных показателей, а также профилактики износа трущихся деталей в сопряжениях проводят ремонт. В технологических процессах ремонта сельскохозяйственных машин предусмотрена наружная мойка самих машин и мойка снятых агрегатов, затем после разборки агрегатов и узлов и мойка отдельных деталей. Для защиты деталей от коррозии их моют растворами синтетических моющих средств с ингибиторными присадками [8, 13]. При подготовке к хранению наружные поверхности сельскохозяйственной техники консервируют противокоррозионными смазками, обрабатывают пассивирующими растворами, а также используют противокоррозионные присадки [6, 12].

Борьба с коррозией в сельском хозяйстве, где сконцентрировано свыше 10 % общего металлофонда страны и потери от коррозии составляют 15 % от общих потерь, является одной из актуальных проблем. Актуальность защиты сельскохозяйственной техники от коррозии обосновывается тем, что металлический фонд, сконцентрированный в агропромышленном комплексе, постоянно растет и расширяется разнообразие коррозионных воздействий на металл [9, 17]. Для повышения срока службы металлического оборудования путем защиты его от коррозионного разрушения широкое распространение в современной практике получили ингибиторы коррозии металлов, поэтому исследования, направленные н разработку новых, более эффективных композиций ингибиторов с широким ассортиментом характеристик, имеют большое научно-практическое значение и являются особо актуальными для агропромышленного комплекса [2, 11]. Определенный интерес представляет изучение боратсодержащих соединений в качестве ингибиторов коррозии, так как они характеризуются высоким показателем коэффициента торможения коррозии и широким спектром действия по отношению к различным видам коррозии.

**Материалы и методы.** С целью определения возможности использования новых боратсодержащих соединений: ортоборатгексаметилентетрамина (ОБГМТА) состава $H_3BO_3 \cdot C_6H_{12}N_4$ и ортоборат-3-амино-1-пропанола состава $H_3BO_3 \cdot HO(CH_2)_3NH_2$ (ОБАП) в качестве ингибиторов коррозии стали в нейтральной среде было изучено влияние этих соединений на противокоррозионное поведение стали Ст10 в коррозионной среде, в качестве которой в работе использован 3 %-й раствор хлорида натрия (фоновый раствор). Выбор марки стали обосновывается тем, что в сельском хозяйстве широко используется сталь 10, например, для изготовления деталей роликовых цепей, зерно- и кормодробилок, крепежных изделий и др.

Условия синтеза ОБГМТА и ОБАП, а также их физико-химические характеристики изучены в научных работах [4, 14].

Исследования по влиянию ОБГМТА и ОБАП на противокоррозионную устойчивость углеродистой стали 10 проводили широко известным гравиметрическим методом, методика которого приведена в [18]. Для исследований использовали образцы из листовой стали 10 размером 120×10×1 мм, время выдержки образцов в коррозионно-активной среде (3 %-й раствор NaCl) составляло 10 суток. Методика подготовки образцов и методика проведения экспериментов описаны в [3].

Ингибиторная способность добавок и их эффективность оценивались по потере массы образцов в исследуемых средах с использованием методики по работе [1].

Для электрохимических исследований была выбрана 0,5 %-я концентрация ОБГМТА и ОБАП как наиболее эффективная, поскольку увеличение концентрации изучаемых соединений практически не усиливает их противокоррозионных свойств. Следует отметить, что среда раствора при добавлении боратных ингибиторов остается слабощелочной.

Электрохимические измерения выполняли по методике, изложенной в [7].

**Результаты и обсуждение.** Результаты изучения влияния концентрации ОБГМТА и ОБАП на скорость коррозии, ингибиторный эффект и степень защиты стали 10 в 3 %-м растворе NaCl за 10 суток приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние концентрации ОБГМТА и ОБАП на скорость коррозии (*K*), ингибиторный эффект (*γ*) и степень защиты (*Z*) стали 10 в 3%-м растворе NaCl за 10 суток

Table 1 – The effect of the concentration of OBHMTA and OBAP on the corrosion rate (*K*), inhibitory effect (*γ*) and protection degree (*Z*) of steel 10 in 3% NaCl solution for 10 days

| Ингибитор коррозии / Corrosion inhibitor | Концентрация, мас.% / Concentration, wt.% | $K \cdot 10^{-5}$, г/м$^2$·ч | *γ* | *Z*,% | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| NaCl (контроль) /NaCl (control) | 3,0 | 61,24 | 1,00 | 0,00 | 7,0 |
| ОБАП / OBAP | 0,2 | 12.23 | 5,01 | 80,03 | 7,2 |
| ОБАП / OBAP | 0,3 | 9,45 | 6,48 | 84,57 | 7,2 |
| ОБАП / OBAP | 0,4 | 6,47 | 9,47 | 89,44 | 7,3 |
| ОБАП / OBAP | 0,5 | 1,96 | 31,25 | 96,80 | 7,3 |
| ОБАП / OBAP | 0,6 | 1,78 | 34,40 | 97,10 | 7,3 |
| ОБГМТА / OBHMTA | 0,2 | 10,95 | 5,59 | 82,12 | 7,4 |
| ОБГМТА / OBHMTA | 0,3 | 8,56 | 7,15 | 86,06 | 7,4 |
| ОБГМТА / OBHMTA | 0,4 | 5,80 | 10,56 | 90,53 | 7,5 |
| ОБГМТА / OBHMTA | 0,5 | 1,70 | 36,02 | 97,22 | 7,5 |
| ОБГМТА / OBHMTA | 0,6 | 1,52 | 48,30 | 97,52 | 7,5 |

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что в коррозионной среде, в качестве которой был использован раствор хлорида натрия, сталь 10 подвержена коррозии. С введением ОБГМТА (ОБАП) в раствор хлорида натрия скорость коррозии стали заметно снижается. С повышением концентрации ОБГМТА и ОБАП скорость коррозии стали в 3 %-м растворе хлорида натрия NaCl закономерно снижается и наибольшее снижение скорости коррозии наблюдается при концентрации 0,5 %, а степень защиты достигает значений 97,22 и 96,80 %. Дальнейшее увеличение концентрации боратсодержащих добавок практически не снижает скорости коррозии стали, то есть не усиливает противокоррозионных свойств раствора.

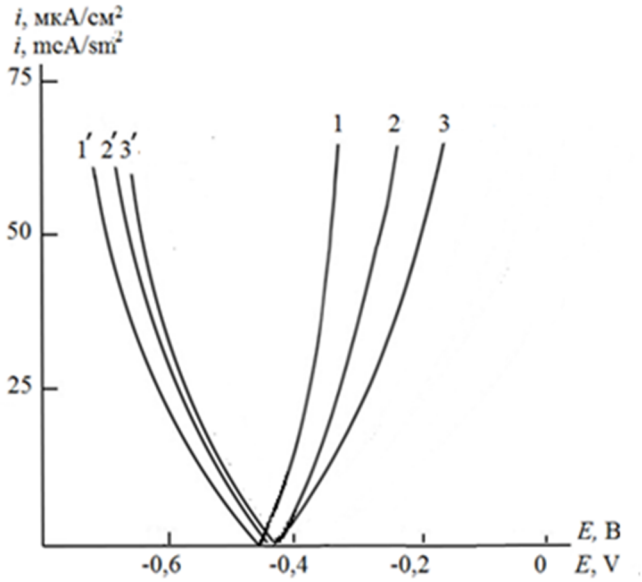



Рисунок 1 – Анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали СТ 10: 1′-1 – в 3%-м растворе NaCl; 2′-2 – в 3%-м растворе NaCl + ОБАП; 3′-3 – в 3%-м растворе NaCl + ОБГМТА

Figure 1 – Anodic and cathodic potentiodynamic polarization curves of steel ST10: 1′-1 – in a 3% NaCl solution; 2′-2 – in a 3% solution of NaCl + OBAP; 3′-3 – in a 3% solution of NaCl + OBHMTA

По результатам электрохимических исследований можно утверждать, что ОБГМТА и ОБАП являются преимущественно ингибиторами анодного действия, так как они не оказывают существенного влияния на катодную поляризуемость стали, что хорошо согласуется с литературными данными [19]. На рисунке 1 приведены экспериментально полученные анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали 10 в испытуемых средах.

В коррозионной среде (3%-м растворе NaCl) сталь подвержена коррозии (кривые 1′-1). При достаточных защитных концентрациях ОБГМТА и ОБАП (кривые 2′-2 и 3′-3) потенциалы коррозии стали смещаются в положительную сторону относительно потенциала коррозии ($E_{кор}$) в фоновом электролите.

Результаты гравиметрических и электрохимических исследований коррелируют друг с другом.

Из литературных данных известно [15], что разрушения по причине чисто коррозионных и коррозионно-механических поражений уменьшают циклическую прочность стали, т.е. на базе $N$ имеем:

$$\Delta\sigma_N^{\text{С.М.}} = \Delta\sigma_N^{\text{Ч.К.}} + \Delta\sigma_N^{\text{К.–М.}},$$

где $\Delta\sigma_N^{\text{С.М.}}$– суммарное уменьшение циклической прочности в коррозионной среде; $\Delta\sigma_N^{\text{Ч.К.}}$ – уменьшение циклической прочности чисто коррозионными поражениями; $\Delta\sigma_N^{\text{К.–М.}}$ – уменьшение циклической прочности коррозионно-механическими поражениями.

При введении ингибитора в коррозионную среду значения обоих разрушающих факторов, снижающих прочность металла, могут измениться.

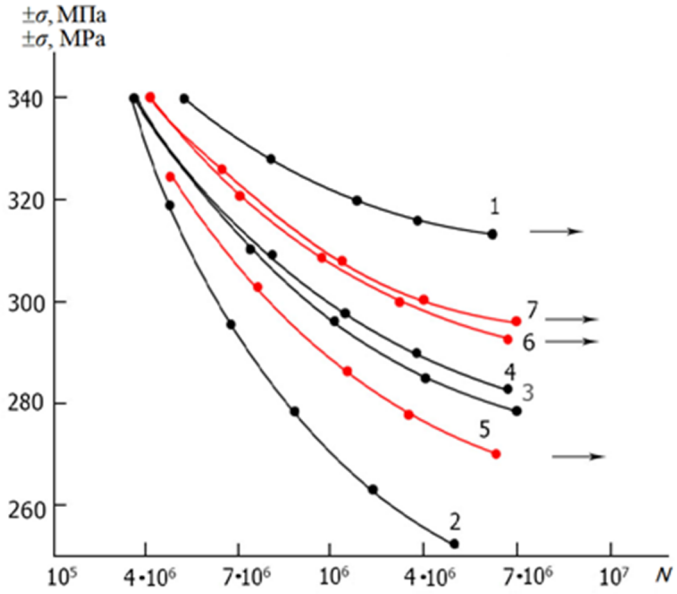



Рисунок 2 – Кривые усталости и коррозионной усталости стали Ст10:
1 – в воздухе; 2 – в 3%-м растворе NaCl; 3 – в 3%-м растворе NaCl + 5 г/л ОБАП; 4 – в 3%-м растворе NaCl + 5 г/л ОБГМТА; 5 – в воздухе после предварительной выдержки в 3%-м растворе NaCl; 6 – в воздухе после предварительной выдержки в 3%-м растворе NaCl + 5 г/л ОБАП; 7 – в воздухе после предварительной выдержки в 3%-м растворе NaCl + 5 г/л ОБГМТА

Figure 2 – Fatigue and corrosion fatigue curves of steel ST10:
1 – in the air; 2 – in a 3% NaCl solution; 3 – in a 3% NaCl solution + 5 g/l OBAP;
4 – in a 3% NaCl solution + 5 g/l OBHMTA; 5 – in air after preliminary exposure to a 3% NaCl solution; 6 – in air after preliminary exposure to a 3% NaCl solution + 5 g/l OBAP; 7 – in air after preliminary exposure in a 3% NaCl solution + 5 g/l OBGMTA

Коррозионно-усталостные испытания в 3%-м растворе хлорида натрия без добавок и с добавками ОБГМТА (ОБАП), результаты которых приведены на рисунке 2 (кривые 1, 2, 3 и 4), проводили на оригинальной установке, которая позволяет создавать циклические напряжения в стальном образце, симметрично изгибая их с частотой 500 цикл/мин. Циклическую прочность стали, согласно [10], определяли, используя значения коэффициента запаса циклической прочности на базе $N = 2 \cdot 10^6$ циклов.

С целью изучения разрушающих факторов, уменьшающих циклическую прочность металла, снимали усталостные кривые на воздухе после предварительной выдержки стали в коррозионных средах (кривые 5, 6 и 7). Полученные данные указывают на то, что суммарная потеря циклической прочности стали Ст10 в 3%-м растворе хлорида натрия на базе испытания $N = 2 \cdot 10^6$ циклов составляет 75,2 12,2 МПа (кривые 1 и 2). Из них 66,4 % (кривые 1, 2 и 5) приходится на чисто коррозионные поражения ($\Delta\sigma_N^{Ч.К.}$ = 50,1 МПа) и 33,6 % – на коррозионно-механические ($\Delta\sigma_N^{К.-М.}$ = 25,1 МПа).

Введение ОБГМТА (ОБАП) концентрацией 5 г/л в 3 %-й раствор NaCl снижает эффективность действия разрушающих факторов, тем самым значительно увеличивая циклическую прочность металла (сравнить кривые 2, 3 и 4), следовательно, и коэффициент запаса циклической прочности стали в испытуемых средах, причем в основном уменьшая разрушающий эффект чисто коррозионных, чем коррозионно-механических поражений.

Для выявления возможности применения ОБГМТА и ОБАП в качестве ингибиторных присадок проведены производственные испытания защитной способности различных составов смазок от коррозии сельскохозяйственной техники в СХПК – колхоз им. Ленина Чебоксарского района Чувашской республики, для чего мы фиксировали продолжительность времени с момента нанесения исследуемых составов смазок до появления первых очагов коррозии на поверхности обработанных элементов сельскохозяйственной техники.

Испытаны следующие варианты смазок при соотношении компонентов, мас.%:

– состав 1: отработанное моторное масло – 20,0; вода – остальное.

– состав 2: отработанное моторное масло – 20,0; ОБГМТА (ОБАП) – 0,5; вода – остальное.

Таблица 2 – Результаты исследования влияния ОБГМТА (ОБАП) концентрацией 5 г/л в составах противокоррозионных смазок на коррозионную стойкость обработанных элементов сельскохозяйственной техники

Table 2 – The results of a study of the effect of OBHMTA (OBAP) concentration 5 g/l in the compositions of anticorrosive greases on the corrosion resistance of processed elements of agricultural machinery

| Состав противокоррозионных смазок / The composition of anticorrosive greases | Продолжительность времени до появления первых очагов коррозии на поверхности элементов сельскохозяйственной техники, *сутки* / Length of time before appearance The first foci of corrosion on the surface of the elements of agricultural machinery, *day* | |
|---|---|---|
| | по элементам / by elements | средняя по варианту / option average |
| Состав 1 / Composition 1 | 34; 41; 40; 37; 35 | 37,4 |
| Состав 2 / Composition 2 | 54; 51; 62; 57; 56 | 56,0 |

Проведенные испытания показывают, что введение в отработанное моторное масло боратных присадок (состав 2) позволяет повысить защитную способность смазки почти в 1,5 раза.

**Выводы.** Результаты лабораторных и производственных испытаний позволяют рекомендовать разработанную смазку, содержащую отработанное моторное масло, ОБ-ГМТА (ОБАП) и воду, к использованию для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии при межсезонном хранении.

**Библиографический список**

1. Илларионов И. Е., Садетдинов Ш. В. Коррозия черных металлов в средах, имитирующих условия эксплуатации автомобилей // Черные металлы. 2019. № 4. С. 67-72.

2. Ингибитор коррозии металлов для использования при ремонте автотракторной техники / Н. В. Бышов, С. Д. Полищук, И. В. Фадеев, Ш. В. Садетдинов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 265-275.

3. Исследование влияния параметров рабочих тел индуктора на коэффициент мощности / И. А. Успенский, И. А. Юхин, Г. А. Борисов, Н. В. Лимаренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 360-369.

4. Исследование параметров магнитного поля в рабочей камере индуктора / Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров, Ю. В. Панов, Б. Г. Шаповал // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2016. № 1. С. 136-142.

5. Кобин С. С., Ретюнских В. Н. Загрязнения сельскохозяйственных машин // Новая наука: Проблемы и перспективы. 2016. № 115-2. С. 177-180.

6. Лисунов Е. А., Миронов Е. Б., Гладцын А. Ю. Процесс образования и развития электрохимической коррозии сельскохозяйственной техники // Аграрный вестник Верхневолжья. 2015. № 4 (12). С. 49-52.

7. Повышение противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мобильной техники в АПК / Н. В. Бышов, И. В. Фадеев, Г. А. Александрова, Ш. В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. 2019. № 45. С. 20-24.

8. Повышение эффективности мойки деталей при ремонте автомобилей / В. В. Быков, Б. П. Загородских, Ш. В. Садетдинов, В. М. Юдин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1(53). С. 358-363.

9. Приходько С. С., Севрюкова Г. А. Влияние антигололедных композиций на окружающую среду города Волгограда // Экологические системы и приборы. 2017. № 7. С. 33-36.

10. Разработка боратфосфатных моющих средств для очистки деталей металлургических машин в ремонтном производстве / И. Е. Илларионов, Д. А. Пестряев, Ш. В. Садетдинов, И. А. Стрельников // Механическое оборудование металлургических заводов. 2019. № 1(12). С. 71-75.

11. Разработка композиции технологической жидкости для увеличения долговечности деталей и узлов транспортных средств / И. В. Фадеев, А. Н. Ременцов, С. М. Мороз, Ш. В. Садетдинов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. №3 (50). С. 90-97.

12. Степанов Н. В., Шуханов С. Н. Новая защитная смазка для хранения сельскохозяйственной техники // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1(53). С. 353-358.

13. Стрельников И. А., Пестряев Д. А., Садетдинов Ш. В. Влияние температуры раствора боратфосфатных моющих средств на качество очистки металла // Механическое оборудование металлургических заводов. 2019. № 2(13). С. 23-28.

14. Тойгамбаев С. К. Совершенствование процессов очистки деталей от загрязнений при ремонте машин // Актуальные проблемы современной науки. 2016. № 3 (88). С. 217-221.

15. Фадеев И. В., Новоселов А. М., Садетдинов Ш. В. Влияние амидоборатного комплекса на коррозию и коррозионную усталость стали Ст.10 // Приволжский научный журнал. 2014. № 3 (31). С. 31-35.

16. Шемякин А. В., Терентьев В. В., Латышенок М. Б. Повышение эффективности противокоррозионной защиты стыковых и сварных соединений сельскохозяйственных машин консервационными материалами // Известия Юго-Западного гос. ун-та. 2016. № 2. С. 89-91.

17. A study by in situ Raman spectroscopy of carbon steel corrosion in $CO_2$ and $H_2S$ environment / O. Delpoux, J. Kittel, F. Grosjean, S. Joiret, N. Desamais, C. Taravel-Condat // EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.

18. Effect of deicing compounds on aircraft materials / A. Bjorgum, A.-K Kvernbráten, A. Store, T. A. Gustavsen, P. I. Lohne, G. W. Karlsen // EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014. https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-zarubezhnogo-opyta-issledovaniy-korrozii-i-sredstv-zaschity-ot-korrozii.

19. Investigation of under film corrosion using pH sensitive microcapsules / T. Matsuda, K. B. Kashi, M. Jensen, V. J. Gelling // EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014. https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-zarubezhnogo-opyta-issledovaniy-korrozii-i-sredstv-zaschity-ot-korrozii.

**Conclusions.** The results of laboratory and production tests allow us to recommend the developed lubricant containing used engine oil, OBHMTA (OBAP) and water for use to protect agricultural machinery from corrosion during off-season storage.

**Reference**

1. Illarionov I. E., Sadetdinov Sh. V. Korroziya chernyh metallov v sredah, imitiruyuschih usloviya jekspluatacii avtomobilej // Chernye metally. 2019. № 4. P. 67-72.

2. Ingibitor korrozii metallov dlya ispol'zovaniya pri remonte avtotraktornoj tehniki / N. V. Byshov, S. D. Polischuk, I. V. Fadeev, Sh. V. Sadetdinov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 2(54). P. 265-275.

3. Issledovanie vliyaniya parametrov rabochih tel induktora na ko]fficient moschnosti / I. A. Uspenskij, I. A. Yuhin, G. A. Borisov, N. V. Limarenko // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 3 (55). P. 360-369.

4. Issledovanie parametrov magnitnogo polya v rabochej kamere induktora / N. V. Limarenko, V. P. Zharov, Yu. V. Panov, B. G. Shapoval // Vestnik Don. gos. tehn. un-ta. 2016. № 1. P. 136-142.

5. Kobin S. S., Retyunskih V. N. Zagryazneniya sel'skohozyajstvennyh mashin // Novaya nauka: Problemy i perspektivy. 2016. № 115-2. P. 177-180.

6. Lisunov E. A., Mironov E. B., Gladcyn A. Yu. Process obrazovaniya i razvitiya jelektrohimicheskoj korrozii sel'skohozyajstvennoj tehniki // Agrarnyj vestnik Verhnevolzh'ya. 2015. № 4 (12). P. 49-52.

7. Povyshenie protivokorrozionnyh svojstv rastvorov sinteticheskih moyuschih sredstv dlya mobil'noj tehniki v APK / N. V. Byshov, I. V. Fadeev, G. A. Aleksandrova, Sh. V. Sadetdinov // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. 2019. № 45. P. 20-24.

8. Povyshenie jeffektivnosti mojki detalej pri remonte avtomobilej / V. V. Bykov, B. P. Zagorodskih, Sh. V. Sadetdinov, V. M. Yudin // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 1(53). P. 358-363.

9. Prihod'ko S. S., Sevryukova G. A. Vliyanie antigololednyh kompozicij na okruzhayuschuyu sredu goroda Volgograda // Jekologicheskie sistemy i pribory. 2017. № 7. P. 33-36.

10. Razrabotka boratfosfatnyh moyuschih sredstv dlya ochistki detalej metallurgicheskih mashin v remontnom proizvodstve / I. E. Illarionov, D. A. Pestryaev, Sh. V. Sadetdinov, I. A. Strel'nikov // Mehanicheskoe oborudovanie metallurgicheskih zavodov. 2019. № 1(12). P. 71-75.

11. Razrabotka kompozicii tehnologicheskoj zhidkosti dlya uvelicheniya dolgovechnosti detalej i uzlov transportnyh sredstv / I. V. Fadeev, A. N. Remencov, S. M. Moroz, Sh. V. Sadetdinov // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (MADI). 2017. №3 (50). P. 90-97.

12. Stepanov N. V., Shuhanov S. N. Novaya zaschitnaya smazka dlya hraneniya sel'skohozyajstvennoj tehniki // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 1(53). P. 353-358.

13. Strel'nikov I. A., Pestryaev D. A., Sadetdinov Sh. V. Vliyanie temperatury rastvora boratfosfatnyh moyuschih sredstv na kachestvo ochistki metalla // Mehanicheskoe oborudovanie metallurgicheskih zavodov. 2019. № 2(13). P. 23-28.

14. Tojgambaev S. K. Sovershenstvovanie processov ochistki detalej ot zagryaznenij pri remonte mashin // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki. 2016. № 3 (88). P. 217-221.

15. Fadeev I. V., Novoselov A. M., Sadetdinov Sh. V. Vliyanie amidoboratnogo kompleksa na korroziyu i korrozionnuyu ustalost' stali St.10 // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2014. № 3 (31). P. 31-35.

16. Shemyakin A. V., Terent'ev V. V., Latyshenok M. B. Povyshenie jeffektivnosti protivokorrozionnoj zaschity stykovyh i svarnyh soedinenij sel'skohozyajstvennyh mashin konservacionnymi materialami // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gos. un-ta. 2016. № 2. P. 89-91.

17. A study by in situ Raman spectroscopy of carbon steel corrosion in CO2 and H2S environment / O. Delpoux, J. Kittel, F. Grosjean, S. Joiret, N. Desamais, C. Taravel-Condat // EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014.

18. Effect of deicing compounds on aircraft materials / A. Bjorgum, A.-K Kvernbráten, A. Store, T. A. Gustavsen, P. I. Lohne, G. W. Karlsen // EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014. https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-zarubezhnogo-opyta-issledovaniy-korrozii-i-sredstv-zaschity-ot-korrozii.

19. Investigation of under film corrosion using pH sensitive microcapsules / T. Matsuda, K. B. Kashi, M. Jensen, V. J. Gelling // EUROCORR 2014 – Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications. 2014. https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-zarubezhnogo-opyta-issledovaniy-korrozii-i-sredstv-zaschity-ot-korrozii.

**Authors information**

**Uspensky Ivan Alekseevich,** head of the Department of technical operation of transport of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russia, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), doctor of technical sciences, professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4343-0444, ivan.uspensckij@yandex.ru.

**Fadeev Ivan Vasilyevich,** head of the Department of machine science of the Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev (Russia, 428000, Cheboksary, K. Marx str., 38), candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5863-1812, ivan-fadeev-2012@mail.ru.

**Pestryaeva Lyudmila Sheizdanovna,** associate professor of the Department of physical education and sports of the Chuvash State Agricultural Academy (Russia, 428000, Cheboksary, K. Marx str., 31), candidate of pedagogical sciences, associate professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0426-5757, sport.chgsxa@mail.ru.

**Sadetdinov Sheizdan Vazykhovich,** professor of the Department of materials science and metallurgical processes of the Chuvash State University named after I. N. Ulyanova (Russia, 428000, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15), doctor of chemical sciences, professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5863-1812, avgustaf@list.ru.

**Kazarin Alexander Sergeevich,** applicant for the degree of candidate of technical sciences at the Department of technical operation of transport of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russia, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), ORCID: https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0003-0507-8563, Frady@inbox.ru.

**Информация об авторах**

**Успенский Иван Алексеевич,** заведующий кафедрой технической эксплуатации транспорта Рязанского государственного агротехнологического университета им П. А. Костычева (РФ, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4343-0444, ivan.uspensckij@yandex.ru.

**Фадеев Иван Васильевич,** заведующий кафедрой машиноведения Чувашского государственного педагогического университет им. И. Я. Яковлева (РФ, 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5863-1812, ivan-fadeev-2012@mail.ru.

**Пестряева Людмила Шейиздановна,** доцент кафедры физического воспитания и спорта Чувашской государственной сельскохозяйственной академии (РФ, 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 31), кандидат педагогических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0426-5757, sport.chgsxa@mail.ru.

**Садетдинов Шейиздан Вазыхович,** профессор кафедры материаловедения и металлургических процессов Чувашского государственного университета им. И. Н. Ульянова (РФ, 428000, г. Чебоксары, пр. Московский, 15), доктор химических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5863-1812, avgustaf@list.ru.

**Казарин Александр Сергеевич**, соискатель ученой степени кандидата технических наук при кафедре технической эксплуатации транспорта Рязанского государственного агротехнологического университета им П. А. Костычева (РФ, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1),
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0507-8563, Frady@inbox.ru.

**DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-40**

# RESEARCH OF LED LUMINAIRE FOR LOCAL LIGHTING SYSTEMS IN THE AREA OF THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX

**I.V. Yudaev, E.A. Shabaev, M.M. Romanovets**

*Azov-Black Sea Engineering Institute – the branch of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Don State Agrarian University»*

Received 10.07.2020 Submitted 02.09.2020

**Summary**

Research devoted justification rational design and operating parameters of the LED luminaire of the local lighting system in the agricultural sector. The paper presents an analysis of the distribution of illumination on the control surface, an assessment of the temperature modes of the LEDs, made working prototypes of luminaire.

**Abstract**

**Introduction.** One of the important tasks in different sectors of agriculture is to increase the uniformity of illumination of biological objects in order to increase their productivity. In this direction, the use of local LED lighting systems is promising. The parameters of the luminaires used for local lighting in the field of agro-industrial complex are not always justified. As a result, the cost of the lighting system increases and its efficiency, reliability and practical service life decrease. The aim of the study was to substantiate the rational design and operation parameters of the LED luminaire of the local lighting system, which ensures high uniformity of illumination of the control surface and the permissible temperature regime of the LED operation. **Object.** The object of research is a compact LED luminaire for local LED lighting systems in the agro-industrial complex. **Materials and methods**. Five types of polycarbonate tubes-diffusers with a diameter of 25 mm with different content of impurities in polycarbonate and a separate board with an LED without a diffuser were investigated. The determination of the operating temperature of the LED was made by an indirect method, based on the drift of the luminous flux caused by the heating of the light-emitting crystal on three types of printed circuit boards. The experimental data were processed using the Microsoft Office Excel program. **Results and Conclusions**. It has been established that for a local LED lighting system it is advisable to use polycarbonate luminaires with an average opal impurity when illuminating cages for animals and poultry, and for plant lighting – luminaires made of polycarbonate without impurities. To ensure uniform lighting conditions for poultry cages, the maximum distance between the luminaires of the developed design along the length of the test samples should not exceed 74.53 cm. High uniformity of illumination (1.196 pu) is achieved when using an individual luminaire for each cage. The use of a printed circuit board made of foil-clad fiberglass with a thickness of 1.5 mm and a copper layer of 35 microns is advisable in low-power luminaires, for example, for a local lighting system for cages for animals and poultry, and boards with an aluminum base 1 mm thick and a copper layer of 35 microns – in luminaires of medium and high power, for example, for local plant illumination.

***Key words:*** *LED, LED lighting, spot lighting, LED luminaire, lighting uniformity, LED temperature.*

**Citation.** Yudaev I.V., Shabaev E.A., Romanovets M.M. Research of led luminaire for local lighting systems in the agro-industrial complex. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2020. 3(59). 376-387 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-40.