

УДК 338

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИНИИ ХОЛОДНОГО АНОДИРОВАНИЯ**М.С. Разумов, П.В. Глазков, А.С. Солошенко**

Юго-Западный Государственный Университет, Курск, email: mika_1984_@mail.ru, pavel.glazkov@yandex.ru, soloshenko.02@list.ru

Аннотация. В ходе написания статьи было исследовано 3 способа анодирования. Разработан собственный метод анодирования: плазменно-электролитический в расплаве солей. Способ отличается электропроводящей средой, ее более высокой химической активностью и температурными режимами в процессе анодирования. По сравнению с образцами, полученными известными способами, данный способ показал более высокие эксплуатационные характеристики, главная из которых твердость 648HV0.49. Стоит отметить для переналадки оборудования под различные технологические процессы анодирования дополнительных финансов не потребуется, так как оборудование является универсальным, а расходные материалы обладают по среднему значению одинаковыми по цене. Годовой экономический эффект от организации линии холодного анодирования составляет 378461,81 руб., срок окупаемости составляет 2,1 года. При этом стоит учитывать, что анализ проводился на примере одной детали корпуса уличной камеры. Таких деталей в отечественном машиностроении широкое множество. Таким образом, это доказывает способность быстро масштабировать процесс холодного анодирования, внедряя его применение для различных деталей и получая больший экономический эффект.

Ключевые слова: анодирование, анодная пленка, экономическая эффективность.

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE COLD ANODIZATION LINE**M.S. Razumov, P.V. Glazkov, A.S. Soloshenko**

South-Western State University, Kursk, email: mika_1984_@mail.ru, pavel.glazkov@yandex.ru, soloshenko.02@list.ru

Abstract. During the study, 3 methods of anodizing were investigated. A proprietary method of anodizing was developed: plasma-electrolytic anodizing in a salt melt. This method is characterized by an electrically conductive medium, higher chemical activity, and specific temperature conditions during the anodizing process. Compared to samples obtained using conventional methods, this method demonstrated superior performance, with a hardness of 648HV0.49. It is worth noting that additional funds will not be required to reconfigure the equipment for various anodization processes, as the equipment is universal and the consumables are priced at an average level. The annual economic effect of establishing a cold anodization line is 378,461.81 rubles, and the payback period is 2.1 years. However, it should be noted that the analysis was conducted using the example of a single street camera housing component. In the domestic engineering industry, there are numerous such components.

Keywords: anodizing, anodic film, economic efficiency.

Дата поступления статьи в редакцию: 22.11.2025

Дата принятия статьи в печать: 22.12.2025

Введение

Сплавы алюминия нашли широкое распространение в различных сферах промышленности, они не заменимы в космической отрасли, машиностроении, самолетостроении. Это обусловлено рядом отличительных свойств, присущим данным материалам, а именно низкий вес при относительно высокой прочности, высокие технологические свойства. Алюминий является одним из самых экологически чистых материалов благодаря высокой перерабатываемости. Более 75% всего когда-либо произведённого алюминия до сих пор используется. Но также и широко известно, что его нужно обязательно защищать от внешних воздействий, делая его более прочным и износостойчивым.

Рассмотрим виды защиты алюминия: Одним из самых распространённых и простых является покраска эмалями, однако данный способ не долговечен, более лучшим методом защиты деталей из алюминия это порошковая покраска, материал глубоко проникают в структуру сплава, а при температурной обработке создаёт сплошной защитный слой. Для сохранения внешнего вида изделия периодически повторно окрашивают.

Одним из самых эффективных покрытий является анодирование. Анодный оксид алюминия, получаемый электрохимическим анодированием в водных электролитах, является перспективным материалом для микро-, нано- и оптоэлектроники. Он обладает уникальной наноразмерной ячеисто-пористой структурой. В настоящее время одним из активно развиваемых направлений прикладного материаловедения является создание наноразмерных структур и композитных материалов с использованием пористого анодного оксида алюминия в качестве матрицы [1].

Для улучшения эксплуатационных характеристик алюминия используется анодное оксидирование (анодирование), приводящее к образованию на поверхности более толстой оксидной пленки, которая в зависимости от условий получения может иметь различные свойства.

Пленки оксида алюминия, получаемые в результате анодного окисления металла, обладают упорядоченной пористой структурой с узким распределением пор по размерам.

Наилучшим способом является холодное анодирование, представленное на рисунке 1.

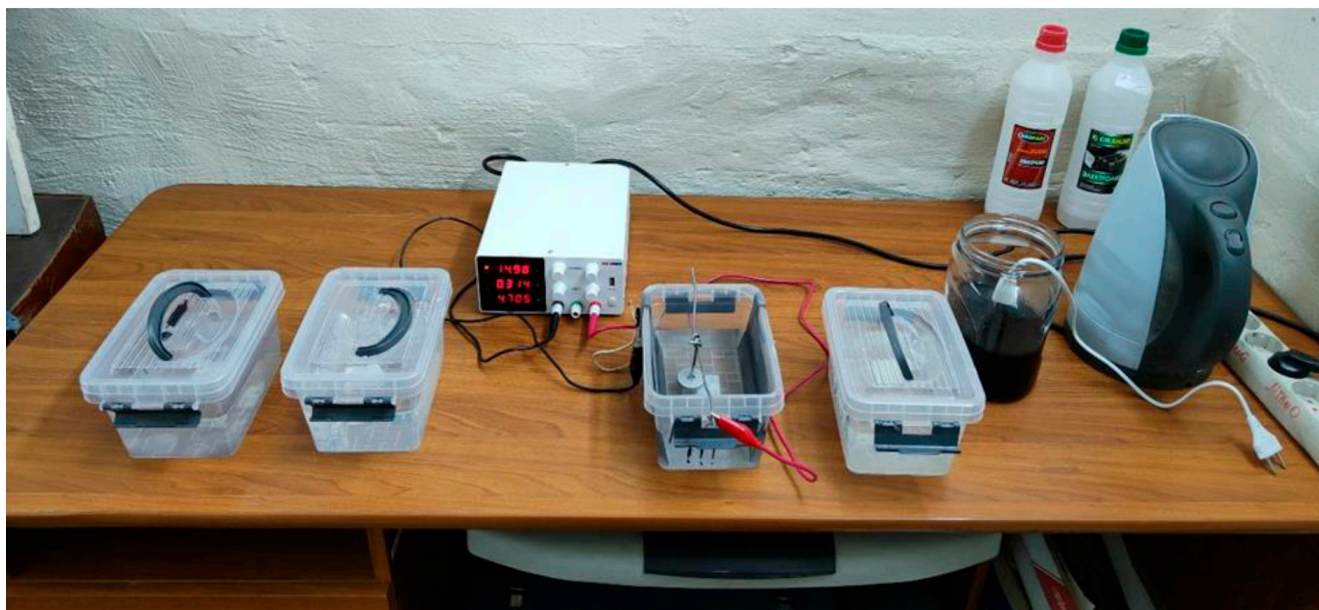


Рис. 1. Прототип линии холодного анодирования

Процесс холодного анодирования включает в себя этапы:

1. Удаление оксидной пленки, образованной на поверхности алюминия, из-за его естественного окисления на воздухе (раствор щелочи).
2. Промывка (дистиллированная вода).
3. Анодирование.
4. Промывка (дистиллированная вода).
5. Окраска.
6. Закрепление анодного слоя (индустриальное масло) [1].

Для исследования была выбрана простая деталь в виде кольца. Такая форма позволяет понять рост оксида как с внешней стороны, так и внутрь образца, что дает понимание формообразования для деталей типа: подшипников, втулок, штоков, поршней.

При выборе сплава, из которого будут изготовлены детали нужно было выбирать между несколькими противоречивыми положениями:

1. Сплавы с наименьшим количеством легирующих элементов, а в особенности чистый алюминий легче всего поддается анодированию, но они практически не используются в промышленности из-за низких физико-механических свойств.
2. Сплавы с низким содержанием легирующих элементов или легированные магнием (например: АМг3, АМг6) имеют более низкую твердость и прочность по сравнению с дюралюминиями.

Проанализировав положительные и отрицательные стороны различных сплавов алюминия выбор сделал на дюралюминий Д16 – один из самых сложных для качественного толстого твердого анодирования. Строгое соблюдение технологии, особенно подготовки и температурного режима, абсолютно необходимо. Он выбран по причине широкого использования в особенности высоконагруженных деталях, из-за своих высоких физико-механических свойств, ведь именно на такие детали и сделан акцент

в этом исследовании. А также если получить успешные оксидные пленки на алюминии сплава Д16, то организовать процесс на других марках алюминия будет проще.

Линия холодного анодирования состоит из термопары, устройство для измерения температуры, работающее на принципе термоэлектрического эффекта. Главной особенностью термопары является преобразование тепловой энергии в электрическую без использования внешнего источника питания, термометра, вольтметра, устройства управления, блока питания, электролита, анодируемой детали, катода, охлаждающей системы, холодильника, ванны анодирования, насоса.

В процессе проведения экспериментов было доказано получение надежной оксидной пленки, соответствующей требуемым показателям. В качестве основного контрольно-измерительного оборудования использовались: скоба рычажная СРП 0-25 мм 0,001 мм, скобы рычажные типа СР (пассаметр) применяется для измерений линейных размеров прецизионных деталей методом сравнения с мерой в условиях массового производства точного приборостроения и машиностроения. Принцип действия основан на работе рычажно-зубчатого механизма, встроенного в корпус прибора. Скоба оснащена арретиром для отвода подвижной пятки, упором и, встроенным в корпус индикатором, с переставными указателями поля доступа. Рычажная скоба настраивается на размер измеряемой детали с помощью блока плоскопараллельных концевых мер, стрелка устанавливается на нулевое положение. концевые меры длины эталонные изделия с точно выверенными геометрическими параметрами, выполнены в форме прямоугольного параллелепипеда или цилиндра, микротвердомер ПМТ-3.

Микротвердомер ПМТ-3 (условная расшифровка – «Пирамидальный МикроТвердомер-3») представляет собой микроскоп, предназначенный для измерения микротвердости металлов, стекла, абразивов, керамики, минералов и других материалов. Так как основной принцип измерения микротвердости сводится к замеру диагонали полученного отпечатка вдавленной алмазной пирамидки, то для измерения толщины оксидной пленки он вполне подходит [2].

Так как суть работы микротвердомера заключается в измерении длины диагонали вдавленной алмазной пирамидки и, зная цену деления окуляр-микрометра, приведенную в миллиметры, то данный микроскоп может с достаточной точностью измерить толщину полученных покрытий. Для этого были изготовлены шлифы анодируемых деталей (рис. 2). Так как при замерах поверхностного слоя важно сохранить геометрию образца, при полировке они были залиты в эпоксидную смолу с последующем затвердеванием.

Шлифы были изучены под микроскопом и замерена толщина на разных участках (рис. 3). Данные занесены в таблицу 1, выведена средняя толщина каждого образца.



Рис. 2. Изготовленные шлифы

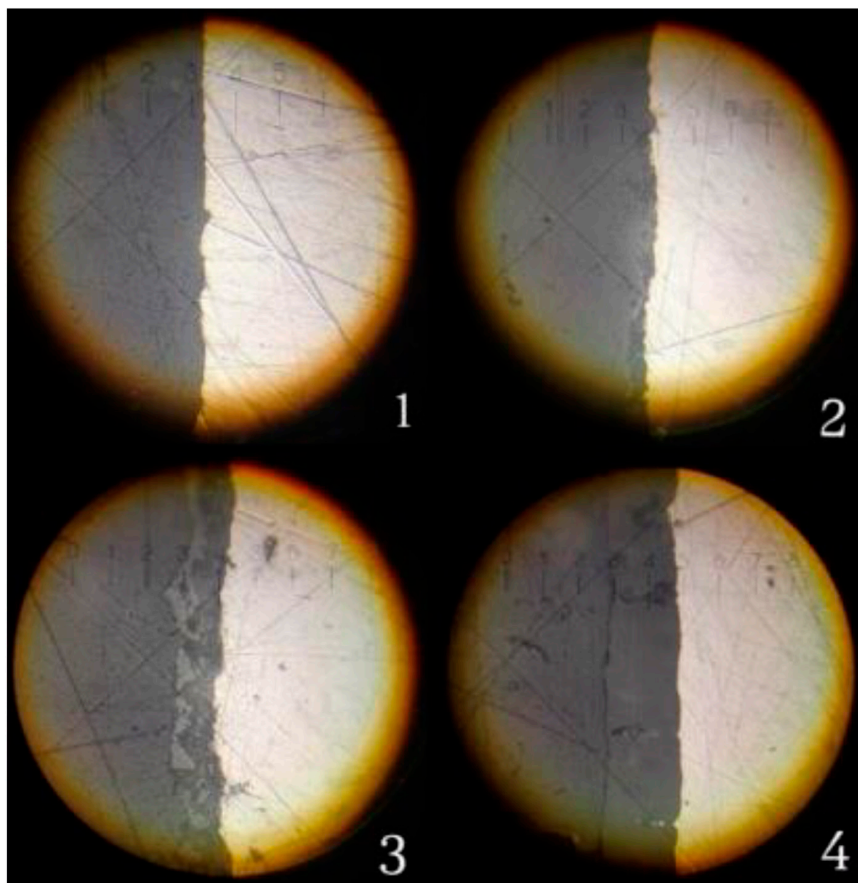


Рис. 3. Исследование шлифов и замер толщины анодной пленки под микроскопом. В порядке увеличения толщины пленки

Примечание: 1 – в расплаве солей; 2 – ПЭА; 3 – ПЭА в расплаве солей; 4 – в водном растворе электролитов.

Таблица 1

Толщина анодного покрытия, разным типом анодирования

Тип анодирования	Толщина пленки в 3 разных точках	Средняя толщина
В расплаве солей	0.002мм 0.0015мм 0.0012мм	0.0016мм
Плазменно-электролитическое	0.0104мм 0.0153мм 0.0206мм	0.0154мм
Плазменно-электролитическое в расплаве солей	0.046мм 0.0427мм 0.0411мм	0.0433мм
В водном растворе электролита	0.0635мм 0.0617мм 0.0666мм	0.064мм

В ходе проведенного исследования было исследовано 3 способа анодирования. Разработан собственный метод анодирования: плазменно-электролитический в расплаве солей. Способ отличается электропроводящей средой, ее более высокой химической активностью и температурными режимами в процессе анодирования. По сравнению с образцами, полученными известными способами, данный способ показал более высокие эксплуатационные характеристики, главная из которых твердость 648HV0.49. Стоит отметить для переналадки оборудования под различные технологические процессы анодирования дополнительных финансов не потребуется, так как оборудование является универсальным, а расходные материалы обладают по среднему значению одинаковыми по цене.

Результаты исследования

Следующим важным шагом является доказательство экономической эффективности линии. Для этого подробно рассмотрим все составляющие и расходные материалы, используемые в процессе.

1. Ванны для анодирования (емкость 20 л).
2. Чиллер (холодильник).
3. Нагреватель.
4. Вольтметр.
5. Устройство управления.
6. Термометр.
7. Насос.
8. Блок питания.
9. Вентиляция.
10. Расходные материалы:
 - соляная кислота 180 г/л, 15-18% по массе;
 - щавелевая кислота 15 г/л;
 - вода дистиллированная.

Основой для анодирования является подготовка изделий, а именно очистка поверхности от жиров и удаление старой оксидной пленки. Качество анодирования на 80% зависит от правильной подготовки поверхности. Дюралюминии требуют особого внимания из-за высокого содержания меди. Подготовка деталей не зависит от способа получения пленки, а является универсальным способом для всех методов анодирования.

Механическая чистка:

Удаление грубых заусенцев, литников, следов обработки абразивами (шлифовка, полировка).

Щелочное обезжиривание:

Раствор специализированного щелочного обезжиривателя для алюминия обычно для этого используется NaOH, растворенная в воде концентрацией 50-100 г/л.

Деталь погружается в раствор на 3-10 минут. После промываются в проточной технической воде.

Травление:

Цель: удалить естественный оксидный слой, обеспечить равномерную микрошероховатость.

Раствор: 10-15% H₂SO₄ или 5-10% HNO₃.

Тщательная промывка:

После детали промываются в проточной технической воде. Полностью удаляются остатки кислоты.

Осветление (Дезоксидация):

Цель: удалить темный «шлам» (интерметаллиды, содержащие медь), оставшийся после травления на поверхности Д16. Восстановить чистую, светлую поверхность алюминия.

Раствор: 20-30% водный раствор азотной кислоты (HNO₃). Время: 1-5 минут (до достижения равномерного светлого цвета).

Тщательная промывка:

В проточной воде 1-2 минуты. Время между подготовкой и анодированием: максимум 30-60 минут. Свежеподготовленная поверхность активна и быстро пассивируется на воздухе, что ухудшает адгезию анодного слоя. Если задержка неизбежна – держать детали в дистиллированной воде.

Контроль качества после каждого этапа: особенно после промывок (равномерное смачивание) и осветления (отсутствие темных пятен).

Полная себестоимость анодирования детали определяется суммой стоимости материалов, заработной платы производственных рабочих и накладных расходов [3].

Она определяется по формуле:

$$C_{п} = C_{м} + Z_{п},$$

где C_м – стоимость материалов, руб.; Z_п – заработная плата производственных рабочих, руб.

$$C_{м} = C_{с.к} + C_{щ.к} + C_{д.в},$$

где C_{с.к.} – стоимость соляной кислоты, руб.;

C_{щ.к.} – стоимость щавелевой кислоты, руб.;

C_{д.в.} – стоимость дистиллированной воды, руб.

$$C_{м} = 62 + 4 + 463,5 = 529,5.$$

Основная заработная плата производственных рабочих определяется по формуле:

$$\text{Спр} = \text{тср} \cdot \text{Сч},$$

где тср – средняя трудоемкость анодирования деталей, принимаем 3,1; Сч – средняя часовая ставка лаборантов, принимаем 195 руб.

$$\text{Спр} = 3,1 \cdot 195 = 604,5 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата производственных рабочих определяется по формуле:

$$\text{Сдоп} = (5...12) \text{ Спр} / 100,$$

$$\text{Сдоп} = 12 \cdot 604,5 / 100 = 72,54 \text{ руб.}$$

Начисления по социальному страхованию определяются по формуле:

$$\text{Ссоц} = 0,3 (\text{Спр} + \text{Сдоп}),$$

$$\text{Ссоц} = 0,3 \cdot (604,5 + 72,54) = 203,112 \text{ руб.}$$

Полная заработная плата на анодирование деталей определяется по формуле:

$$\text{Зн} = \text{Спр} + \text{Сдоп} + \text{Ссоц},$$

$$\text{Зн} = 604,5 + 72,54 + 203,112 = 880,152.$$

Накладные расходы определяются по формуле:

$$\text{Снакл} = \text{Рнакл} \text{ Зп},$$

где Рнакл – процент накладных расходов, Рнакл = 150%;

Зп – приведенная заработная плата,

$$\text{Снакл} = 880,152 \cdot 150 / 100 = 1320,228 \text{ руб.}$$

$$\text{Сп} = 529,5 + 1320,228 = 1849,7 \text{ руб.}$$

$$\text{Цанод} = (\text{Сп} + \text{См}) \text{ Нпр} + (\text{Сп} + \text{См}),$$

где Нпр – норма прибыли, 32% от себестоимости

$$\text{Цанод} = (1849,7 + 529,5) \cdot 0,32 + (1849,7 + 529,5) = 3141 \text{ р.}$$

Для расчета условно примем годовую производственную программу по холодному анодированию в количестве 988 шт. Данное количество принято исходя из среднего количества рабочих дней в 2025 году и количества анодированных деталей в сутки на начальном этапе организации производства (т.е. имеем только одну линию холодного анодирования). Годовой выпуск продукции определяется по формуле [4]:

$$\text{ВП} = \text{Цанод} \cdot \text{N},$$

$$\text{ВП} = 3141 \cdot 247 = 775827 \text{ руб.}$$

Стоимость основных средств лаборатории по анодированию определяется по формуле:

$$\text{Сосн.ср} = \text{Суч} + \text{Соборуд},$$

где Суч – стоимость аренды лаборатории, руб.;

Соборуд – стоимость оборудования, руб.

Средняя стоимость аренды под лабораторию, площадью 200 м² в Курске, составляет 60000 в месяц или 720000 за год.

Ориентировочная стоимость оборудования, применяемого для холодного анодирования, составляет 20424 рублей.

$$\text{Сосн.ср} = 720000 + 20424 = 740424 \text{ руб.}$$

Для работы и обслуживания линии холодного анодирования, необходимы два лаборанта.
Фондовооруженность определяется по формуле:

$$\Phi_{воор} = \text{Сосн ср} / n,$$

$$\Phi_{воор} = 740424 / 2 = 370212 \text{ руб.}$$

Производительность труда определяется по формуле:

$$\text{Пт} = \text{ВП} / n,$$

$$\text{Пт} = 775827 / 2 = 387914 \text{ руб./чел.}$$

Фондоотдача определяется по формуле:

$$\Phi_о = \text{ВП} / \text{Сосн ср},$$

$$\Phi_о = 775827 / 740424 = 1,04.$$

Фондоемкость определяется по формуле:

$$\Phi_{ем} = 1 / \Phi_о,$$

$$\Phi_е = 1 / 1,04 = 0,96 \text{ руб.}$$

Прибыль определяется по формуле:

$$\text{П} = (\text{Цанод} - \text{Сп}) \cdot N,$$

$$\text{П} = (3141 - 1849,7) \cdot 247 = 318951 \text{ руб.}$$

Уровень рентабельности определяется по формуле:

$$\text{R} = (\text{Цанод} - \text{Сп}) / \text{Сп}, 100\%,$$

$$\text{R} = (3141 - 1849,7) / 1849,7 = 69\%.$$

Для определения экономического эффекта, рассмотрим защиту корпуса уличной камеры методом порошковой покраски и методом холодного анодирования. Годовой экономический эффект определяется по формуле [5]:

$$\text{Эгодэф} = (\text{Спокp} - \text{Санод} \cdot p) \cdot N,$$

где Спокp – стоимость порошковой покраски, Спокp – стоимость расходных материалов;

Санод – стоимость холодного анодирования, Санод; p – коэффициент стоимости оборудования,

$$p = \text{Цал} / \text{Цпл},$$

Цал – стоимость оборудования для линии холодного анодирования, которая составляет 20424;

где Цпл стоимость линии порошковой покраски, она составляет в среднем 360000;

$$p = 20424 / 360000 = 0,06.$$

Берем упрощенную формулу, т.к. з/п и аренду помещения будем считать одинаковой.

$$\text{Эгодэф} = (1564 - 529,5 \cdot 0,06) \cdot 247 = 378461,81 \text{ руб.}$$

Годовая экономия определяется по формуле:

$$\text{Эгод} = (\text{Спокp} - \text{Сп} \cdot p) \cdot N,$$

$$\text{Э год} = (1564 - 1849,7 \cdot 0,06) \cdot 247 = 358915,7 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости определяется по формуле:

$$\text{T} = \text{Сосн ср} / \text{Эгод},$$

$$\text{T} = 740424 / 358915,7 = 2,1 \text{ г.}$$

Фондовооруженность – 370212 руб.
Производительность труда – 387914 руб./чел.
Прибыль – 318951 руб.
Уровень рентабельности – 69 %
Годовой экономический эффект – 378461,81
Годовая экономия – 358915,7руб
Срок окупаемости – 2,1 г.

Выводы

Проведенный технико-экономический анализ показал, что использование линии холодного анодирования является прибыльным. Годовой экономический эффект от организации линии холодного анодирования составляет 378461,81 руб., срок окупаемости составляет 2,1 года. При этом стоит учитывать, что анализ проводился на примере одной детали корпуса уличной камеры. Таких деталей в отечественном машиностроении широкое множество. Таким образом, это доказывает способность быстро масштабировать процесс холодного анодирования, внедряя его применение для различных деталей и получая больший экономический эффект.

Литература

1. Разумов М.С., Глазков П.В., Солошенко А.С., Мальцев О.Н., Чаплыгин Р.Е. Способ регистрации температуры в зоне анодирования алюминия // В сборнике: Современные технологии, материалы и техника: сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2024. С. 234-238. EDN: ХКТРЕВ.
2. Чаплыгин Р.Е., Разумов М.С., Горшенина А.С., Солошенко А.С. Анализ способов измерения толщины слоя гальванического покрытия // В сборнике: Современные технологии, материалы и техника: сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2024. С. 300-304. EDN: CEUTCS.
3. Барашев В. В. Сущность и основные критерии оценки эффективности деятельности предприятия // Матрица научного познания. 2021. № 4-2. С. 98-103. EDN: MBLKJO.
4. Железнова А.Л. Эффективность деятельности предприятия и факторы, влияющие на эффективность // Инновационная наука. 2021. № 5. С. 108-110. EDN: KTLMZO.
5. Шохин Е. И. Финансовый менеджмент: учебник. М.: Издательство Кнорус, 2019. 476 с.

