

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Для определения состава неоднородных образцов с помощью метода лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии используются градуировочные зависимости, которые могут иметь значительные систематические погрешности, существенно влияющие на определение количественного состава элементов. Неоднородность образцов также вызывает погрешности в параллельных измерениях. Для снижения погрешностей используются методы многосигнальной градуировки и внутреннего стандарта, которые позволяют существенно повысить точность при изменении условий проведения эксперимента и исключить необходимость покупки дорогостоящих стандартных образцов.

Ключевые слова: бетон, продукты коррозии, атомно-эмиссионный спектральный анализ, лазерно-искровая эмиссионная спектрометрия, градуировочный график, составляющие погрешности, функция устойчивого градуирования.

Введение. Железобетонные конструкции (ЖБК) используются в опорах контактной сети электропитания железнодорожного транспорта. Особенностью данной системы является протяженность, поэтому важным является применение мобильных диагностических комплексов, позволяющих определять коррозионное состояние ЖБК как основного параметра, влияющего на надежность опор. Актуальным является использование спектральных методов диагностирования. Для определения состава образцов с помощью спектральных методов, в частности метода лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (ЛИЭС), наиболее распространены подходы с использованием градуировочных зависимостей. Но градуировочные графики, построенные по одним комплектам стандартных образцов, изменяют своё положение в различное время с изменением условий проведения эксперимента, что вызывает значительные систематические погрешности в конечном результате определения количественного состава анализируемых элементов. Кроме того, составляющие погрешности возникают от неоднородности состава по объёму анализируемых образцов.

Теория. Метод лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (в частности, атомно-эмиссионный метод с индуктивно-связанной плазмой или атомно-эмиссионный спектральный анализ — АЭСА) обладает более широким динамическим диапазоном по сравнению с другими методами [1, 2]. Данный метод позволяет проводить измерения количественного состава анализируемых продуктов даже в том случае, когда в лаборатории нет необходимых стандартных образцов (СО) или они не охватывают все интересующие элементы-примеси.

В АЭСА, как и в любом другом методе, присутствуют погрешности определения количественного содержания элемента [3].

Основными источниками систематических погрешностей определения в АЭСА являются:

- влияние матричного состава пробы на интенсивность спектральных линий определяемых элементов;

- спектральные помехи;
- погрешности градуировки.

К источникам общих случайных кратковременных погрешностей в АЭСА относят:

- нестабильность системы ввода пробы;

- нестабильность газовых потоков;
- нестабильность термохимических процессов в источнике возбуждения спектров;
- нестабильность системы регистрации сигнала (малый вклад);
- неоднородность состава исследуемых образцов.

Источником случайной долговременной погрешности является дрейф сигнала.

Существуют различные методы снижения погрешностей (систематических и случайных) при определении количественного состава элементов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. Основными направлениями являются:

- оптимизация градуировки;
- совершенствование аппаратуры подачи и подготовки пробы, а также аппаратуры возбуждения спектров и регистрации сигналов;
- оптимизация параметров измерения сигналов;
- многократные измерения сигнала с оптимальным временем интегрирования;
- многолинейчатая регистрация интенсивностей анализируемых элементов;
- учет дрейфа сигнала;
- коррекция фона, учет контрольного опыта и спектральных помех;
- использование внутренней и внешней стандартизации;
- одновременная многоканальная регистрация сигналов.

Постановка задачи. Использование метода внутреннего стандарта [4–6] полагается наиболее эффективным и наименее затратным как по стоимости, так и по времени, а одновременное регистрирование нескольких спектральных линий сравнения, которая положена в основу многолинейчатого метода внутреннего стандарта, обеспечивает [3, 7, 8]:

- минимизирование вероятности возникновения систематических погрешностей от матричных спектральных и неспектральных помех;
- возможность выбора наиболее подходящих линий для повышения точности анализа;
- возможность при сложении интенсивностей повысить чувствительность определения и улучшить точность анализа в несколько раз.

Нелинейность градуировочного графика вблизи предела обнаружения примеси обусловлена содер-

жанием этой примеси в основе образца сравнения (ОС). К таким примесям относятся элементы с физико-химическими свойствами, близкими с основной и потому трудно удаляемые, так называемые «распространенные элементы», например, Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Si и др. [9]

Корреляционные зависимости (1) являются наиболее распространенными для анализа продуктов коррозии в бетоне методом АЭСА:

$$Y = AX + B, \quad (1)$$

где Y — отношение интенсивности аналитических сигналов калия или натрия к интенсивности спектральной линии Si 243,88 нм (внутренний стандарт); X — массовая доля элемента, %; A и B — параметры уравнения [10].

В работе [10] в качестве внутреннего стандарта выступила линия кремния (Si) 243,88 нм и комбинации линий основных и примесных элементов с оптимизируемыми весовыми коэффициентами [11]:

$$I_{\text{вн.ст.}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{базис}}} a_{ij} I_i, \quad (2)$$

где I_i — интенсивность аналитического сигнала основных компонентов; $I_{\text{вн.ст.}}$ — сигнал внутреннего стандарта; a_{ij} — оптимизируемые весовые коэффициенты; i — порядковый номер аналитической линии; $n_{\text{базис}}$ — общее количество используемых спектральных линий; j — обозначение принадлежности к определяемому элементу.

Отклонение точек от градуировочных графиков происходит в основном из-за наличия двух факторов [10]:

- наличие случайных погрешностей самих методик АЭСА;
- неадекватность (различие фазового и гранулометрического состава проб) образцов сравнения.

Эксперимент. Изменение площади поперечного сечения арматурных стержней играет основную роль в обеспечении прочностных характеристик железобетонных опор, поддерживающих линии электропередач или контактного провода на железнодорожном транспорте. Для построения и анализа градуировочных зависимостей были изготовлены образцы сравнения, изготовленные из материала, соответствующего реальным железобетонным кон-



Рис. 1. Изображения поверхности бетонных образцов с различным содержанием FeCl_3

Таблица 1

Образцы сравнения с известным содержанием раствора $FeCl_3$

Обозначение	Масса образца в сыром виде, г	Масса $FeCl_3$, г	$C(FeCl_3)$, %	$C(Fe)$, %
ЖБХ3	496	5	1,0	0,34
ЖБХ5	539	10	1,9	0,65
ЖБХ7	505	15	3,0	1,03
ЖБХ9	492	20	4,1	1,41
ЖБХ11	498	25	5,0	1,72
ЖБХ13	464	36,2	7,8	2,69

Таблица 2

Основные характеристики лазерного анализатора LIBZ-300

Параметр	Значение
Диапазон спектральной чувствительности, нм	190 – 950
Источник возбуждения, Мдж/импульс	5 – 6
Частота повторения, Гц	50
Лазерный источник, нм	1064
Область растривания	16×16 точек, 256 местоположений
Диаметр луча лазера, мкм	~ 50
Передвижение лазера в направлении XY	есть
Регулировка фокуса в направлении Z	есть
Сбор спектральных данных	в режиме открытого или закрытого строба
Передача данных	Wifi, Bluetooth, USB подключение к любым электронным устройствам, включая программное обеспечение SciAps ProfileBuilder для ПК, MAC.
Управляющая электроника: процессор	ARM Cortex-A9 dual-core / 1,2 GHz Память: 1 GB DDR2 RAM, 1 GB NAND
Дисплей	5-дюймовый цветной тачскрин дисплей с поддержкой PowerVR SGX540 3D graphic
Видео/фото документирование	встроенная фото- и видеокамера для просмотра образца до/во время анализа для уточнения местоположения
Питание	литий-ионная батарея, сеть
Вес (с батареями), кг	1,9
Габариты	8,25"×11,5"×4,5" (~ 21×29×11,5 см)

струкциям (бетон М300, применяемый в опорах контактной сети) с заданным количеством хлорида железа ($FeCl_3$) в бетоне, имитирующего разложение арматурных стержней (рис. 1).

На фотографиях образцов окружностями указаны области, в которых находились точки измерения. Каждая точка, показанная на рис. 1, имеет

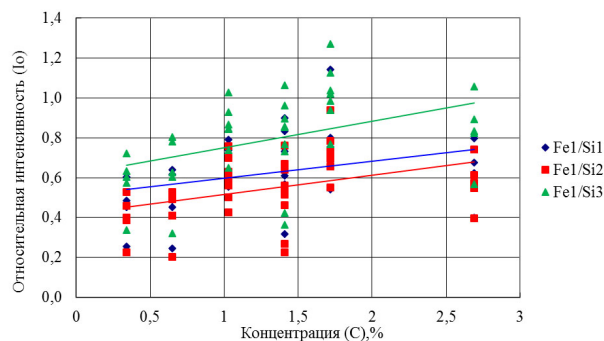


Рис. 2. Градуировочный график по результатам эксперимента образцов ЖБХ

различия в содержании $FeCl_3$ (неоднородность состава ОС).

Как видно из рис. 1, образцы имеют неравномерное распределение хлорида железа в объеме, поэтому для повышения однородности исследуемых образцов, с поверхности набирался порошок из взаимно перпендикулярных продорожек. Порошок измельчался и прессовался в таблетки при помощи ручного пресса.

Содержание хлорида железа, масса образцов и их наименование приведены в табл. 1.

Исследование проводилось с использованием лазерного анализатора LIBZ-300 (SciAps, США) геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные характеристики прибора приведены в табл. 2. Режим съемки: 12 позиций лазера (площадь пятна примерно 0,25 мм²), 3 чистящих импульса, 8 аналитических. Продувка осуществляется аргоном. Задержка фотоматрицы не использовалась.

В качестве основной линии была использована линия железа Fe_1 259,94 нм, а в качестве линий сравнения были использованы линии кремния Si_1 288,16 нм, Si_2 251,61 нм, Si_3 252,85 нм. По результатам эксперимента был построен градуировочный график (рис. 2) зависимости относительной интенсивности от концентрации железа. Величина достоверности аппроксимации по параметру R^2 составляет 0,092; 0,154 и 0,170 соответственно линиям сравнения. Для линий железа Fe_2 263,08 нм и Fe_3 302,06 нм графики отличаются незначительно друг от друга и имеют значительные разбросы для измеренных интенсивностей по каждому образцу сравнения.

Для повышения стабильности и уменьшения временного дрейфа градуировочных графиков были измерены несколько линий анализируемого элемента (многолинейчатая градуировка) и несколько линий сравнения, имеющих различные энергетические характеристики, для уменьшения влияния внешних факторов на проведение эксперимента.

Для построения градуировочного графика необходимо рассчитать регрессионные коэффициенты функции устойчивого градуирования:

$$F = \frac{a_1 \cdot I_{Fe}}{b_1 \cdot I_{Si_1} + b_2 \cdot I_{Si_2} + b_3 \cdot I_{Si_3}}, \quad (3)$$

где I_{Fe_1} — интенсивность спектральной линии анализируемого элемента (Fe 259,94 нм); $I_{Si_1}, I_{Si_2}, I_{Si_3}$ — интенсивности линий сравнения с длинами волн 288,16 нм, 251,61 нм, 252,85 нм соответственно; a_1, b_1, b_2, b_3 — весовые коэффициенты.

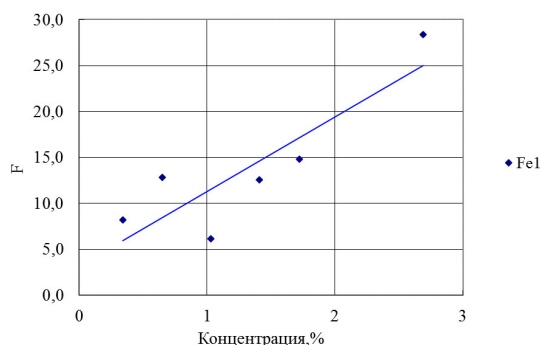


Рис. 3. График функции устойчивого градуирования

Для формирования градуировочной зависимости (с использованием функции устойчивого градуирования) требуется рассчитать коэффициенты, при которых корреляция между данными, полученными в разных режимах, будет максимальной [12].

По результатам вычисления функции (3) был построен график устойчивого градуирования, где величина достоверной аппроксимации R^2 составляет 0,829 (рис. 3). Кроме того, для предложенного способа градуирования отмечено повышение концентрационной чувствительности

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta X},$$

где $\Delta Y = Y_{\max} - Y_{\min}$, $\Delta X = X_{\max} - X_{\min}$ — координаты изменения начальной и конечной точек на градуировочном графике.

Так, для данных, приведенных на рис. 2 и рис. 3, изменение коэффициента концентрационной чувствительности произошло от значения $k = 0,13$ до значения $k = 8,25$ для традиционного и предложенного способа градуирования. Добиться существенного уменьшения погрешностей параллельных измерений предложенным способом не удалось, на графике рис. 3 они не показаны.

Обсуждение результатов эксперимента. Применение метода многосигнальной градуировки с использованием внутреннего стандарта позволяет существенно повысить точность при изменении условий проведения эксперимента и снизить затраты, т.к. нет необходимости в использовании дорогостоящих стандартных образцов для корректировки положения градуировочных зависимостей. Отмечено повышение концентрационной чувствительности предложенного способа градуирования.

Библиографический список

1. Пелевина Н. Г. Применение метода внутреннего стандарта для определения примесей в цинке марочном и катодном методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2006. Т. 72, № 8. С. 24–26.
2. Grotti M., Magi E., Leardi R. Selection of Internal Standards in Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry by Principal Component Analysis / J. Anal. At. Spectrom. 2003. Vol. 18, № 3. P. 274–281. DOI: 10.1039/b212653b.
3. Пупышев А. А. О возможности снижения систематических и случайных погрешностей атомно-эмиссионного спектрального анализа с использованием многолинейчатой градуировки // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83, № 1-2. С. 20–30.

4. Moore G. L. Internal standardization in atomic-emission spectrometry using inductively coupled plasma. Report N M208. Mintek (Analytical Science Division); Council for mineral technology (South Africa), 1985. 24 p.

5. Barnett W. B., Fassel V. A., Kniseley R. N. Theoretical principles of internal standardization in analytical emission spectroscopy // Spectrochim. Acta. Part B. 1968. Vol. 23. P. 643–664.

6. Barnett W. B., Fassel V. A., Kniseley R. N. An experimental study of internal standardization in analytical emission spectroscopy // Spectrochim. Acta. Part B. 1970. Vol. 25. P. 139–161.

7. Kucharkowski R., Jankova D., Herrmann E., John A. Contributions to accuracy improvement of simultaneous ICP atomic emission spectrometry using multi-line measurements of analyte and internal standard elements Applications for the analysis of permalloy // Fresenius J. Anal. Chem. 1998. Vol. 361. P. 532–539.

8. Pan F., Tyson J. F. Real and composite emission lines as internal standards in the determination of As, Se and Sb by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2007. Vol. 22. P. 377–385. DOI: 10.1039/b613316a.

9. Чанышева Т. А., Путьмаков А. Н., Шелпакова И. Р. К вопросу о построении градуировочных графиков в практике атомно-эмиссионного спектрального анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Специальный выпуск. 2007. Т. 73. С. 80–85.

10. Змитрович А. Г., Пупышев А. А. Атомно-эмиссионное спектральное определение оксидов натрия и калия в порошках микрокремнезёма способом вдувания // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16, № 1. С. 23–29.

11. Змитрович А. Г., Пупышев А. А. Оптимизация градуировочных зависимостей при атомно-эмиссионном спектральном анализе многокомпонентных ферросплавов способом вдувания в дуговой разряд // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2004. Вып. 16. С. 33–44.

12. Кузнецов А. А., Слептерев В. А., Пелезнев А. В. Реализация мобильных градуировочных характеристик приборов спектрального анализа материалов с использованием виртуальных эталонов // Омский научный вестник. 2013. № 3 (125). С. 241–246.

КУЗНЕЦОВ Андрей Альбертович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск.

SPIN-код: 5259-0531

AuthorID (РИНЦ): 358976

ORCID: 0000-0002-1815-4679

AuthorID (SCOPUS): 56824984500

Адрес для переписки: kuznetsova.omgups@gmail.com

ВОЛКОВА Наталия Владимировна, соискатель кафедры «Теоретическая электротехника» ОмГУПС, г. Омск.

SPIN-код: 3882-5087

AuthorID (РИНЦ): 1044951

ORCID: 0000-0003-4645-9661

AuthorID (SCOPUS): 57217279867

Адрес для переписки: wolf.volkova@yandex.ru

ФОМИЧЕНКО Кирилл Игоревич, аспирант кафедры «Теоретическая электротехника» ОмГУПС, г. Омск.

SPIN-код: 5140-4206

AuthorID (РИНЦ): 1118770

ORCID: 0000-0001-5836-2395

AuthorID (SCOPUS): 57223102995

Адрес для переписки: fomichenko.kiril@gmail.com

КОРШУНОВ Дмитрий Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, техник кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, г. Москва.

SPIN-код: 3118-6460

AuthorID (РИНЦ): 1118067

ORCID: 0000-0002-8500-7193

AuthorID (SCOPUS): 57221109159

Адрес для переписки: dmit0korsh@gmail.com

Для цитирования

Кузнецов А. А., Волкова Н. В., Фомиченко К. И., Коршунов Д. М. Повышение точности определения продуктов коррозии в железобетонных конструкциях методом атомно-эмиссионного спектрального анализа // Омский научный вестник. 2023. № 3 (187). С. 125–130. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-125-130.

Статья поступила в редакцию 27.04.2023 г.

© А. А. Кузнецов, Н. В. Волкова, К. И. Фомиченко, Д. М. Коршунов

UDC 681.2:543.423

DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-125-130

EDN: TTTPLT

A. A. KUZNETSOV¹
N. V. VOLKOVA¹
K. I. FOMICHENKO¹
D. M. KORSHUNOV²

¹ Omsk State
Transport University,
Omsk, Russia

² Lomonosov Moscow
State University,
Moscow, Russia

IMPROVING THE ACCURACY OF DETERMINING CORROSION PRODUCTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY ATOMIC EMISSION SPECTRUM ANALYSIS

To determine the composition of inhomogeneous samples using the method of laser-spark emission spectrometry, calibration dependences are used, which can have significant systematic errors that significantly affect the determination of the quantitative composition of elements. Sample inhomogeneity also causes inaccuracies in replicate measurements. To reduce errors, multi-signal calibration and internal standard methods are used, which can significantly improve accuracy when changing experimental conditions and eliminate the need to purchase expensive standard samples.

Keywords: concrete, corrosion products, atomic emission spectral analysis, laser-induced breakdown spectroscopy, calibration graph, error components, stable calibration function.

References

1. Pelevina N. G. Primeneniye metoda vnutrennego standarta dlya opredeleniya primesey v tsinke marochnom i katodnom metodom atomno-emissionnoy spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy [Application of interior standard method for impurities determination in branded and cathode zinc by atomic-emission spectrometry with inductive bounded plasma] // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*. 2006. Vol. 72, no. 8. P. 24–26. (In Russ.).
2. Grotti M., Magi E., Leardi R. Selection of Internal Standards in Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

by Principal Component Analysis / J. Anal. At. Spectrom. 2003. Vol. 18, no. 3. P. 274–281. DOI: 10.1039/b212653b. (In Engl.).

3. Pupyshev A. A. O vozmozhnosti snizheniya sistematischeskikh i sluchaynykh pogreshnostey atomno-emissionnogo spektral'nogo analiza s ispol'zovaniyem mnogolineynatoy graduirovki [On the possibility of reducing the systematic and random errors of atomic emission spectral analysis using multiline calibration] Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*. 2017. Vol. 83, no. 1-2. P. 20–30. (In Russ.).
4. Moore G. L. Internal standardization in atomic-emission spectrometry using inductively coupled plasma. Report N

M208. Mintek (Analytical Science Division): Council for mineral technology (South Africa), 1985. 24 p. (In Engl.).

5. Barnett W. B., Fassel V. A., Kniseley R. N. Theoretical principles of internal standardization in analytical emission spectroscopy // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1968. Vol. 23. P. 643–664. (In Engl.).

6. Barnett W. B., Fassel V. A., Kniseley R. N. An experimental study of internal standardization in analytical emission spectroscopy // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1970. Vol. 25. P. 139–161. (In Engl.).

7. Kucharkowski R., Jankova D., Hermann E., John A. Contributions to accuracy improvement of simultaneous ICP atomic emission spectrometry using multi-line measurements of analyte and internal standard elements Applications for the analysis of permalloy // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1998. Vol. 361. P. 532–539. (In Engl.).

8. Pan F., Tyson J. F. Real and composite emission lines as internal standards in the determination of As, Se and Sb by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2007. Vol. 22. P. 377–385. DOI: 10.1039/b613316a. (In Engl.).

9. Chanysheva T. A., Putmakov A. N., Shelpakova I. R. K voprosu o postroyenii graduirovannykh grafikov v praktike atomno-emissionnogo spektral'nogo analiza [On the issue of constructing calibration curves in the practice of atomic emission spectral analysis] // *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. Spetsial'nyy vypusk. Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials. Special Issue*. 2007. Vol. 73. P. 80–85. (In Russ.).

10. Zmitrevich A. G., Pupyshev A. A. Atomno-emissionnoye spektral'noye opredeleniye oksidov natriya i kaliya v poroshkakh mikrokremnezama sposobom vduvaniya [Atomic emission spectral determination of sodium and potassium oxides in micrisilica powders using the injection method] // *Analitika i kontrol'. Analytics and Control*. 2012. Vol. 16, no. 1. P. 23–29. (In Russ.).

11. Zmitrevich A. G., Pupyshev A. A. Optimizatsiya graduirovannykh zavisimostey pri atomno-emissionnom spektral'nom analize mnogokomponentnykh ferrosplavov sposobom vduvaniya v dugovoy razryad [Optimization of Calibration Dependencies in Atomic Emission Spectral Analysis of Multicomponent Ferroalloys by the Method of Injection into an Arc Discharge] // *Problemy spektroskopii i spektrometrii. Problemy Spektroskopii i Spektrometrii*. Ekaterinburg, 2004. Issue 16. P. 33–44. (In Russ.).

12. Kuznetsov A. A., Slepterev V. A., Peleznev A. V. Realizatsiya mobil'nykh graduirovannykh kharakteristik priborov spektral'nogo analiza materialov s ispol'zovaniyem virtual'nykh etalonov [Implementation of mobile calibration characteristics of devices for spectral analysis of materials using virtual standards]. *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2013. No. 3 (125). P. 241–246. (In Russ.).

KUZNETSOV Andrey Albertovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Theoretical Electrical Engineering Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk.

SPIN-code: 5259-0531

AuthorID (RSCI): 358976

ORCID: 0000-0002-1815-4679

AuthorID (SCOPUS): 56824984500

Correspondence address: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

VOLKOVA Nataliia Vladimirovna, Applicant of Theoretical Electrical Engineering Department, OSTU, Omsk.

SPIN-code: 3882-5087

AuthorID (RSCI): 1044951

ORCID: 0000-0003-4645-9661

AuthorID (SCOPUS): 57217279867

Correspondence address: wolf.volkova@yandex.ru

FOMICHENKO Kirill Igorevich, Graduate Student of Theoretical Electrical Engineering Department, OSTU, Omsk.

SPIN-code: 5140-4206

AuthorID (RSCI): 1118770

ORCID: 0000-0001-5836-2395

AuthorID (SCOPUS): 57223102995

Correspondence address: fomichenko.kiril@gmail.com

KORSHUNOV Dmitry Mikhailovich, Candidate of Geology and Mineralogy Sciences, Technician of Geology, Geochemistry and Economics of Mineral Resources Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow.

SPIN-code: 3118-6460

AuthorID (RSCI): 1118067

ORCID: 0000-0002-8500-7193

AuthorID (SCOPUS): 57221109159

Correspondence address: dmit0korsh@gmail.com

For citations

Kuznetsov A. A., Volkova N. V., Fomichenko K. I., Korshunov D. M. Improving the accuracy of determining corrosion products in reinforced concrete structures by atomic emission spectrum analysis // *Omsk Scientific Bulletin*. 2023. No. 3 (187). P. 125–130. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-125-130.

Received April 27, 2023.

© A. A. Kuznetsov, N. V. Volkova, K. I. Fomichenko,
D. M. Korshunov