

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ, ОТСТАИВАНИЕМ И КОАГУЛЯЦИЕЙ

Шестаков И.Я., Раева О.В., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет, Институт цветных металлов и материаловедения» (СФУ ИЦМиМ), Россия, 660025, г. Красноярск, пр. имени газ. «Красноярский рабочий», 95.

В настоящее время существует большое количество способов очистки воды и водных растворов - механические, химические, электрические, физические, биологические, комбинированные и др. Для очистки воды от железа эффективно используется отстаивание, от меди, никеля, хрома (VI) широко применяют электрокоагуляцию, ионообменные технологии, биологическую очистку и т. д. Исследования очистки воды от совокупности этих ионов при малых концентрациях практически отсутствуют. В статье представлены результаты экспериментальных исследований отстаивания, коагуляции, электрохимического и комбинированного способов очистки воды от ионов металлов и их сравнительная оценка по степени очистки. Наибольшая степень очистки воды от всех рассматриваемых ионов металлов достигается комбинированным способом, заключающимся в пропускании через очищаемую воду переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых разнородных электродов, введении коагулянта - сернокислого железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в соотношении начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона 2,5:1 и отстаивании воды в течение 10 суток. При этом степень очистки воды равна: от ионов никеля 37,37%, кадмия - 73,1%, хрома - 91,41%, меди - 99,14% и железа - 99,71%. Удельные энергозатраты составляют $W = 0,34$ (кВт·ч)/м³. В то время как при очистке электрохимическим способом с применением нерастворимых электродов и переменного тока удельные энергозатраты составляют 1,5-2 (кВт·ч)/м³.

Ключевые слова: вода, электрохимический способ, коагуляция, переменный ток, отстаивание.

WATER CLEANING FROM METAL IONS BY ELECTROCHEMICAL ACTION, SETTLING AND COAGULATION

Shestakov I.Y., Raeva O.V., Nikiforova E.M., Eromasov R.G.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education, Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals and Material Science Russia, 660025, Krasnoyarsk, 95 Krasnoyarsky Rabochoy Av.

At present there are many different methods to clean water and water solutions - mechanical, chemical, electrical, physical, biological, combined, etc. To clean water from iron settling is used rather effectively. Electric coagulation, ion-exchange technology, biological treatment, etc. are widely applied to clean water from copper, nickel, chromium (VI). Studies of water cleaning from all these ions present in small concentrations are practically not available. The article presents the results of experimental studies of water cleaning from metal ions by settling, coagulation, electrochemical and combined methods. In addition the comparative assessment of cleaning degree is given. The highest degree of water cleaning from ions of all considered in this article metals is achieved by combined method. It includes passing asymmetric alternating current through treated water using insoluble dissimilar electrodes, introduction of coagulant ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) in ratio 2.5:1 to initial concentrations of ion-complex formation agent and removed ions followed by water settling during 10 days. The degree of water cleaning shows good results: from ions of nickel - 37.37%, cadmium - 73.1%, chromium - 91.41%, copper - 99.14% and iron - 99.71%. Specific power consumption is $W = 0.34$ (kW·h)/m³. In case cleaning is performed by electrochemical method employing insoluble electrodes and alternating current, specific power consumption is 1.5-2 (kW·h)/m³.

Keywords: waters, electrochemical method, coagulation, alternating current, settling.

Введение

Загрязнение воды является одной из острейших экологических проблем в мире. Более 90% сточных вод сбрасываются в открытые водоемы без предварительной очистки. В большей мере причиной тому являются сточные воды гальванических производств, содержащие целый ряд ионов металлов, пагубно воздействующих на здоровье людей и

окружающую среду. Поэтому рациональное использование водных ресурсов и сохранение чистоты природных вод стало одной из актуальных проблем человечества.

В настоящее время существует большое количество способов очистки воды и водных растворов - механические, химические, электрические, физические, биологические, комбинированные и др. [1]. Например, для очистки воды от железа эффективно используется отстаивание, от меди, никеля, хрома (VI) широко применяют электрокоагуляцию, ионообменные технологии, биологическую очистку и т.д. В гальваническом производстве сточные воды содержат совокупность различных ионов металлов и недостаточно исследований по очистке воды от ионов металлов при концентрации каждого 0,5 мг/л и менее.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований способов очистки воды от ионов металлов и их сравнительная оценка по степени очистки.

Методика исследований

При исследовании воду очищали от ионов следующими способами: отстаиванием, коагуляцией, электрохимическим и комбинированным.

Электрохимический способ переменным асимметричным током проводили электролизом с использованием пар нерастворимых разнородных электродов [2-4]. Электролизер выполнен из чередующихся электродов в виде пластин. Материал электродов: нержавеющая сталь 12X18H10T, титановый сплав ОТ 4-0. Расстояние между электродами 12 мм. Объем заливаемой воды 1 л. В воде растворяли соли Fe(III), Ni(II), Cd(II), Cu(II) и Cr(VI) при концентрации каждого иона 0,5 мг/л. Переменный электрический ток пропусклся через воду в течение 10 минут при силе тока 0,5 А и напряжении на клеммах электродов 4,1 В [5-7]. Ранее проведенные опыты показали, что максимальная степень очистки при минимальных энергозатратах достигается электрохимическим способом при этих параметрах.

Коагуляцию проводили с использованием хорошо растворимого в воде коагулянта – сернокислого железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. При введении в воду коагулянта происходило его растворение и электролитическая диссоциация с последующим образованием малорастворимого гидрата окиси железа (III), выпадающего в осадок в виде хлопьев и выступающего в качестве комплексообразователя. Соотношение начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона ($C_{\text{OFe}^{2+}}/C_{\text{oi}}$) 2,5:1. Начальная концентрация иона-комплексообразователя 6,25 мг/л.

Отстаивание очищаемой воды проводилось в закрытых емкостях при температуре 20-25 °С и атмосферном давлении.

Комбинированный способ очистки заключался в электрохимическом воздействии, как указано выше, затем вводился коагулянт, и далее происходило отстаивание очищаемой воды.

Количественный анализ ионов, содержащихся в водном растворе после очистки, проводился на масс-спектрометре Agilent 7500 ICP -MS. Забор проб производился через 1 сутки и через 10 суток.

Степень очистки определялась по формуле, %:

$$Y = \left(\frac{C_o - C_k}{C_o} \right) 100,$$

где C_o , C_k - начальная и конечная концентрации удаляемого иона металла, мг/л.

Удельные энергозатраты W определялись по формуле, (кВт·ч)/м³:

$$W = \frac{IU\tau}{V} 10^{-3},$$

где I – сила тока, А;

U – напряжение на клеммах электродов, В;

τ – время пропускания электрического тока, ч;

V – объем заливаемой воды, м³;

10^{-3} – переводной коэффициент из Вт в кВт.

Результаты исследований и их обсуждение

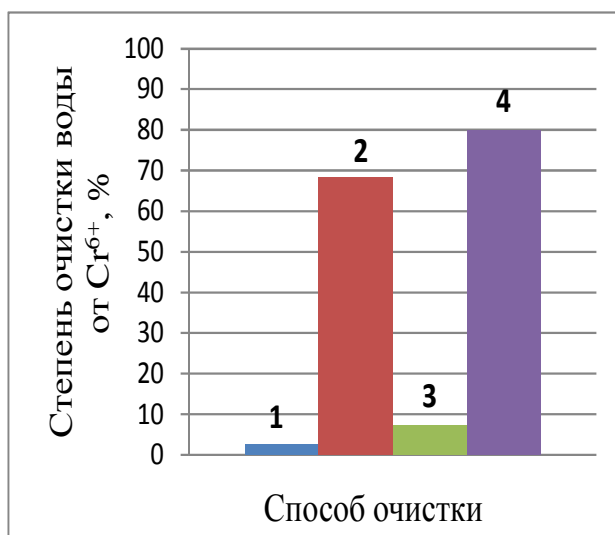
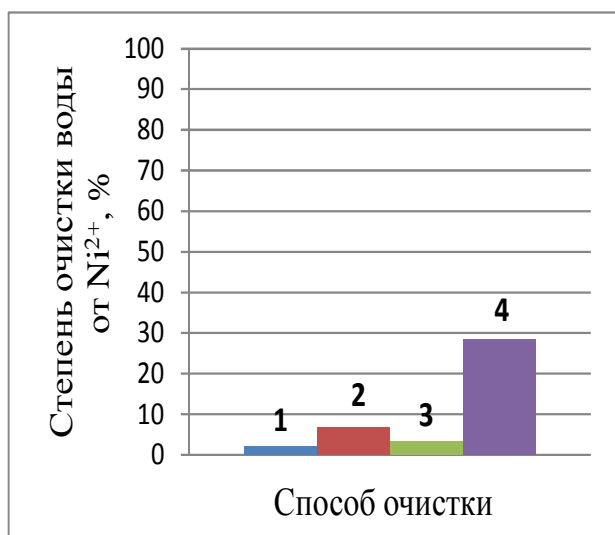
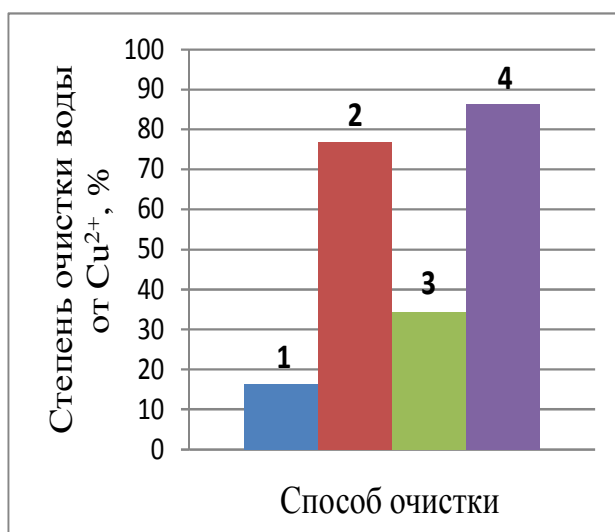
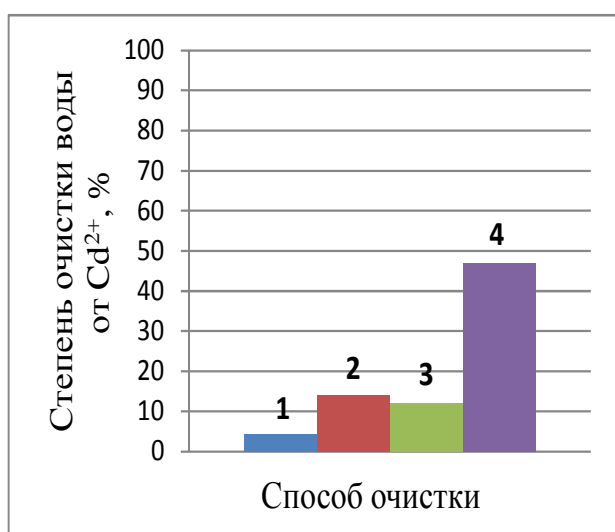
Результаты экспериментальных исследований влияния различных способов очистки воды на степень очистки при различном времени отстаивания представлены в таблицах 1, 2 и на рисунках 1, 2.

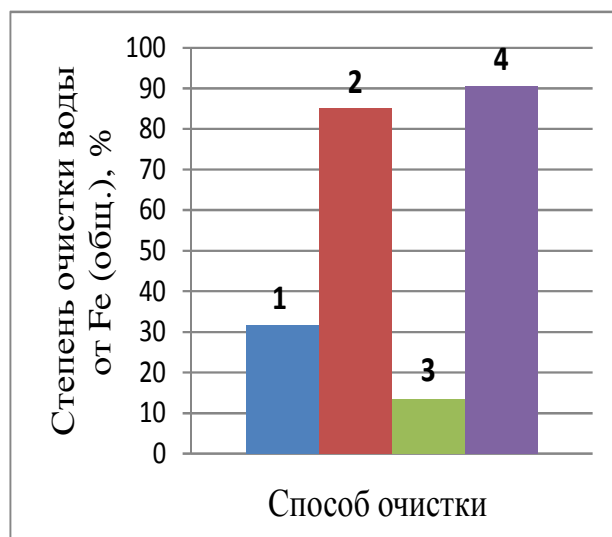
Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований влияния различных способов очистки воды на степень очистки при отстаивании воды 1 сутки

Ион металла	Способ очистки			
	Отстаивание	Коагуляция	Электрохимический	Комбинированный
	Степень очистки, %			
Cd^{2+}	4,3	14,16	12,07	46,98
Cu^{2+}	16,45	76,91	34,25	86,17
Ni^{2+}	1,98	6,75	3,31	28,51
Cr^{6+}	2,72	68,13	7,17	79,86
Fe (общ.)	31,73	85,05	13,47	90,7

Таблица 2 - Результаты экспериментальных исследований влияния различных способов очистки воды на степень очистки при отстаивании воды 10 суток

Ион металла	Способ очистки			
	Отстаивание	Коагуляция	Электрохимический	Комбинированный
	Степень очистки, %			
Cd^{2+}	9,19	23,97	30,91	73,1
Cu^{2+}	88,83	96,05	87,17	99,14
Ni^{2+}	9,59	12,17	9,33	37,37
Cr^{6+}	7,17	90,7	19,31	91,41
Fe (общ.)	87,67	98,59	90,83	99,71

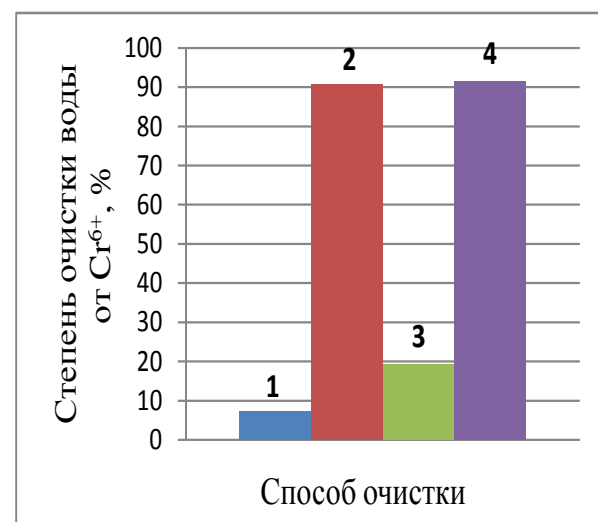
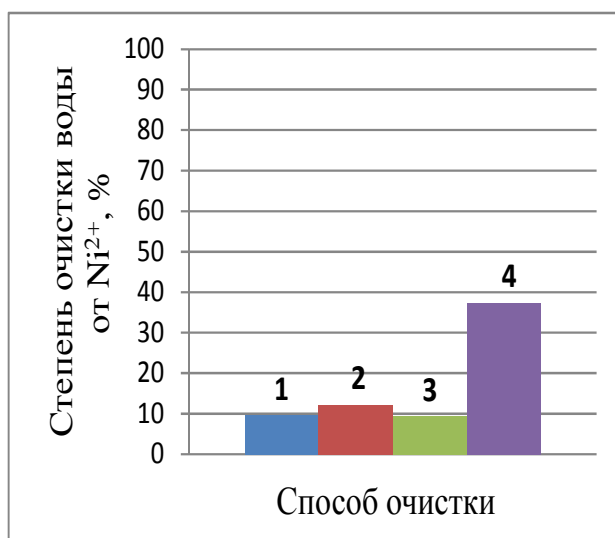
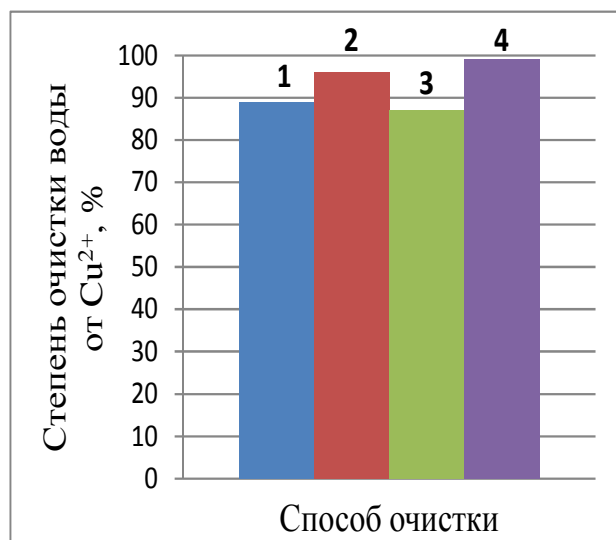
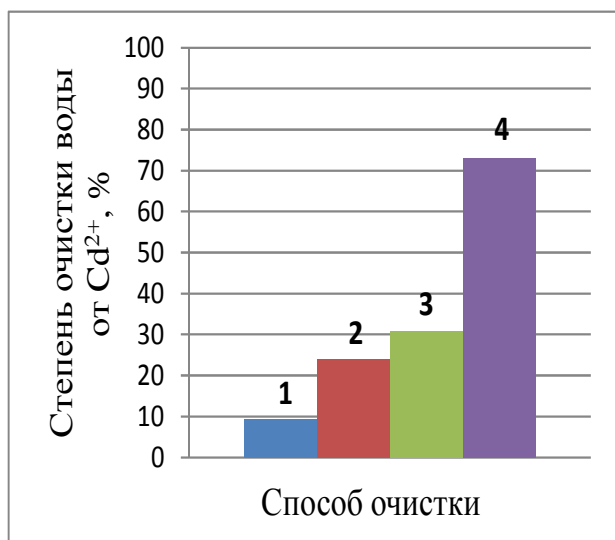


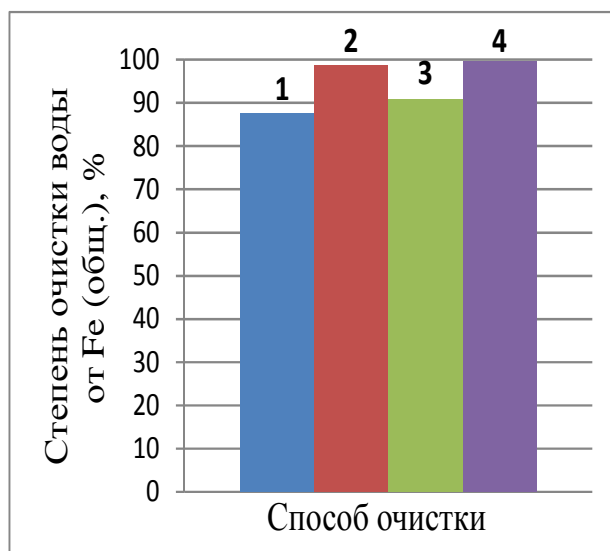


1 – отстаивание; 2 – коагуляция; 3 – электрохимический способ;
4 – комбинированный способ

Рис. 1 – Степень очистки воды от ионов металлов

при различных способах очистки (отстаивание воды 1 сутки)





1 – отстаивание; 2 – коагуляция; 3 – электрохимический способ;
4 – комбинированный способ

Рис. 2 – Степень очистки воды от ионов металлов

при различных способах очистки (отстаивание воды 10 суток)

Из рис. 1 видно, что только отстаиванием в течение суток достичь высокой степени очистки практически невозможно (максимальная степень очистки воды при отстаивании от ионов железа $Y_{Fe^{2+}} = 31,73\%$, меди $Y_{Cu^{2+}} = 16,45\%$, кадмия $Y_{Cd^{2+}} = 4,3\%$, хрома $Y_{Cr^{6+}} = 2,72\%$ и никеля $Y_{Ni^{2+}} = 1,98\%$).

Введение коагулянта позволяет значительно увеличить степень очистки воды от ионов хрома $Y_{Cr^{6+}} = 68,13\%$, меди $Y_{Cu^{2+}} = 76,91\%$, железа $Y_{Fe^{2+}} = 85,05\%$ и незначительно от ионов кадмия $Y_{Cd^{2+}} = 14,16\%$ и никеля $Y_{Ni^{2+}} = 1,98\%$.

Степень очистки при электрохимическом воздействии практически для всех ионов больше, чем при отстаивании, но меньше, чем при коагуляции ($Y_{Cu^{2+}} = 34,25\%$, $Y_{Fe^{2+}} = 13,47\%$, $Y_{Cd^{2+}} = 12,07\%$, $Y_{Cr^{6+}} = 7,17\%$, $Y_{Ni^{2+}} = 3,31\%$).

Комбинированный способ позволяет повысить степень очистки воды от всех присутствующих ионов ($Y_{Fe^{2+}} = 90,7\%$, $Y_{Cu^{2+}} = 86,17\%$, $Y_{Cr^{6+}} = 79,86\%$, $Y_{Cd^{2+}} = 46,98\%$, $Y_{Ni^{2+}} = 28,51\%$).

Отстаивание очищаемой воды в течение 10 суток (рис. 2) приводит к увеличению степени очистки. Наилучшие результаты по очистке воды комбинированным способом от ионов железа, меди и хрома ($Y_{Fe^{2+}} = 99,71\%$, $Y_{Cu^{2+}} = 99,14\%$, $Y_{Cr^{6+}} = 91,41\%$); от ионов кадмия и никеля степень очистки ниже ($Y_{Cd^{2+}} = 73,1\%$, $Y_{Ni^{2+}} = 37,37\%$).

Выводы

Экспериментальные исследования показали, что наибольшая степень очистки воды от всех рассматриваемых ионов металлов достигается комбинированным способом, заключающимся в пропускании через очищаемую воду переменного асимметричного тока с

использованием нерастворимых электродов (нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, титановый сплав ОТ 4-0), введении коагулянта - сернокислого железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в соотношении начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона 2,5:1 и отстаивании воды в течение 10 суток. При этом степень очистки воды равна: от ионов никеля 37,37%, кадмия – 73,1%, хрома – 91,41%, меди – 99,14% и железа – 99,71%. Удельные энергозатраты составляют $W = 0,34$ (кВт·ч)/м³. В то время как при очистке электрохимическим способом с применением нерастворимых электродов и переменного тока удельные энергозатраты составляют 1,5-2 (кВт·ч)/м³.

Список литературы

1. Водное хозяйство промышленных предприятий : справочное издание. В 2-х кн. / Аксенов В.И. [и др.]; под ред. В.И. Аксенова. - М. : Теплотехник, 2005. – Кн. 1. - 640 с.
2. Стрюк А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Фейлер О.В., Сурсяков А.А., Кушнир А.А. Способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов : патент РФ № 2213701. С 02 F 1/46//С 02 F 103:16. Опубл. Б.И. № 28, 10.10.2003.
3. Стрюк А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Фейлер О.В., Сурсяков А.А., Кушнир А.А. Установка очистки воды и водных растворов от анионов и катионов. С. № 18532, С 02 F 1/46. Опубл. Б.И. № 18, 27.06.2001.
4. Шестаков И.Я., Вдовенко В.Г. Способ электрохимической очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов. А.С. №1724591, С 02 F 1/46. Опубл. Б.И. №13 07.04.1992.
5. Шестаков И.Я., Раева О.В., Фейлер О.В. О механизме электрохимической очистки сточных вод переменным током // Вестник СибГАУ. - 2011. - № 1/34. - С. 147-150.
6. Шестаков И.Я., Раева О.В. Электрохимический метод очистки сточных вод переменным током // Техника и технологии. СФУ. - 2011. - № 4/3. - С. 348-355.
7. Шестаков И.Я., Раева О.В., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г. Исследование очистки воды электрохимическим способом в нестационарном электрическом поле с последующей коагуляцией // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. - URL: www.science-education.ru/107-8154.

Рецензенты:

Петров Михаил Николаевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электронная техника и телекоммуникации», Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнева (СибГАУ), г. Красноярск.

Смирнов Николай Анатольевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теоретическая механика»,
Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнева
(СибГАУ), г. Красноярск.