

ПРЕДПОСЫЛКИ ОРГАНИЗАЦИИ, ПРОГРАММА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ СЕКЦИИ «НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ И ИНДУСТРИЯ 4.0» на XXII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

История вопроса

Задачи и перспективы неразрушающего контроля, технической диагностики и мониторинга состояния (НК, ТД и МС) в условиях 4-й промышленной революции и инициативы «Индустрия 4.0» в последнее десятилетие активно обсуждаются в среде специалистов на уровне национальных обществ НК. Одной из первых публикаций на эту тему была статья Питера Тейера [1], в которой был дан прогноз перспектив развития НК и МС на 5, 10 и 20 лет. Оценка достоверности этих прогнозов и анализ развития были сделаны в работе [2]. Русскоязычный вариант этой статьи опубликован в журнале «В мире НК» [3].

Принимая участие в конференциях, организуемых международным и национальными обществами НК, В.А. Сясько, на тот момент член правления, в настоящее время президент Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), заинтересовался задачами и перспективами развития отрасли НК в рамках 4-й промышленной революции и Индустрии 4.0. Начало обсуждения этих проблем в РФ было положено статьей [4].

Последующие изучение этого вопроса показало, что проблемы и задачи, которые стоят перед сферой НК, во многом совпадают с общими вопросами приборостроения и метрологии в целом. В результате проведенного анализа в сентябре 2018 г. в деловой программе выставки «Дефектоскопия 2018» был представлен доклад «Перспективы и вызовы 4-й промышленной революции в метрологии и приборостроении» и написана аналитическая статья [5]. Основные положения этой статьи на русском языке изложены в публикации [6].

В начале 2020 г. была подготовлена статья в журнал Американского общества НК (ASNT) Research in Nondestructive Evaluation для специального выпуска, посвященного Индустрии 4.0, под редакцией Р.Г. Маева. Русскоязычная версия этой статьи вышла в мартовском номере «В мире НК» [7].

В настоящее время наибольшие практические успехи при внедрении новых принципов в рамках концепции НК 4.0 достигнуты в Германии, частности во Фраунгоферовском институте НК (Fraunhofer Institute for Nondestructive Testing IZFP). В Немецком обществе НК (DGZfP) создан экспертный комитет по НК 4.0 со следующими подкомитетами: аддитивное производство, технологии интеллектуальных датчиков, интерфейсы и документация, человеко-машинное взаимодействие, обучение.

На уровне руководителей национальных обществ НК США, Великобритании, России, Канады и КНР принято решение о создании международной рабочей группы при ICNDT по приборостроению, метрологии и стандартизации в рамках направления NDT 4.0.

По результатам проведенного анализа и обсуждений с ведущими специалистами в области НК, приборостроения и метрологии были сформулированы следующие генеральные направления развития, которые касаются не только НК, но носят общий характер для приборостроения и метрологии в целом:

1. Внедрение интеллектуальных датчиков и систем с функциями метрологического самоконтроля, самотестирования и самокалибровки;
2. Метрологическое обеспечение НК как многопараметрических измерений;



3. Верификация и валидация цифровых моделей (двойников);
4. Стандартизация терминологии, методов и технических решений.

Интеллектуальные датчики и интеллектуальные измерительные системы

Методические, технические и законодательные проблемы метрологии в условиях 4-й промышленной революции активно обсуждаются специалистами во всем мире [8–10].

Одним из главных трендов в этой области является внедрение интеллектуальных датчиков и интеллектуальных измерительных систем [11].

Технические и методические основы создания интеллектуальных датчиков и интеллектуальных измерительных систем с функцией самоконтроля, а также методов их метрологического обеспечения были заложены Р.Е. Таймановым, К.В. Сапожниковой и их коллегами во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии им. Д.И. Менделеева [12–16].

Практическим результатом этой работы стало утверждение трех национальных стандартов РФ [17–19].

Наиболее значимым последним достижением в этой области представляется утверждение в 2020 г. Росстандартом как типа средства измерения интеллектуальной измерительной системы ПТК «КМ-Дельта» для филиала ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного», метод метрологического самоконтроля и метод виртуальных испытаний для которой были разработаны во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева [20].

Разработки интеллектуальных датчиков, а также интеллектуальных измерительных систем ведутся также специалистами предприятий Госкорпорации «Росатом» [21–24].

Большая работа в этой области осуществляется сотрудниками и студентами Южно-Уральского государственного университета под руководством и при непосредственном участии ректора университета, д-ра техн. наук, президента Международного научно-технического общества приборостроителей и метрологов А.Л. Шестакова [25, 26]. Следует отметить также работы Омского государственного политехнического университета [27, 28] и ОКБ Московского завода «Физприбор» [29, 30].

Важность этой тематики подтверждается также тем, что на ряде международных форумов были организованы специальные секции, посвященные ей (10th IMEKO TC7 Symposium, Санкт-Петербург, 2004; 8th Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMТII), 2007, Сендай; 9th ISMТII, 2009, Санкт-Петербург; 7th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies, 2010, Stratford-upon-Avon; Международная научно-практическая конференция «175 лет ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений», 2017, Санкт-Петербург – две секции, на каждом из перечисленных мероприятий).

Метрологическое обеспечение НК как многопараметрических измерений

Концепция многопараметрических измерений применялась до настоящего времени в метрологии в основном при измерениях нефизических величин [31–33].

Процесс получения информации методами НК также может рассматриваться как измерение с точки зрения классических подходов метрологии, однако на практике необходимо учитывать множество параметров, от которых зависит результат НК, и которые зачастую невозможно однозначно разделить на информативные и мешающие. Общие ме-

тодические и технические моменты измерений и НК, их различия, а также специфика нормативно-регулирующей области НК подробно проанализированы в работах [34, 35].

В качестве одного из путей решения существующих проблем обеспечения единства измерений при НК предложено рассматривать эти измерения как многопараметрические. Примером такого подхода является разработка во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева распределенного эталонного комплекса для метрологической аттестации мер покрытий, предназначенных для калибровки вихретоковых толщиномеров [36, 37]. Меры нормируются не только по геометрическим, но и по электрофизическим параметрам [38, 39].

Верификация и валидация цифровых моделей (двойников)

Проблема верификации и валидации цифровых моделей сложных физических объектов, а также многопараметрических средств измерения и НК на сегодняшний день стоит крайне остро. Игнорирование этой проблемы, а также необходимости реализации метрологического самоконтроля при разработке методики управления привело в числе других причин к недавним трагическим авариям в авиации. При этом на сегодняшний день отсутствует не только единство методических и организационных подходов в этой области, но и общее понимание самой необходимости такого единства.

Стандартизация

Задачи стандартизации состоят не только в установлении норм и требований к хорошо известным, «рутинным» объектам и процессам. Для активно развивающихся отраслей науки и промышленности важно установить общие подходы и решения, начиная с единства используемой терминологии. Для эффективного развития отрасли приборостроения, в том числе средств измерений и НК, необходимо утвердить общие технические требования для разработки интеллектуальных датчиков и интеллектуальных измерительных систем, универсальные интерфейсы для подключения датчиков и приборов к коммуникационным сетям, форматы представления и протоколы передачи данных и т.д.

Анализ и всестороннее обсуждение перечисленных вопросов привели к осознанию необходимости организации сообщества специалистов в целях обсуждения, выработки и продвижения инициатив для решения перечисленных выше задач, а также популяризации идей и концепций Индустрии 4.0 в приборостроении. Для этого на XXII Всероссий-

ской конференции по неразрушающему контролю и технической диагностике, проходившей в рамках VII Международного промышленного форума «Территория NDT» 3–5 марта 2020 г. в Москве, была организована секция «Не разрушающий контроль, мониторинг состояния и Индустрия 4.0».

Содержание секции «Не разрушающий контроль, мониторинг состояния и Индустрия 4.0»

На секции было представлено 16 докладов, посвященных различным аспектам решения задач приборостроения, стандартизации и метрологии в области НК и МС в эпоху 4-й промышленной революции.

В открывавшем первое заседание секции докладе зарубежного академика РАН, вице-президента РОНКТД профессора Р.Г. Маева (Канада) была представлена система НК качества точечной сварки, в которой воплощены все основные требования Индустрии 4.0: полная автоматизация, контроль в режиме реального времени, наличие функции самоконтроля, использование системы искусственного интеллекта для обработки данных и принятия решения о качестве сварного соединения.

Б. Валеске, руководитель отдела Фраунгоферовского института неразрушающего контроля (IZFP) и председатель технического комитета НК 4.0 Немецкого общества НК (DGZfP), осветил в своем докладе достижения института и направления деятельности общества в развитии концепции NDT 4.0 как составной части Индустрии 4.0.

В докладе президента РОНКТД д-ра техн. наук В.А. Сясько, подготовленном совместно с д-ром техн. наук К.В. Гоголинским, была представлена общая стратегия достижения актуальных целей и решения задач метрологии и приборостроения в области НК, технической диагностики и мониторинга состояния, связанных с тенденциями цифровизации промышленности и экономики.

Представители ВНИИМ им. Д.И. Менделеева Р.Е. Тайманов и К.В. Сапожникова в своем докладе изложили основные тенденции развития метрологии в контексте 4-й промышленной революции.

Доклад ректора Южно-Уральского университета, д-ра техн. наук, профессора, президента Международного научно-технического общества приборостроителей и метрологов А.Л. Шестакова содержал новейшие идеи и концепции применения современных математических методов и вычислительных средств, в том числе технологий искусственного интеллекта, для решения измерительных задач.

Доклад представителя ООО «Газпромнефть-Автоматизация» А.А. Кирьянова был посвящен целям и задачам метрологии в нефтегазодобывающей отрасли в эпоху цифровизации.

В докладах Г.Я. Буймистрюка (ОКБ Московского завода «Физприбор»), А.А. Маркова с соавторами (ОАО «Радиоавионика») и Е.В. Абрамовой (НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им Н.Э. Баумана) были представлены современные многоканальные системы контроля на основе интеллектуальных датчиков, а также методы анализа многопараметрической информации.

Вопросы планирования неразрушающего контроля с использованием риск-ориентированных подходов рассмотрены А.Б. Самохваловым (ООО «ДИАПАК»).

М.А. Ганзеным была представлена концепция мобильного модульного материаловедческого комплекса на основе AR-технологии для нужд образования, производства и неразрушающего контроля, разработанная коллективом авторов из Рыбинского государственного технического университета.

Второе заседание секции было посвящено разработке интеллектуальных датчиков и интеллектуальных измерительных систем, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. Доклады на эту тему представили А.А. Калашников (АО «Русатом Автоматизированные системы управления»), сотрудник ВНИИМ им. Д.И. Менделеева И.Ю. Шмигельский, а также студенты и аспиранты Южно-Уральского государственного университета И.И. Федосов, Ш.Ш. Кодиров, В.В. Сеницин, Е.С. Тугова.

Итоги работы секции.

Организация рабочей группы

По результатам работы секции было принято решение об организации рабочей группы.

Название: Приборостроение, метрология и НК в цифровой экономике.

Цель: развитие перспективных направлений в области приборостроения, метрологии и НК в рамках задач стратегической инициативы Индустрия 4.0.

Задачи

1. Объединение усилий представителей науки, высшей школы, промышленных предприятий и государственных органов.
2. Взаимодействие с международными профессиональными сообществами и организациями.
3. Подготовка специалистов.

Пути решения поставленных задач

1. Разработка и исследование новых принципов построения средств измерений физических величин в области приборостроения.
2. Инициирование работ в области стандартизации.
3. Практическое внедрение новых принципов метрологического обеспечения.

4. Совместные проекты в области высшего образования и повышения квалификации.
5. Публикация научной и учебно-методической литературы.
6. Организация и проведение семинаров и конференций.
7. Продвижение идей Индустрии 4.0 на государственном уровне путем участия в общественных структурах при органах исполнительной власти.

Деятельность рабочей группы

В рамках рабочей группы участники координируют свои действия при организации научных исследований, разработке документов по стандартизации и метрологии, а также при подготовке образовательных программ и учебных пособий.

Состав

Членами рабочей группы могут быть ученые, технические специалисты, работники высшей школы, руководители предприятий, представители органов власти и другие лица, заинтересованные в обмене информацией и развитии перспективных направлений в области приборостроения, метрологии и НК в рамках задач стратегической инициативы Индустрия 4.0.

На момент создания рабочей группы в нее вошли следующие участники:

Р.Г. Маев, зарубежный академик РАН, д-р техн. наук, вице-президент РОНКТД;

А.Л. Шестаков, ректор Южно-Уральского университета, д-р техн. наук, профессор, президент Международного научно-технического общества приборостроителей и метрологов;

В.А. Сясько, д-р техн. наук, президент РОНКТД;

К.В. Гоголинский, д-р техн. наук, член правления, руководитель Комитета по стандартизации и метрологии РОНКТД;

Р.Е. Тайманов, ФГУП «ВНИИМ им Д. И. Менделеева»;

А.А. Кирьянов, руководитель направления по метрологии ООО «Газпромнефть-Автоматизация» (ПАО «Газпром нефть»);

А.А. Калашников, канд. техн. наук, главный эксперт АО «Русатом Автоматизированные системы управления».

В ближайшие планы рабочей группы принято решение включить следующие задачи:

1. Обращение с инициативой в профильные комитеты ISO о разработке международных стандартов на базе ГОСТ Р 8.673–2009, ГОСТ Р 8.734–2011, ГОСТ Р 8.825–2013. Ответственные: В.А. Сясько, К.В. Гоголинский.



2. Подготовка и издание монографии (сборника статей) под рабочим названием «Интеллектуальные датчики и интеллектуальные измерительные системы». Ответственные: редактор Р.Е. Тайманов, издание В.А. Сясько.
3. Обращение в профильные государственные структуры, НИИ, вузы и производственные предприятия с предложением о вхождении в состав рабочей группы.
4. Участие в международной рабочей группе при ICNDT. Ответственный: Р.Г. Маев.

Библиографический список

1. Thayer P. RCNDE industrial members' vision for the future requirements for NDE // *Insight – Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*. 2012. V. 54. No. 3. P. 124–127.
2. Thayer P. Enabling the Fourth Industrial Revolution (4IR) and the role of NDE and monitoring // *Insight – Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*. 2017. V. 59. No. 9. P. 469–472.
3. Тейер П. Неизбежность четвертой промышленной революции и роль НК и мониторинга // *В мире НК*. 2018. Т. 21. № 3. С. 5–8.
4. Сясько В.А. Не разрушающий контроль и вызовы четвертой промышленной революции // *В мире НК*. 2018. Т. 21. № 2. С. 8–12.
5. Gogolinskiy K.V., Syasko V. A. Prospects and challenges of the Fourth Industrial Revolution for instrument engineering and metrology in the field of non-destructive testing and condition monitoring // *Insight – Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*. 2019. V. 61. No. 8. P. 434. URL: <https://doi.org/10.1784/insi.2019.61.8.434>.
6. Гоголинский К.В., Сясько В.А. Метрологическое обеспечение и стандартизация НК в эпоху 4-й промышленной революции // *В мире НК*. 2019. Т. 22. № 1. С. 66–68.
7. Гоголинский К.В., Сясько В.А. От неразрушающего контроля к мониторингу состояния. Тенденции развития цифровой экономики // *В мире НК*. 2020. Т. 23. № 1. С. 4–8.
8. Eichstdt S. PTB Digitalization Strategy // *PTB-Mitteilungen*. 2017. V. 127. Is. 4. P. 40. URL: <https://doi.org/10.7795/310.20170401EN>.
9. Taymanov R., Sapozhnikova K. Metrology challenges of Industry 4.0 // *Journal of Physics: Conf. Series*. 2018. V. 1065. No. 7. P. 072044. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1065/7/072044>.
10. Taymanov R., Pronin A., Sapozhnikova K. et al. Actual measuring technologies of Industry 4.0 and analysis of their realization experience // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2019. V. 1379. No. 1. P. 012049. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1379/1/012049>.
11. Taymanov R., Sapozhnikova K. 1 – What makes sensor devices and microsystems “intelligent” or “smart”? // *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Smart Sensors and MEMs / ed. by S. Nihtianov, A. Luque*. 2nd Ed. Woodhead: Woodhead Publishing, 2018. P. 1–22. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102055-5.00001-2>.
12. Тайманов Р.Е., Сапожникова К.В. Метрологическое обеспечение средств измерительной техники, встраиваемых в оборудование // *Российская метрологическая энциклопедия*. СПб.: Лики России, 2001. С. 260–262.
13. Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е. Интеллектуальные средства измерений и интеллектуальные измерительные системы // *Метрологическая энциклопедия / под ред. В.В. Окрепилова*. 2-е изд. СПб.: Лики России, 2015. С. 145–151.
14. Тайманов Р.Е., Сапожникова К.В. Интеллектуализация встроенных средств контроля как способ повышения надежности оборудования // *Проблемы машиноведения. Точность, трение и износ, надежность, перспективные технологии / под общ. ред. В.П. Булатова*. СПб.: Наука, 2005. С. 421–469.
15. Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е. Методы и средства повышения метрологической надежности // *Метрология и измерительная техника: книга-справочник: в 3 т. Т. 3. Гл. 16 / ред. проф. Х. Радева; пер. с болг. М. Игровой и К. Коджабашевой*. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2016. С. 691–748.
16. Sapozhnikova K., Pronin A., Druzhinin I., Taymanov R. Metrological self-check as a perspective trend of techn-

- cal diagnostics // 14th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics 2016: New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for Systems Reliability, Maintainability and Safety 14. 2016. P. 181–186. URL: https://www.researchgate.net/publication/305220096_Metrological_self-check_as_a_perspective_trend_of_technical_diagnostics
17. ГОСТ Р 8.673–2009 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2019.
 18. ГОСТ Р 8.734–2011 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. М.: Стандартинформ, 2019.
 19. ГОСТ Р 8.825–2013 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы ускоренных испытаний. М.: Стандартинформ, 2019.
 20. ВНИИМ им. Д.И. Менделеева – гидроэнергетике // Новости института метрологии имени Д.И. Менделеева. URL: https://www.vniim.ru/news_528.html
 21. Лункин Б.В., Калашников А.А. Диагностирование измерительных каналов с гидростатическими уровнями // Датчики и системы. 2019. № 10 (240). С. 32–37.
 22. Калашников А.А. On-line мониторинг измерительных каналов уровня с датчиками разности давлений на АЭС. Ч. 1. Математическая модель контрольного датчика // Контроль. Диагностика. 2016. № 4. С. 40–46.
 23. Калашников А.А. On-line мониторинг измерительных каналов уровня с датчиками разности давлений на АЭС. Ч. 2. Градуировочные характеристики // Контроль. Диагностика. 2016. № 5. С. 31–35.
 24. Kalashnikov A.A. Readings correction and on-line monitoring of fluid level measuring channels at NPP, Joint IMEKO TC1-TC7-TC13-TC18 Symposium 2019 // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1379. No. 1. P. 012069. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1379/1/012069>.
 25. Япарова Н.М., Белоусов М.Д., Шестаков А.Л. Использование регуляризующего алгоритма для определения коэффициентов в задаче оценки собственного состояния термометров сопротивления // Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2012. Вып. 17. С. 45–49.
 26. Shestakov A. L., Ibrayeva O. L., Iosifov D. Yu. Optimal adjustment of correction device of measuring transducer with partially known characteristics of signals // Journal of Physics: Conf. Series. 2018. V. 1065. No. 21. P. 212005. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1065/21/212005>.
 27. Ионов А.Б., Чернышева Н.С., Ионов Б.П., Плоткин Е.В. Интеллектуализация прибора как способ минимизации влияния человеческого фактора при бесконтактных температурных измерениях // Приборы. 2014. № 6 (168). С. 1–10.
 28. Ионов А.Б. Метрологические проблемы пирометрии: анализ и перспективы преодоления // Измерительная техника. 2013. № 6. С. 42–45.
 29. Буймистриук Г.Я. Принципы построения интеллектуальных волоконно-оптических датчиков // Фотон-экспресс. 2011. № 6(94). С. 38–39.
 30. Buymistryuk G. Experience of developments and applications of intelligent optical fiber sensors in industries of Russia // Proc. SPIE 8351, 3rd Asia Pacific Optical Sensors Conference. 2012. P. 83513A. URL: <https://doi.org/10.1117/12.913548>.
 31. Тайманов Р.Е., Сапожникова К.В. Измерения многопараметрических нефизических величин // Приборы. 2017. № 10 (208). С. 40–45.
 32. Sapozhnikova K., Taymanov R. Models for measurements of multidimensional quantities // XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry". 2015. V. 21. URL: https://www.researchgate.net/publication/283351671_Models_for_measurements_of_multidimensional_quantities.
 33. Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е. Измерения как основа формирования новых знаний // Метрология и измерительная техника: книга-справочник: в 3 т. Т. 3. Гл. 17 / ред. проф. Х. Радева, пер. с болг. М. Иговой и К. Коджабашевой. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2016. С. 749–780.
 34. Gogolinskii K.V., Syasko V.A. Actual metrological and legal issues of non-destructive testing // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V. 1379. No. 1. P. 012045. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1379/1/012045>.
 35. Гоголинский К.В., Сясько В.А. Современное состояние и проблемы законодательного регулирования, метрологического обеспечения и стандартизации в области неразрушающего контроля // Законодательная и прикладная метрология. 2019. № 4 (161). С. 15–21.
 36. Golubev S.S., Syasko V.A., Smirnova N.I., Gogolinskii K.V. Phase-sensitive eddy-current method of metallic coating thickness measurement. On question of calibration and verification of coating thickness gauges and metallic coating thickness standards // Proc. 55th Annual Conf. of the British Institute of Non-Destructive Testing (NDT 2016) (Nottingham, UK). Nottingham, 2016. P. 166–174.
 37. Голубев С.С., Смирнова Н.И., Складановская М.И. Обеспечение единства измерений толщины металлических покрытий вихретоковыми фазовыми толщинойномерами при их градуировке и поверке // Измерительная техника. 2017. № 6. С. 25–28.
 38. Сясько В.А., Голубев С.С., Смородинский Я.Г. и др. Измерение электромагнитных параметров мер толщины металлических покрытий // Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 25–36.
 39. Сясько В.А., Голубев С.С., Смородинский Я.Г. и др. Измерение магнитной проницаемости монолитных кольцевых мер в переменном магнитном поле // Дефектоскопия. 2019. № 11. С. 45–51.

*Материал подготовил
ГОГОЛИНСКИЙ Кирилл Валерьевич,
д-р техн. наук,
Санкт-Петербургский горный университет,
ООО «Константа»,
Санкт-Петербург*