



Интеллектуальный  
многофункциональный  
3D-сканер

# AM.TECH KSCAN E

Метрологические  
3D-сканеры  
для промышленности:  
контроль геометрии  
и точность измерений



**AM.TECH**  
Технологии Аддитивного Производства

Как добиться технологического  
лидерства в обеспечении  
единства измерений

Инновация в системе  
подготовки  
инженеров-метрологов

Зарубежный опыт:  
интеллектуальная  
метрология сегодня



**№ 1 / 2026**  
[www.ria-stk.ru/mi](http://www.ria-stk.ru/mi)



ВАК  
DOI: 10.35400  
РИНЦ Science Index

ISSN 1813-8667



9 771813 866008 >





© ООО «РИА «Стандарты  
и качество»



© Общероссийская  
общественная организация  
«Всероссийская  
организация качества»

**РЕДАКЦИЯ**

**Главный редактор**

Т.В. Шавина  
Тел.: (909) 663 8233  
E-mail: t.shavina@mail.ru

**Шеф-редактор**

А.И. Анискин

**Верстка**

В.В. Боткина

**Корректор**

Л.А. Асанова

**Переводчик**

А.Н. Москвичева

**Издатель**

ООО «РИА «Стандарты и качество»

**Генеральный директор**

С.С. Антонова

**Председатель Совета директоров,  
Исполнительный директор**

А.И. Анискин

Тел.: (495) 771 6653

E-mail: a.aniskin@mirq.ru

**Главный редактор издательства**

Т.В. Киселева

**Ответственный секретарь издательства**

Н.Р. Варфоломеева

**Руководитель международных программ**

**РИА «Стандарты и качество»**

Д.И. Ярцев

**Директор по связям с общественностью**

М.А. Жукова

**Начальник отдела продаж (подписка)**

О.В. Абрамова

**Менеджеры по работе с клиентами**

С.Н. Черемухина, О.В. Козмина

Тел.: (495) 258 8436

E-mail: podpiska@mirq.ru

**Начальник отдела маркетинга**

А.И. Колесников

**Менеджеры**

В.М. Агаджанов, О.С. Полихина

Тел.: (495) 771 6652

E-mail: reklama@mirq.ru

**Адрес издателя и редакции**

115280, Москва, ул. Мастеркова, д. 4,

15-й этаж, пом. 1, ком. 8–13

РИА «Стандарты и качество»

Тел.: (495) 771 6652

E-mail: mi@mirq.ru

**Интернет-магазин**

www.ria-stk.ru

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС 77-33231 от 26.09.2008



ISSN 1813-8667

WWW.RIA-STK.RU/MI

При перепечатке материалов ссылки на журнал

и его электронную версию обязательны.

Редакция не несет ответственности

за содержание рекламы.

Дата выхода 10.03.2026.

Бумага мелованная матовая 130 г.

Формат 60x90/8.

Журнал выпускается в печатной

и электронной версиях.

Плановый тираж 4 700 экз.

(печатный + электронный).

Средняя аудитория номера ~ 12 925 читателей.

Свободная цена. Заказ №. 376428

Отпечатано в типографии

«Вива-Стар». 107023, Москва,

ул. Электровзводская, д. 20.

Использованы изображения: www.iStock.com

© ООО «РИА «Стандарты и качество», 2026 г.



**1 (211) 2026**

**ЮБИЛЕИ: ЖУРНАЛУ «МИР ИЗМЕРЕНИЙ» – 25 ЛЕТ**

А.Н. Пронин

«Мир измерений» – надежный партнер ..... 1

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Е.И. Резникова

Совещание главных метрологов ТЭК ..... 4

**СЛОВО ПРЕДОСТАВЛЯЕТСЯ**

А.С. Кривов

Технологические вызовы прикладной метрологии ..... 8

**В НАУЧНОМ СОВЕТЕ РАН ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ И СТАНДАРТИЗАЦИИ**

Отвечать на «измерительные вызовы» ..... 9

**ВОПРОС ЭКСПЕРТУ**

Как добиться технологического лидерства в обеспечении единства измерений ..... 10

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

А.Н. Кравцов, С.М. Молдованова, М.В. Окрепилов

Инновация в системе подготовки инженеров-метрологов ..... 13

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ**

В.А. Грушников

Интеллектуальная метрология сегодня ..... 19

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

А.В. Лошак

Метрологические 3D-сканеры для промышленности: контроль геометрии и точность измерений ..... 24

**КВАНТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

В.Ф. Фатеев

Состояние и перспективы развития квантовых навигационных сенсоров (окончание) ..... 29

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ю.А. Барбар, В.С. Перетягин, М.А. Рысков, Д.Е. Щур, К.А. Томский

Перспективы развития эталонов относительной влажности ..... 34

**ЭТАЛОНЫ**

В МГУ обсудили будущее эталонной базы ..... 39

**ТЕРМОМЕТРИЯ**

В.В. Власова

Оценка остаточной нелинейности шкалы мощности ДСК ..... 40

**ИЗМЕРЕНИЯ В ДВИЖЕНИИ**

М.С. Сединов

Как сцепка вагонов влияет на измерение массы? ..... 44

**НОВОСТИ ФБУ «ТЕСТ-С.- ПЕТЕРБУРГ»**

ИИ на службе метрологии ..... 49

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

В.А. Соколов, Я.И. Пимушкин

Повышение точности многокоординатных систем ..... 50

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ**

О.Ю. Халилов, Д.А. Ахадова

На пути интеграции в глобальную экономику ..... 54

**«МИРУ ИЗМЕРЕНИЙ» 25 ЛЕТ: ПО СТРАНИЦАМ ПРЕЖНИХ ПУБЛИКАЦИЙ**

Н.П. Муравская

Состояние и перспективы развития метрологического обеспечения в области здравоохранения

и производства медицинской техники ..... 60

**ГОСРЕЕСТ**

Об утверждении типов средств измерений ..... 66

**КОНКУРСЫ**

А.А. Неклюдова, П.К. Сергеев, А.А. Тумилович, А.А. Пименова, А.О. Щипалкина

Молодые метрологи КООМЕТ и СНГ: от конкурса к профессиональному сообществу ..... 70

**ВЕЛИКОЕ ПРОШЛОЕ**

О.Ю. Тюшевская

«Чтобы уберечь страну от катастроф...» ..... 74

**БИБЛИОТЕКА МЕТРОЛОГА И ПРИБОРОСТРОИТЕЛЯ**

..... 79

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ**

Уважаемые читатели журнала «Мир измерений»! Подписка на 2026 год осуществляется через подписное агентство

ООО «Агентство «Урал-Пресс» либо в издательстве РИА «Стандарты и качество».

Справки по телефону: 8 (495) 258-84-36. E-mail: podpiska@mirq.ru

Реклама в номере: ООО «НПО «ЗД-Интеграция» – 1–2 с. обл. + клапан • ООО «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ» – 3–4 с. обл. + клапан • ООО «НОВОТЕКС СИСТЕМС» – шмуцтитул № 1 + клапан • ООО «НОРГАУ РУССЛАНД» – шмуцтитул № 2 + клапан • ЧУ «СЦ «ВНИИГАЗ-СЕРТИФИКАТ» – шмуцтитул № 3 • ООО «ПКФ Цифровые приборы» – с. 6–7 • ООО «РИА «Стандарты и качество» – с. 12, 33.



«...Ни капиталу, ни грубой силе,  
ни своему достатку я ни на йоту... не служил,  
а только старался... дать плодотворное  
промышленно-реальное дело своей стране  
в уверенности, что политика, устройство,  
образование и даже оборона страны  
ныне без развития промышленности  
немыслимы».

Д.И. Менделеев



## НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА «МИР ИЗМЕРЕНИЙ»

**В.Н. Крутиков**, председатель Научно-редакционного совета журнала «Мир измерений», докт. техн. наук, действительный член Метрологической академии, главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИОФИ», Москва

**В.А. Агулов**, докт. техн. наук, действительный член Метрологической академии, заместитель генерального директора по качеству ЗАО «ТПК «ЛИНКОС», Москва

**В.Н. Бас**, докт. экон. наук, вице-президент Метрологической академии, генеральный директор ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест», председатель Совета директоров ФБУ ЦСМ Росстандарта ЦФО РФ, Москва

**А.В. Белинский**, докт. физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

**А.А. Богоявленский**, докт. техн. наук, почетный метролог, член-корреспондент Метрологической академии, главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА, Москва

**Ф.В. Бульгин**, докт. техн. наук, действительный член Метрологической академии, советник первого заместителя генерального директора ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест», Москва

**А.Г. Грабарь**, канд. техн. наук, доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (СПб ГУАП), член-корреспондент Метрологической академии, Санкт-Петербург

**А.А. Данилов**, докт. техн. наук, профессор, действительный член Метрологической академии, почетный метролог, директор ФБУ «Пензенский ЦСМ», г. Пенза

**С.И. Донченко**, докт. техн. наук, профессор, действительный член Метрологической академии, генеральный директор ФГУП «ВНИИФТРИ», Москва

**Н.Д. Звягин**, председатель Объединенного комитета по эталонам КООМЕТ, руководитель отдела международных работ и международного сотрудничества по метрологии, стандартизации ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург

**Д.А. Кузнецов**, заместитель начальника Управления государственной политики в области технического регулирования, стандартизации и обеспечения единства измерений Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Москва

**А.В. Латышев**, академик РАН, докт. физ.-мат. наук, директор Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

**Н.П. Муравская**, докт. техн. наук, действительный член Метрологической академии, профессор кафедры «Биомедицинские технические системы» факультета «Биомедицинская техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

**А.Н. Пронин**, почетный работник науки и высоких технологий Российской Федерации, член Научного совета РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации, действительный член Метрологической академии, член Научно-экспертного совета Морской коллегии Российской Федерации, генеральный директор ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург

**М.В. Родин**, владелец Группы компаний i3D, Москва

**В.М. Фуксов**, заместитель руководителя лаборатории эталонов и научных исследований в области термометрии ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, главный научный секретарь Метрологической академии, Санкт-Петербург

**А.С. Чуев**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика» факультета «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

**Г.В. Шувалов**, канд. техн. наук, член-корреспондент Метрологической академии, директор Западно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Новосибирск

**ВАК** Журнал «Мир измерений» включен в перечень рецензируемых изданий ВАК по специальностям: 2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений), (технические науки), (физико-математические науки). 2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки). Журнал входит в базу данных РИНЦ на платформе Elibrary.ru DOI: 10.35400

**ВАК** Журнал «Мир измерений» по решению Узбекского агентства по техническому регулированию при Кабинете Министров Республики Узбекистан включен в перечень зарубежных научных журналов ВАК Республики Узбекистан по дисциплине «Технические науки».

## “MEASUREMENTS WORLD” JOURNAL IS 25 YEARS OLD

A.N. Pronin

“Measurements World” is a reliable partner..... 1

## IMPORT SUBSTITUTION OF MEASURING EQUIPMENT

E.I. Reznikova

Meeting of chief metrologists of the fuel and energy complex ..... 4

## THE FLOOR IS GIVEN TO

A.S. Krivov

Technological challenges in applied metrology ..... 8

## IN THE SCIENTIFIC COUNCIL FOR METROLOGICAL SUPPORT AND STANDARDIZATION, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

To address “measurement challenges” ..... 9

## QUESTION TO EXPERT

How to achieve technological leadership in ensuring the uniformity of measurements ..... 10

## METROLOGICAL EDUCATION

A.N. Kravtsov, S.M. Moldovanova, M.V. Okrepilov

Innovation in the training system for metrological engineers ..... 13

## FOREIGN EXPERIENCE

V.A. Grushnikov

Intelligent metrology today ..... 19

## METROLOGICAL EQUIPMENT

A.V. Loshak

Metrological 3D scanners for industry: geometry control and measurement accuracy ..... 24

## QUANTUM MEASUREMENTS

V.F. Fateev

Status and development prospects for quantum navigation sensors (ending) ..... 29

## METROLOGICAL ASSURANCE

Yu.A. Barbar, V.S. Peretyagin, M.A. Ryskov, D.E. Shchur, K.A. Tomsky

Prospects for development of relative humidity standards ..... 34

## REFERENCE STANDARDS

The future of the reference base was discussed at Moscow State University ..... 39

## THERMOMETRY

V.V. Vlasova

Accounting for the residual nonlinearity of the DSC power scale ..... 40

## WEIGH-IN-MOTION

M.S. Sedinov

How does wagon coupling affect mass measurement? ..... 44

## NEWS FROM “TEST-ST. PETERSBURG”

AI at the service of metrology ..... 49

## MEASUREMENTS AUTOMATION

V.A. Sokolov, Ya.Ig. Pimushkin

Accuracy improvement for multi-axis systems ..... 50

## METROLOGICAL SUPPORT: INTERNATIONAL EXPERIENCE

O.Yu. Khalilov, D.A. Akhadova

Towards integration into global economy ..... 54

## “MEASUREMENTS WORLD” IS 25 YEARS OLD: SCROLLING THROUGH PREVIOUS PUBLICATIONS

N.P. Muravskaya

The state and prospects for developing metrological support in healthcare and medical equipment production ..... 60

## APPROVED TYPES OF MEASURING INSTRUMENTS

..... 66

## COMPETITIONS

A.A. Neklyudova, P.K. Sergeev, A.A. Tumilovich, A.A. Pimenova, A.O. Shchipalkina

COOMET and CIS young metrologists: from contest to professional community ..... 70

## GREAT HISTORY

O.Yu. Tyushevskaya

“To protect the country from disasters...” ..... 74

## LIBRARY OF METROLOGIST AND INSTRUMENT MAKER

..... 79

### FOR THE ATTENTION OF SUBSCRIBERS

Dear readers of Measurements World Journal! Subscription for 2026 is through Ural-Press Agency or RIA Standards and Quality publishing house. Information by phone: 8 (495) 258-84-36. E-mail: podpiska@mirq.ru

**Subscribe**

Mir izmereniy (Measurements World)

In Russia, CIS, Baltic states  
Rospechat Agency  
www.rosp.ru

In other countries  
MK-Periodica Agency  
www.periodicals.ru

# Перспективы развития эталонов относительной влажности

## Prospects for development of relative humidity standards

Ю.А. Барбар, В.С. Перетягин, М.А. Рысков, Д.Е. Щур, К.А. Томский

Поддержание метрологической прослеживаемости и обеспечение высокой точности измерений относительной влажности – задачи, требующие постоянного развития средств измерений. В этой сфере ключевую роль играют рабочие эталоны, служащие первичными референсными средствами для калибровки и поверки. Научно-техническое предприятие «ТКА» внесло значительный вклад в развитие метрологического обеспечения, предлагая рынку инновационные решения. Настоящая статья посвящена перспективным разработкам эталонов относительной влажности, производимых ООО «НТП «ТКА», и их роли в преодолении существующих ограничений.

### Введение

Задача измерения и контроля влажности газовых сред имеет большое значение как для научных исследований, так и для практического применения в народном хозяйстве. Влагосодержание в газе является существенным параметром, влияющим на качество и характеристики высокотехнологичных технических и промышленных процессов. Для количественной характеристики этого параметра существует ряд физических величин, среди которых наиболее распространенными являются: абсолютная влажность, молярная (объемная) доля влаги, объемное влагосодержание, температура точки росы и относительная влажность [1].

Для точного определения и постоянного мониторинга влажности в газовых средах применяются специальные приборы – гигрометры. Их работа основана на различных

физических принципах, и каждый метод измерения обладает своими сильными сторонами, которые делают его предпочтительным для определенных условий и задач [2]. Среди наиболее распространенных и активно применяемых в современной практике методов можно выделить конденсационный, емкостный, резистивный и кулонометрический, а также оптические методы, основанные на анализе поглощения инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) излучения.

По инициативе специалистов Всероссийского научно-исследовательского института метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ) ведется работа над созданием инновационного транспортируемого измерителя относительной влажности. Современные солевые гигростаты (рис. 1), несмотря на свою функциональность, имеют ряд существенных ограничений,

которые разработчики ВНИИМ стремятся преодолеть.

**Зависимость от вспомогательного оборудования.** Существующие гигростаты требуют наличия термометра или эталонного гигрометра для корректной работы, что усложняет их использование и увеличивает стоимость.

**Дополнительная погрешность от температуры.** Изменение температуры окружающей среды может вносить дополнительную погрешность в показания, что требует тщательного контроля температурного режима.

**Однократное применение растворов.** Насыщенные солевые растворы в традиционных гигростатах часто имеют ограниченный срок службы и требуют периодической замены, что увеличивает эксплуатационные расходы.

**Длительное время измерений.** Проведение калибровки одного датчика может занимать значительное



Для цитирования: Барбар Ю.А., Перетягин В.С., Рысков М.А., Щур Д.Е., Томский К.А. Перспективы развития эталонов относительной влажности // Мир измерений. – 2026. – № 1. – С. 34–38.

For citation: Barbar Yu.A., Peretyagin V.S., Ryskov M.A., Shchur D.E., Tomsky K.A. Prospects for development of relative humidity standards. *Mir izmereniy* [Measurements World], 2026, no. 1, pp. 34–38 (in Russian).

**Ключевые слова:** диодно-лазерная спектроскопия, гигрометр, метрология, оптика, относительная влажность, солевой гигростат, эталон.

**Keywords:** diode laser spectroscopy, hygrometer, metrology, optics, relative humidity, salt hygrometer, standard.



Рис. 1. Примеры солевых гигростатов

время, что снижает эффективность работы.

Главная цель данной разработки заключается в создании отечественного эталонного солевого гигростата, который будет функционировать автономно, без необходимости использования вспомогательных средств измерений, таких как термометр или эталонный гигрометр. Это позволит проводить поверку и калибровку средств измерений относительной влажности непосредственно на месте их эксплуатации, что значительно упростит и ускорит процесс. Разрабатываемый прибор обещает стать настоящим прорывом благодаря следующим характеристикам.

**Широкий диапазон воспроизведения относительной влажности.** От 11 до 95 (98)% – это позволяет охватить практически все потребности в калибровке гигрометров.

**Высокая точность.** Погрешность воспроизведения относительной влажности не хуже  $\pm 1,0\%$ , что гарантирует надежность и достоверность результатов.

**Многофункциональность.** Наличие пяти рабочих солевых ячеек с насыщенным раствором соли и одной ячейки для пробоподготовки обеспечивает удобство использования.

**Стабильность температурного режима.** Нестабильность поддержания температуры в солевой ячейке не хуже  $\pm 0,1\text{ }^\circ\text{C}$ , а поддерживаемая

температура в рабочем объеме составляет  $20 \pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$ , что минимизирует влияние температурных флуктуаций.

**Быстрый выход на режим.** Время выхода на рабочий режим не более 30 мин – это значительное сокращение времени, затрачиваемого на подготовку к работе.

**Широкие условия эксплуатации.** Прибор способен работать в диапазоне температур окружающей среды от  $-30$  до  $+40\text{ }^\circ\text{C}$ , что делает его универсальным для различных климатических условий.

Специалисты НТП «ТКА» разработали прототип солевого эталонного гигростата. Компьютерная модель прототипа солевого эталонного гигростата, а также компьютерная модель его солевой ячейки представлены на рисунке 2.

Прототип солевого эталонного гигростата был верифицирован во ВНИИМ. В рамках верификации были проведены исследования, направленные на оценку стабильности насыщенных солевых растворов как во временном аспекте, так и под воздействием различных температур [3, 4].

Результаты этих исследований представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

В числе перспективных направлений НТП «ТКА» выделяется разработка лазерного гигрометра, предназначенного для обеспечения высокой точности и надежности измерений влажности газов.

Фундаментальным ограничением большинства приборов для анализа газовых сред является принцип их работы, предполагаю-

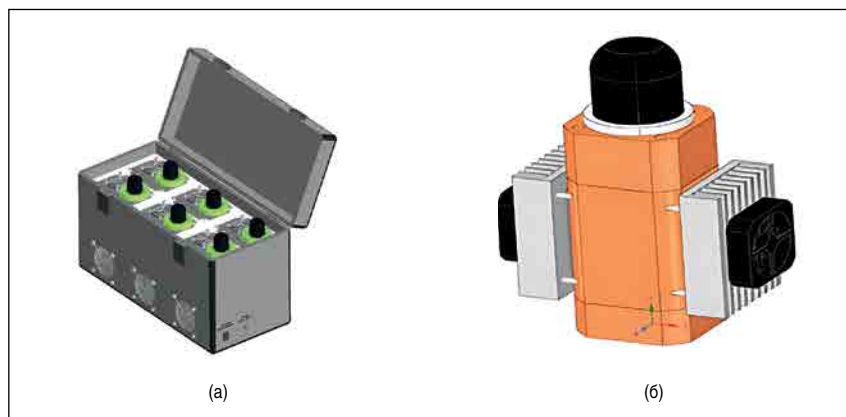


Рис. 2: а – прототип солевого эталонного гигростата; б – модель солевой ячейки эталонного гигростата

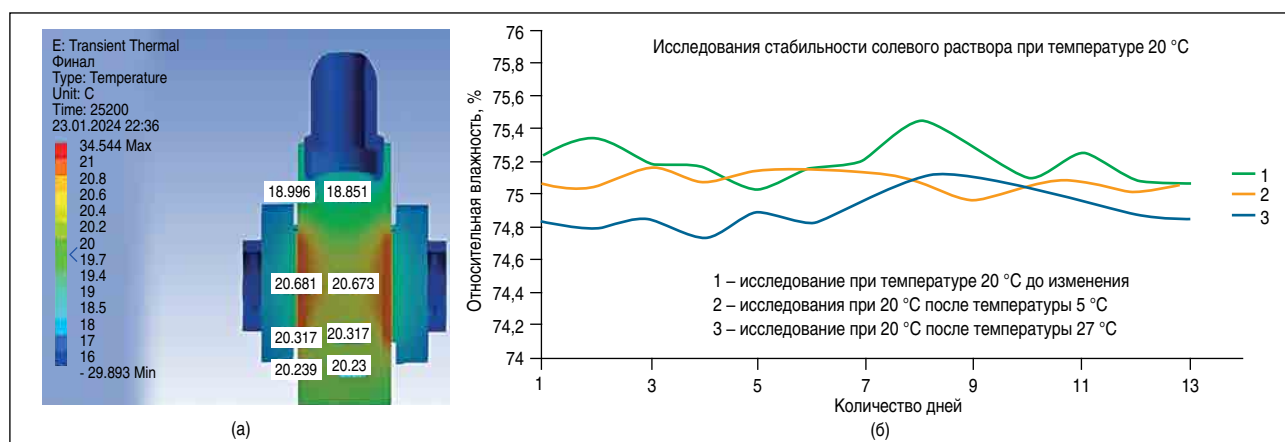


Рис. 3: а – тепловая модель солевой ячейки; б – результаты исследования стабильности насыщенных солевых растворов по времени и после воздействия различных температур

щий контакт чувствительного элемента с измеряемой средой. Взаимодействие чувствительного элемента с компонентами газа приводит со временем к его деградации и изменению характеристик. Этот эффект усиливается в агрессивных и загрязненных средах, а также при повышенных температурах, что требует регулярной калибровки и замены чувствительного элемента. Кроме того, ограниченная селективность таких приборов, т.е. их чувствительность к различным компонентам газовой смеси, может приводить к значительным погрешностям измерений.

Разрабатываемый лазерный гигрометр представляет собой усовершенствованную версию оптического гигрометра для определения абсолютной влажности газов, защищенного патентом № RU37416U1<sup>1</sup>. В отличие от оптического гигрометра, использующего источник вакуумного ультрафиолетового излучения (121,6 нм) и солнечно-слепой фотоприемник, в новой версии прибора используется более современная, доступная и надежная техно-

Таблица 1. Результаты исследований характеристик насыщенных растворов солей

№ п/п	Исследуемое вещество	Справочное значение, %	Экспериментальное значение, %
1	LiCl	11,1 ± 0,2	11,2 ± 0,2
2	CaCl <sub>2</sub>	28,8 ± 0,7	29,3 ± 0,3
3	MgCl <sub>2</sub>	32,7 ± 0,6	32,8 ± 0,5
4	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	52,9 ± 0,8	55,1 ± 0,5
5	KCl	84,3 ± 0,3	84,3 ± 0,3
6	CsCl	65,8 ± 0,7	67,6 ± 0,5
7	NaCl	75,3 ± 0,2	75,3 ± 0,2
8	MnSO <sub>4</sub>	87,0 ± 0,8	87,0 ± 0,5
9	KNO <sub>3</sub>	93,58 ± 0,55	94,2 ± 0,5

логия диодно-лазерной спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне.

В основе лазерного гигрометра лежит оптический модуль ТКА-ВОМ (рис. 4), содержащий полупроводниковый лазер, излучающий на длине волны 1,4 мкм, соответствующей линии поглощения H<sub>2</sub>O<sup>2</sup>. Селективность гигрометра обусловлена выбором данной линии, свободной от спектральных наложений других компонентов исследуемого газа, что позволяет регистрировать поглощение света исключительно молекулами воды.

Чтобы добиться большей чувствительности метода, была увеличена эффективная длина взаимодействия лазерного луча с исследуемым газом. Для этого исследуемый газ поместили внутрь оптического резонатора, что позволило лазерному лучу многократно проходить через вещество. В качестве резонатора была использована двухзеркальная многоходовая кювета Пфунда, выбор которой обусловлен ее высокой светосилой при компактных размерах, простой конструкцией и отсутствием астиг-

матизации. В основе лазерного гигрометра лежит оптический модуль ТКА-ВОМ (рис. 4), содержащий полупроводниковый лазер, излучающий на длине волны 1,4 мкм, соответствующей линии поглощения H<sub>2</sub>O<sup>2</sup>. Селективность гигрометра обусловлена выбором данной линии, свободной от спектральных наложений других компонентов исследуемого газа, что позволяет регистрировать поглощение света исключительно молекулами воды.

<sup>1</sup> Патент № RU37416U1. Оптический гигрометр для определения абсолютной влажности газов: Томский К.А., Козлов М.Г.; опубл. 20.04.2004.

<sup>2</sup> Патент №RU216708U1. Оптический инфракрасный модуль для селективного определения концентрации аммиака в потоке выдыхаемого воздуха: Перетягин В.С., Боровков Д.А., Баев С.С., Онишков А.В.; опубл. 22.03.2004. Бюл. № 6.

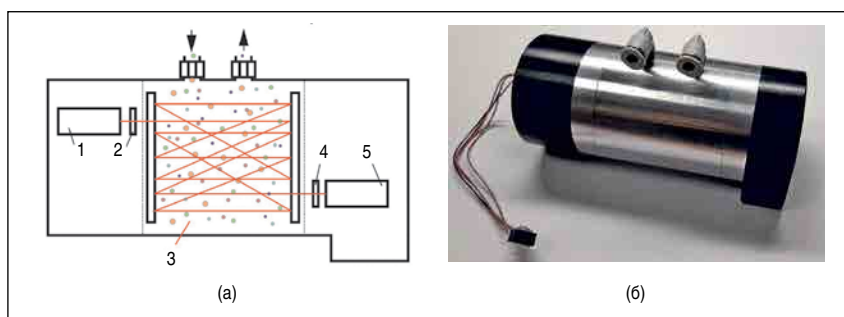


Рис. 4: а – структурная схема оптического модуля: 1 – полупроводниковый лазер; 2 – фокусирующая линза; 3 – многоходовая кювета; 4 – плоское кварцевое стекло; 5 – фотодиодный модуль; б – изображение оптического модуля

матизма благодаря центрированной оптической схеме.

Для точной настройки положения лазерного луча в многоходовой кювете применялся метод визуализации траектории с использованием соосного лазерного диода, излучающего в видимом диапазоне. Паттерн переотражений, возникающий на зеркалах кюветы после настройки, служил индикатором оптического пути, проходимого излучением.

Разрабатываемый лазерный гигрометр обеспечивает прямое измерение концентрации молекул воды в рабочем объеме. Он анализирует поглощение излучения на определенной длине волны, сравнивая интенсивность входящего и выходящего потоков. На основе этого сравнения и известных физических констант прибор вычисляет концентрацию воды, не требуя предварительной калибровки. Полученное значение, выраженное в ppm, затем используется для расчета влагосодержания в других единицах ( $\text{г}/\text{м}^3$ ) и определения точки росы при заданных условиях давления и температуры.

Ожидаемые характеристики разрабатываемого лазерного гигрометра следующие.

**Широкий диапазон измерения точки росы.** От  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  до темпера-

туры окружающей среды позволяет использовать прибор в различных климатических условиях.

**Высокая точность измерений.**  $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  в диапазоне от  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  до температуры окружающей среды.  $\pm 1,5\text{ }^\circ\text{C}$  в диапазоне от  $-60$  до  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Гибкий расход газа.** От  $0,5$  до  $3\text{ дм}^3/\text{мин}$  позволяет адаптировать прибор к различным требованиям по скорости потока газа.

**Устойчивость к условиям эксплуатации.** Температура окружающей среды: от  $-30$  до  $+50\text{ }^\circ\text{C}$ . Важно отметить, что для обеспечения точности измерений температура подводящего трубопровода должна быть как минимум на  $5\text{ }^\circ\text{C}$  выше предполагаемой температуры точки росы. Относительная влажность окружающего воздуха: до  $98\%$  при  $+35\text{ }^\circ\text{C}$ . Это гарантирует надежную работу прибора даже в условиях высокой влажности и сотрудничество с потенциальными пользователями лазерного гигрометра.

### Ключевые результаты и выводы исследования

1. В Российской Федерации находится в обращении значительное количество термогигрометров – до 1 млн единиц. Для обеспечения их метрологических характеристик и поддержания в рабочем со-

стоянии необходимы **разнообразные типы эталонов относительной влажности.**

2. Особую актуальность приобретает **разработка мобильных и переносных эталонов**, которые позволят проводить калибровку и поверку приборов непосредственно на месте их эксплуатации, минимизируя логистические издержки и время простоя.

3. **Проведены исследования стабильности и воспроизводимости солевых растворов.** В рамках исследования была проведена глубокая проработка стабильности и воспроизводимости относительной влажности, создаваемой насыщенными солевыми растворами. Полученные данные позволили уточнить справочные значения этих растворов, что является фундаментальным шагом для повышения точности эталонных измерений. Эти результаты служат надежной основой для дальнейшего развития методов генерации и поддержания заданного уровня влажности.

4. **Разработана универсальная солевая ячейка.** Созданная конструкция солевой ячейки обладает значительным практическим преимуществом – возможностью использовать большинство погружных датчиков относительной влажности. Это расширяет сферу применения разработанной технологии и делает ее более универсальной для метрологических служб и лабораторий, работающих с различными типами измерительных приборов.

5. **Сформированы требования к транспортируемому эталону.** На основе проведенного анализа и практических соображений были сформированы четкие требования к разрабатываемой конструкции транспортируемого эталона относительной влажности. Эти требования охватывают такие аспекты, как над-

ежность, точность, портативность, простота использования и устойчивость к внешним воздействиям, что является критически важным для создания эффективного и надежного метрологического инструмента.

**6. Разработан оптический модуль на основе диодно-лазерной спектроскопии.** Прорывным результатом исследования является разработка конструкции оптического модуля на основе диодно-лазерной спектроскопии. Данная технология открывает путь к созданию бесконтактного гигрометра, способного обеспечивать высокоселективное и достоверное измерение концентрации паров воды в газовых потоках. Этот подход имеет огромный потенциал для применения в различных отраслях, где требуется точный мониторинг влажности без прямого контакта с измеряемой средой.

### Обсуждения и перспективы

Результаты работы НТП «ТКА» оказали существенное влияние на прогресс в области метрологии относительной влажности. Инициатива компании по созданию новых типов рабочих эталонов относительной влажности была встречена с большим энтузиазмом и получила широкое одобрение специалистов в ходе круглого стола «Современные тенденции и перспективы развития гигрометрии в Российской Федерации», прошедшего в рамках Международного метрологического форума и выставки «Метрология без границ 2025» в Центре международной торговли в Москве. Это свидетельствует о том, что предложенные решения являются крайне актуальными и востребованными в научном и практическом сообществе.



### Список использованных источников

1. Пеклер В.В., Мамонтов Г.М. Состояние и перспективы развития гигрометров и средств их метрологического обеспечения // Научное приборостроение. – 2003. – Т. 13. – № 3. – С. 12–18.
2. Берлинер М.А. Задачи и тенденции развития гигрометрии // Измерительная техника. – 1982. – № 9. – С. 44.
3. Александров Н.Ю. Средства поверки датчиков влажности непрерывного контроля // Мир измерений. – 2025. – № 2. – С. 44–48.
4. Барбар Ю.А., Перетягин В.С., Рысков М.А. и др. Эталоны относительной влажности производства «ТКА» // Мир измерений. – 2025. – № 4. – С. 44–47.

### References

1. Pekler V.V., Mamontov G.M. Current state and future trends in the development of hygrometers and their metrological support. *Nauchnoye priborostroyeniye* [Scientific Instrument Engineering], 2003, vol. 13, no. 3, pp. 12-18 (in Russian).
2. Berliner M.A. Development trends in hygrometry. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques], 1982, no. 9, pp. 44 (in Russian).
3. Alexandrov N.Yu. Continuous monitoring humidity sensor verification tools. *Mir izmereniy* [Measurements World], 2025, no. 2, pp. 44–48 (in Russian).
4. Barbar Yu.A., Peretyagin V.S., Ryskov M.A., et al. Relative humidity standards from TKA. *Mir izmereniy* [Measurements World], 2025, no. 4, pp. 44–47 (in Russian).

### Авторы

**Юрий Алексеевич Барбар,**

кандидат технических наук, технический директор ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург

**Yuri A. Barbar,**

Candidate of Engineering Sciences, Technical Director, TKA Scientific Instruments LLC, St. Petersburg

**Владимир Сергеевич Перетягин,**

кандидат технических наук, заместитель генерального директора по НИОКР ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург

**Vladimir S. Peretyagin,**

Candidate of Engineering Sciences, Deputy General Director for R&D, TKA Scientific Instruments LLC, St. Petersburg

**Михаил Андреевич Рысков,**

главный конструктор ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург

**Mikhail A. Ryskov,**

Chief Designer, TKA Scientific Instruments LLC, St. Petersburg

**Дмитрий Евгеньевич Щур,**

заместитель технического директора ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург

**Dmitry E. Shchur,**

Deputy Technical Director, TKA Scientific Instruments LLC, St. Petersburg

**Константин Абрамович Томский,**

доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург

**Konstantin A. Tomsky,**

Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director, TKA Scientific Instruments LLC, St. Petersburg

### Abstract

*Maintaining metrological traceability and ensuring high accuracy of relative humidity measurements are tasks that require continuous development of measuring instruments. In this field, working standards play a key role, serving as primary reference means for calibration and verification. TKA Scientific Instruments LLC has made a significant contribution to the development of metrological assurance by offering innovative solutions to the market. This article is dedicated to the promising developments of relative humidity standards produced by TKA and their role in overcoming existing limitations.*