УДК 621.438

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И МОРСКОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ В МИРЕ

ОБЗОР. ЧАСТЬ 1

ПАО "НПО "Сатурн":

Александр Вячеславович Логунов, главный специалист, д.т.н.,
Максим Николаевич Буров, главный конструктор по перспективным разработкам, к.т.н.,
Денис Викторович Данилов, ведущий инженер-технолог, к.т.н.

Проведен анализ исследовательских и практических работ в мире, направленных на развитие газотурбинного энергетического машиностроения. Рассмотрены мировые достижения в области создания энергетической газотурбинной техники.

The analysis of the world development and practical activities related to gas-turbine power engineering industry has been performed. The world achievements in the sphere of gas-turbine powerplants are considered.

Ключевые слова: Газотурбинные установки, энергетические ГТУ, парогазовые установки, электростанции, топливная эффективность.

Keywords: Gas-turbine units, Electric power generation gas turbines, Combined-cycle gas turbines, Power stations, Fuel efficiency.

В последние десятилетия газотурбинные установки (ГТУ) приобретают все большее значение в качестве источников энергии в различных отраслях техники. Основным преимуществом газотурбинных установок малой и средней мощности (2,5...40 МВт) является их компактность, относительно малый вес и меньшие по сравнению с дизельными двигателями эксплуатационные расходы. Не менее важной характеристикой ГТУ являются высокие экологические показатели. Недостатком таких установок всегда оставался относительно невысокий КПД. Однако в последние годы, благодаря широкому внедрению современных методов проектирования, появлению новых жаропрочных материалов и использованию сложных термодинамических циклов, уровень КПД таких ГТУ достиг 40 % и более [1], что существенно превосходит по эффективности существующие ТЭЦ, использующие паровой цикл, и вплотную приближается к уровню эффективности быстроходных дизельных силовых установок.

Что касается энергетических ГТУ большой мощности, то на сегодняшний день достигнута единичная мощность двигателя 470 МВт, а КПД в парогазовом цикле превышает 60 %.

К сожалению, в России в последние 25...30 лет работы по созданию эффективных энергетических и транспортных ГТУ выполнялись в интересах различных заказчиков (ИнтерРАО, ОАО "Газпром", ВМФ РФ) и не были отражены в единой государственной программе, включающей в себя создание перспективных материалов, технологий, комплектующих агрегатов и т.д., что существенно увеличивает сроки и стоимость новых разработок и не способствует созданию научно-технического задела.

В результате Россия по такому важному показателю, как доля электроэнергии в валовом продукте значительно отстала от передовых стран и сегодня находится на 124-м месте [2] в мире, уступая не только США, Англии, Франции, Германии, но и Китаю, Индии, Бразилии, Австралии и другим странам.

Необходимо указать, что практически во всех странах решению указанной проблемы уделено очень серьезное внимание. Были разработаны и утверждены президентские или правительственные программы, соответствующие верховные органы стран регулярно заслушивали отчеты о ходе работ в указанном направлении.

Учитывая крайнюю важность для развития экономики страны этого направления, авторы сочли необходимым представить результаты анализа исследовательских и практических работ в мире, направленных на развитие газотурбинного энергетического машиностроения, и дать свои предложения по организации подобных работ в России.

Часть I. Развитие газотурбинных энергетических двигателей.

Как известно, одной из проблем производства энергии посредством ТЭЦ или ГТУ является низкий уровень коэффициента полезного действия, равный 28-35 %. Однако, еще в 50-е годы прошлого века Г.М. Кржижановским, академиком АН СССР, было показано, что если в ТЭЦ для получения пара использовать газы (рабочее тело), выходящие из ГТУ и имеющие температуру 450-650 °С, то КПД такой комбинированной установки возрастет практически вдвое (до 55-60 %).

Учитывая, какой вклад в экономику дает реализация этой идеи, практически все развитые страны приняли соответствующие правительственные программы, которые предусматривали:

1. Создание, производство и запуск в эксплуатацию новых поколений ГТУ различных групп по мощности, предназначенных для работы в комплексе с ТЭЦ, электростанциями и тепловыми узлами, использующими для нагрева рабочего тела газообразное или жидкое топливо. Указанная инновационная технология в течение очень короткого промежутка времени (10-15 лет) коренным образом изменила облик промышленной энергетики в странах (в первую очередь) Запада.

2. Резкое увеличение объема мощностей электрической и тепловой энергии, генерируемых с помощью ГТУ, обусловило активное развитие работ по созданию нового поколения этих установок. Так уровень эффективности современных парогазовых энергетических установок, построенных на базе ГТД, уже сегодня превышает 60 %.

3. Необходимо обратить внимание на то, что еще более низким КПД характеризуются котельные, работающие на газе или жидком топливе. Это обстоятельство особенно важно для нашей страны, отличающейся холодным климатом и расходующей более 40% газа для обогрева помещений.

Сегодня в развитых странах активно растет доля малой энергетики (на базе или взамен газовых котельных) с когенеративным циклом.

Таких установок в малой энергетике:

- США и Англии - 80 %;
- Нидерландов - 70 %;
- Германии - 50 %.

Процессы развития малой энергетики активно поддерживаются Правительствами через законодательное регулирование и бюджетное финансирование.

Использование ГТД мощностью 6...25 МВт составе муниципальных ТЭЦ для комбинированной выработки электроэнергии и тепла позволяет достигать коэффициента использования тепла, вырабатываемого при сжигании топлива, до 80 % и более.

Уже к концу 80-х гг. лучшие промышленные энергетические комплексы США имели эффективность более 50 %. В начале 2000 годов около 75 % всех энергостанций США были оборудованы газовыми турбинами. Прогнозировалось, что в 2000-2010 гг. мировой рынок ежегодного производства и продажи ГТУ достигнет $ 100 млрд. [3].

Во многом себестоимость вырабатываемой на подобных энергоблоках электроэнергии зависит от их совершенства и стоимости используемого топлива. Повышение эффективности турбины на 10 % позволяет снизить эксплуатационные затраты на установке мощностью 400-500 МВт в течение всего срока ее работы примерно на $ 200 млн., поэтому остро встал вопрос дальнейшего повышения эффективности действующих агрегатов. В связи с этим министерством энергетики США (DOE) была принята программа ATS (Advanced Turbine Systems) по разработке перспективной газовой турбины с существенно более высокой эффективностью и экологичностью.

Целью программы ATS было повышение эффективности турбины до 60 % при более низком тепловыделении; снижение эмиссии азота до величины менее 10 ppm при 15 % кислорода; снижение эмиссии двуокиси углерода на 50 %; снижение стоимости электроэнергии на 10 %; повышение эксплуатационной надежности и обеспечение простоты обслуживания.

В рамках программы одним из ее участников - фирмой General Electric (GE) в конце 90-х - начале 2000-х гг. были завершены испытания своих новых ГТУ комбинированного цикла класса H, а именно, ГТУ MS7001H (7H) мощностью до 330 МВт и частотой 60 Гц и MS9001H (9H) мощностью до 470 МВт и частотой 50 Гц [3] (рис. 1).

Рис. 1 Двигатель GE MS9001HA

ГТУ 7H имеет длину около 14 м, диаметр 5,4 м и массу около 330 т. Обе ГТУ: 7H и 9H имеют систему парового охлаждения, обеспечивающую их работоспособность при Твх.=1430 °С, т.е. ~ на 160 °С выше, чем в турбинах конца прошлого века (1260 °С). Выбросы азота при работе усовершенствованных ГТУ составляют 9 ppm, что также вдвое ниже, чем для ГТУ предыдущего поколения. КПД установки в парогазовом цикле превышает 61 %.

Для выполнения своей части программы GE по контракту с DOE было получено $ 100 млн. и вложено $ 500 млн. своих средств.

Известно, что обе турбины имеют монокристаллические рабочие и сопловые лопатки с керамическим плазменным термобарьерным покрытием (ТБП). Длина рабочих лопаток турбины высокого давления ГТУ 9H составляет 45 см, сопловых - 30 см (для сравнения - длина рабочих лопаток двигателя PW JT9D - 8 см). Стоимость одной лопатки весом 13,6 кг, на момент начала изготовления и эксплуатации ГТУ при 90 % выходе годного, составляла $ 7000, а при 20 %-ном $ 30000 [4]. Лопатки 3-й и 4-й ступеней турбины высокого давления получают методом литья с направленной кристаллизацией.

В настоящее время в соответствии с программой Министерства энергетики США завершено создание ГТУ с температурой газа перед турбиной ~ 1700 K, а в 2015 г. планировалось достичь 1800 K. Для сравнения: температура газа перед турбиной отечественной ГТД-110 равна 1480 K.

Сегодня в США объем заказов на ГТУ для энергетики составляет 200 комплектов (60 заказчиков) на общую мощность 40 млн. кВт.

В 1992 г. в США принята программа ATS (Advanced Turbine Systems - передовые турбинные системы), финансируемая Правительством.

Цели программы ATS:

- разработать дешевые и надежные образцы ГТУ для промышленной выработки электрической и тепловой энергии с эффективностью 60 % и более;

- осуществить отбор наиболее перспективных разработчиков и производителей энергетических ГТУ;

- обеспечить лидирующее положение США в сфере производства энергогенерирующей техники.

В настоящее время в борьбе за экономику и экологию США на первое место ставят газовые турбины.

В рамках программы ATS (ATS Oak Ridge, США) фирмой Siemens была разработана ГТУ W501G мощностью 420 МВт. В новой турбине реализована Твх = 1510 °С, а первые испытания проведены в 2000-х гг. на базе имени Арнольда ВВС США. Из-за более высокой рабочей температуры для обеспечения требований по ограничению эмиссии азота фирма Siemens использовала специально разработанную совместно с фирмой Precision Combustion камеру сгорания. Разработка была финансирована DOE в рамках отдельного проекта SBIR по так называемому малому бизнесу (ранее проект SBIR относился исключительно к ВВС США и преимущественно к наноматериалам и нанотехнологиям). Для лопаток 1-2-ой ступени турбины высокого давления фирмой Siemens была создана система защитного покрытия в комплексе с ТБП (термобарьерное покрытие), прошедшая ускоренные испытания на стойкость к циклическому окислению при 1010 °С в течение 24 ч.

В процессе выполнения программы ATS была осуществлена передача авиакосмических технологий монокристаллического литья в энергетическую отрасль. В частности, GE была отработана технология получения сплавов с низким содержанием серы (1,0-5,0 ppm), процесс изготовления стержней из оксида алюминия, а также технология высокоградиентной кристаллизации большеразмерных лопаток.

(Здесь уместно напомнить, что технология высокоградиентной направленной кристаллизации (основанная на жидкометаллическом охлаждении формы, опускаемой из зоны нагрева) была разработана в СССР [5, 6].)

Фирма Siemens для получения рабочих лопаток своей новой турбины на базе разработанной ранее фирмой Pratt & Whitney (1970 г.) технологии жидкофазного диффузионного соединения создала и использовала технологию изготовления монокристаллических интегрированных лопаток (сплав CMSX-4, рис. 2, 3).

Фирмой Howmet были отработаны основные направления улучшения технологий монокристаллического литья и литья с направленной кристаллизацией, обеспечивающие высокий "выход годного" для большеразмерных лопаток. Эти направления включают:

- улучшение качества индукционных плавок за счет совершенствования конструкции печей и систем контроля;

- усовершенствование оболочковых форм;

- исследование новых концепций охлаждения с целью повышения температурного градиента в процессе кристаллизации.

Технологическая программа ATS на протяжении 16 лет и по нас-

Рис. 2 Интегрированная монокристаллическая рабочая лопатка турбины из сплава CMSX-4 ГТУ W501G мощностью 420 МВт фирмы Siemens

Рис. 3 Внутренняя конструкция интегрированной монокристаллической рабочей лопатки турбины из сплава CMSX-4 ГТУ W501G мощностью 420 МВт фирмы Siemens

тоящее время поддерживается финансируемой исследовательской программой UTSR (University Turbine System Research), в которой, помимо университетов участвуют крупнейшие турбостроительные фирмы, в том числе упомянутые ранее GE, Pratt & Whitney, Siemens, а также Florida Turbine Tech., Solar Turbine и фирмы других профилей [7]. Целью этой программы является проведение научных исследований, которые позволят в перспективе осуществить перевод разработанных усовершенствованных турбин на другие виды топлива, например, продукты газопереработки угля и водород. В числе других проблем в рамках программы ATS решаются задачи создания новых материалов и технологий.

В калифорнийском университете и независимо от него в университете штата Коннектикут разработаны высокоэффективные и технически простые лазерные методы неразрушающего контроля и прогнозирования срока эксплуатации керамических ТБП, которые были сразу же использованы ведущими производителями газовых турбин. В Северо-западном университете США создан процесс контролируемого плазменного нанесения ТБП, обеспечивающий снижение его пористости. Кроме того, эта же технология и оборудование могут быть использованы для получения покрытия с градиентной пористостью, что позволяет управлять его теплопроводностью и эластичностью.

В Европе тенденция к строительству энергетических установок комбинированного цикла мощностью порядка 700...1000 МВт, обеспечивающих возможности их достаточно простого и гибкого регулирования, проявляется еще более отчетливо. Кроме того, по оценкам немецких специалистов при сегодняшней потребности Германии в электроэнергии 21 ГВт к 2020 г. она может достичь 30 ГВт.

Среди европейских разработок следует отметить ГТУ класса H фирмы Siemens SGT5-8000H мощностью 375 МВт. (рис. 4)

Температура газа перед турбиной установки составляет 1500 °С, что стало возможным благодаря применению монокристаллических лопаток, теплозащитных покрытий и высокоэффективной системы охлаждения лопаток турбины. КПД ПГУ на основе этого двигателя превышает 60 %.

Отдельно следует отметить успехи японской фирмы MHI (Mitsubishi Heavy Industrial), которая в области разработки больших энергетических ГТУ на протяжении многих лет весьма успешно конкурирует с ведущими американскими и европейскими производителями.

В настоящее время в Японии выпускается достаточно широкая номенклатура ГТУ класса F и G мощностью 160-350 МВт с КПД комбинированного цикла до 60 % [8].

Фирмой MHI впервые разработана ГТУ J-класса с температурой газа перед турбиной 1600 °С, что на 100 °С больше, чем у ГТУ G и H класса. Данное увеличение температуры достигнуто в первую очередь за счет применения новых термобарьерных покрытий и более эффективной системы охлаждения.

Единичная мощность ПГУ с этой установкой составляет 480МВт, а КПД в парогазовом цикле 61,7 % [9, 10].

Созданные и эксплуатирующиеся в настоящее время в мире энергетические ГТД большой мощности, а также парогазовые установки представлены в таблицах 1 и 2.

Рис. 4 - Транспотрировка ГТУ SGT-8000H

Таблица 1
Характеристики современных ГТД большой мощности

Фирма	Модель	Характеристики					
		Год	Мощность МВт	η_e,%	$\pi_к$	$T_г$, K	Эмиссия NO_x, ppm
"НПО Сатурн"	ГТД-110	2002	114,5	36	14,7	1483	25
AlstomPower	GT11N2	1993	113,6	33,3	16	1358	25
	GT13E2	1993	179,9	36,9	16,5	1373	25
	GT24		188,2	36,9	32	-	25
	GT26	1994	288,3	38	33,9	-	25
GE Energy	MS9001E	-	123,4	34,7	12,6	-	9-25
	PG9231(EC)	1994	169,2	35,9	14,2	-	9-25
	PG7241(FA)	1994	171,7	37,2	15,5	1523	9-25
	PG9351(FA)	1996	255,6	37,9	15,4	1523	9-25
	7G	-	240	39,5	23	1703	9-25
	7H	-	275..330	41,4	23	1703	9-25
	9G	-	282	39,5	23	1703	9-25
	9H	-	397...470	41,5	23	1703	9-25
Mitsubishi Heavy Industries	M701	1981	144,09	34,8	14	1523	-
	M501F	1999	185,4	37	16	1623	9-25
	M501G	2003	254	39,1	20	1723	9-25
	M701F	1998	270,3	38,2	17	1523	9-25
	M701G	2003	334	39,5	21	1723	9-25
	M501H	1999	270	39,3	25	1723	9-25
	M701H	1999	350	39,7	25	1723	9-25
Siemens	SGT5-2000E (V94,2)	1981	168	34,7	11,7	-	25/42
	SGT6-5000F (V84,3A)	1989	198,3	38	17,4	1533	25/42
	SGT5-3000E (V94,2A)	1997	191	36,7	13,3	-	25/42
	SGT6-6000G (501G)	1994	267,5	39,2	19,9	1723	25/42
	SGT5-4000F (V94,3A)	1995	286	39,5	17,9	-	25/42
	SGT5-8000H	-	340	39,5	-	-	25/42

Таблица 2
Характеристики современных ПГУ большой мощности

Фирма	Модель	Характеристики				
		Год	Мощность МВт	η_e,%	Схема ПГУ	Эмиссия NO_x, ppm
Alstom Power	KA26-1	2002	424	58,3	1ГТ+1ПТ	25
	KA26-2	1993	850,3	58,5	1ГТ+2ПТ	25
	KA26-2 ISC	1993	857,7	59	1ГТ+2ПТ	25
	KA13E2-1		252,8	52,8	1ГТ+1ПТ	25
	KA13E2-2	1994	507,4	53	1ГТ+2ПТ	25
GE Energy	KA13E2-3	-	763,2	53,2	1ГТ+3ПТ	25
	CC206FA	1994	215	52,3	2ГТ+1ПТ	-
	C109EC	1994	259,6	53,5	1ГТ+1ПТ	-
	CC109FA	1996	345	54,2	1ГТ+1ПТ	-
	CC107H	-	400	60	1ГТ+1ПТ	-
	CC109H	-	480	60	1ГТ+1ПТ	-
	MPCP1(M501F)	-	280,7	56,7	1ГТ+1ПТ	-
	MPCP2(M501)	-	336,2	51,6	2ГТ+1ПТ	-
Mitsubishi Heavy Industries	MPCP1(M501G)	1981	371,1	58	1ГТ+1ПТ	-
	MPCP1(M701F)	1999	397,7	57	1ГТ+1ПТ	-
	MPCP2(M701)	2003	426,6	51,6	2ГТ+1ПТ	-
	MPCP1(M701G)	1998	484,4	58	1ГТ+1ПТ	-
	MPCP2(M501F)	2003	563,7	57	2ГТ+1ПТ	-
	MPCP2(M501G)	1999	744,7	58	2ГТ+1ПТ	-
	MPCP2(M701F)	1999	799,6	57,3	2ГТ+1ПТ	-
Siemens	MPCP2(M701G)	1981	972,1	58,2	2ГТ+1ПТ	-
	GUD 1S.84.3A		260	58	1ГТ+1ПТ	25/42
	1x501F	1989	272	56,2	1ГТ+1ПТ	25/42
	GUD 1S.94.2A		287,1	55,7	1ГТ+1ПТ	25/43
	2x501D5A	1997	348	50,6	2ГТ+1ПТ	25/44
	1x501G		367	58,3	1ГТ+1ПТ	25/45
	GUD 1S.94.3A	1994	381	58,1	1ГТ+1ПТ	25/46
	GUD 2.84.3A		530	57,9	2ГТ+1ПТ	25/48
	2x501F	1995	546	55,8	2ГТ+1ПТ	25/49
	GUD 2.94.2A		561,4	54,4	2ГТ+1ПТ	25/42
	2x501G	-	726	57,8	2ГТ+1ПТ	25/42
	GUD 2.94.3A		765,2	58,3	2ГТ+1ПТ	25/42

Выводы:

1. В разных странах Европы, в США и Японии ведутся активные исследования и практические работы, направленные на резкое увеличение производства энергии из газового и жидкого топлива без увеличения его добычи.

2. В США, Европе и Японии создано новое поколение ГТУ мощностью свыше 400 МВт и широко эксплуатируются энергетические комплексы, в которых производство тепла и электроэнергии осуществляется с КПД более 60 %.

3. Газотурбинные установки нового поколения отличаются су-

щественно более высокими параметрами (Т газа перед турбиной равна 1500-1600 °С вместо 1260 °С для предыдущего поколения), ресурсом работы, достигающим 160 тыс.час., практически вдвое более низким содержанием вредных примесей в отработанных газах.

4. С целью создания следующего поколения ГТУ разработаны новые технологии, обеспечивающие существенное повышение их эффективности, надежности и качества, в т.ч. получение составных интегрированных лопаток, термобарьерные покрытия переменной пористости, секционные камеры сгорания и т.д.

5. Успехи, достигнутые ведущими технологически развитыми странами в создании высокоэффективных энергетических двигателей и комплексов, во многом обусловлены наличием комплексных государственных программ развития энергетического машиностроения в этих странах.

Литература

1. В.Ф. Галушко. Вопросы развития и совершенствования энергетических ГТУ. Материалы 6 Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), Новочеркасск, 22-23 ноября, 2007: ЮРГТУ, 2007, с. 172-175.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 321.
3. US. Department of Energy. Office of Fossil Energy. National Energy Technology Laboratory. Advancing the Gas Turbine Power Industry. Advancing Natural Gas Turbine Hailed as top Power Project of 2003. Des.30.2003.
4. Langston, L.S. Gemsofturbine efficiency [Text] / L.S. Langston // Global gas turbine news, - 2014, - №9, - P. 76-77.
5. Строганов Г.Б., Логунов А.В., Шалин Р.Е. и др. Технология высокоскоростной направленной кристаллизации лопаток ГТД. Авиационная промышленность, 1980,- №12, - с. 49-51.
6. Г.Б. Строганов, А.В. Логунов, В.В. Герасимов, Э.Л. Кац. Высокоскоростная направленная кристаллизация жаропрочных сплавов. Литейное производство, 1983, - №12, - с. 20.
7. 2012 UTSR Gas Turbine Industrial Fellowship Program.
8. Then, O. Emsland KA26 power plant: high efficiency with flexibility [Text] / O. Then, C. Sanders, D. Viereck, M. Landwig //Modern Power Systems, - 2008, - №3, - P/ 10-16.
9. Hino, T. Development of a new single crystal superalloy for industrial gas turbines [Text] / T. Hino, T. Kobayashi, Y. Koizumi, H. Harada, T. Yamagata // Superalloys-2000, TMS, 2000. - P. 729-736.
10. Koizumi, Y. Third generation single crystal superalloys with excellent processability and phase stability [Text] / Y. Koizumi, T. Kobayashi, T. Yokokawa et al. // Cost Conf. Liege, Part 2, - 1998. - P. 1089-1098.

Связь с авторами: danilov_d.v@rambler.ru

12-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

17-19 мая '2016
Москва Павильон ВДНХ №69

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ
MetrolExpo
Control&Diagnostic
ResMetering
LabTest
PromAutomatic

20 мая – Всемирный день метрологии

ПЕРВЫЙ ВСЕРОССИЙСКИЙ СЪЕЗД МЕТРОЛОГОВ И ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ

ОРГАНИЗАТОР
Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

СОДЕЙСТВИЕ
Правительство Российской Федерации
Торгово-промышленная палата Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ
The International Bureau of Weight and Measures (BIPM)
International Organization of Legal Metrology (OIML)
Euro-Asian Cooperation of National Metrology Institutions (COOMET)

С ЭКСПОЗИЦИОННЫМ УЧАСТИЕМ
Минпромторг России, Росстандарт, Ростехнадзор, МВД России, ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «Роснано», ОАО «РЖД», АО «КРЭТ»

КОНКУРСНАЯ КОМИССИЯ
ФБУ «Ростест-Москва»

УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР
Компания «Вэстстрой Экспо»

ПРОГРАММА ФОРУМА
- 12-я выставка средств измерений и метрологического обеспечения **«METROLEXPO-2016»**
- 5-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы **«CONTROL&DIAGNOSTIC-2016»**
- 5-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов **«RESMETERING-2016»**
- 4-я выставка аналитических приборов и лабораторного оборудования промышленного и научного назначения **«LABTEST-2016»**
- 4-я выставка программного обеспечения и оборудования для промышленной автоматизации **«PROMAUTOMATIC-2016»**
- Первый Всероссийский **Съезд метрологов и приборостроителей**
- Всероссийская выставочно-конкурсная программа **«ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ»**

Стратегический партнер форума | Генеральный партнер форума: KEYSIGHT TECHNOLOGIES | Генеральные информационные партнеры

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА
129223, Москва, а/я 35. ул. Искры, д. 31
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)
E-mail: metrol@expoprom.ru • www.metrol.expoprom.ru