СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОМПЛЕКСНОМУ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ И КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

К.т.н. С. В. Киет[1], к.т.н., доц. А. Е. Верховский[2]
[1]ООО «НПП «ТЕХНОПРИБОР», г. Москва, Россия
[2]ФБГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия
E–mail: s.kiet@tehnopribor.ru

В настоящее время большое внимание в энергетике уделяется надежности и безопасности основного и вспомогательного оборудования электростанций, бесперебойному снабжению потребителей электроэнергией, что невозможно без комплексного подхода к автоматизации энергетического производства. На все вышеуказанное влияет качество воды и пара (то есть, степень загрязнения теплоносителя), которое необходимо контролировать в режиме реального времени. В настоящее время на большинстве ТЭС и АЭС внедрены и введены в эксплуатацию системы контроля и управления ВХР.

Основой этих систем являются устройства подготовки пробы и приборы химического контроля. Среди российских производителей Московское научно-производственное предприятие «ТЕХНОПРИБОР» с 1990 года разрабатывает и серийно производит наиболее полный спектр переносных и стационарных приборов для контроля параметров водно-химического режима основного оборудования атомных и тепловых электростанций, а также устройств подготовки пробы.

За 30 лет работы НПП «ТЕХНОПРИБОР» заняло лидирующие позиции на рынке производителей и поставщиков оборудования и аналитических приборов контроля водных сред, предлагая своим клиентам наиболее полный комплекс услуг по вводу в эксплуатацию систем контроля и управления ВХР, а именно:

1. Разработка приборов химического контроля на базе собственного научно-технического центра, позволяющего быстро и гибко реагировать на запросы и предложения Заказчиков.
2. Собственное производство, позволяющее минимизировать расходы (грамотная ценовая политика), а также строго контролировать качество продукции, что подтверждено сертификатами стандарта качества ИСО 9001:2011.
3. Проектирование систем химического контроля качества (проектно-сметной документации) водного теплоносителя для атомных и тепловых электростанций.
4. Комплексное сопровождение проектов «под ключ»: монтаж, шеф-монтаж, пуско-наладка, обучение персонала, гарантийное и постгарантийное обслуживание.
5. Собственный метрологический центр, проводящий калибровку и поверку аналитических приборов и весового оборудования российского и зарубежного производства.
6. Учитывая важность грамотной эксплуатации оборудования систем АХК, для обеспечения его надежной работы, на базе предприятия создан учебный центр для подготовки персонала объектов энергетики основам обслуживания аналитических приборов и систем пробоподготовки.
7. Полноценная техническая поддержка, включая возможность технического обслуживания оборудования на объекте Заказчика, расширенная гарантийная поддержка (расширенная гарантия до 5 лет), предоставление оборудования для бесплатного тестирования на объекте Заказчика.

С момента основания в 1990 году в НПП «ТЕХНОПРИБОР» создано и активно развивается научное направление, основными задачами которого являются:

1. Разработка основной концепции создания системы контроля качества водных сред с учетом новых технологий и научных разработок:

- новые подходы к созданию датчиков аналитических приборов;
- новые подходы к разработке вторичных преобразователей;

2. Разработка инновационных конструкторских решений по компоновке отдельных узлов приборов на стендах химического контроля.
3. Создание и внедрение новых элементов в систему УПП (устройства подготовки пробы).
4. Разработка промышленного дизайна для выпускаемой продукции.
5. Ужесточение норм ВХР на атомных и тепловых электростанциях приводит к необходимости разработки новых методов измерений качества водного теплоносителя и внедрения систем АХК нового поколения, обеспечивающих точность и надежность в области микроконцентраций.
6. Анализ ведущего мирового опыта производства измерительных систем.
7. Ввод в эксплуатацию современного энергетического оборудования поставил задачу автоматического измерения новых показателей, таких как, например, общий органический углерод.
8. На базе кафедры АСУТП «НИУ МЭИ» разработан стенд химконтроля (см. рис. 1), работающий в дистанционном режиме, а также в составе единой информационной системы с выводом информации на автоматизированное рабочее место (АРМ). Стенд можно использовать для:

    - обучения студентов и подготовки дипломных проектов;
    - обучения персонала Заказчика с устройством и работой приборов, методиками обслуживания и калибровки;
    - научной работы аспирантов и докторантов.

В настоящее время происходит переход от разнесенной установки датчиков, вторичных преобразователей и устройств подготовки пробы к объединению их в одном помещении на одном стенде химконтроля. Укомплектованный стенд, включает в себя все необходимые приборы и системы, монтажную арматуру и вспомогательное оборудование, что значительно упрощает монтаж, пуско-наладку и обслуживание системы автоматического химконтроля, а также существенно экономит производственные площади.

Стенды химконтроля проектируются и изготавливаются индивидуально по требованиям Заказчика и в соответствии с нормируемыми показателями ВХР.

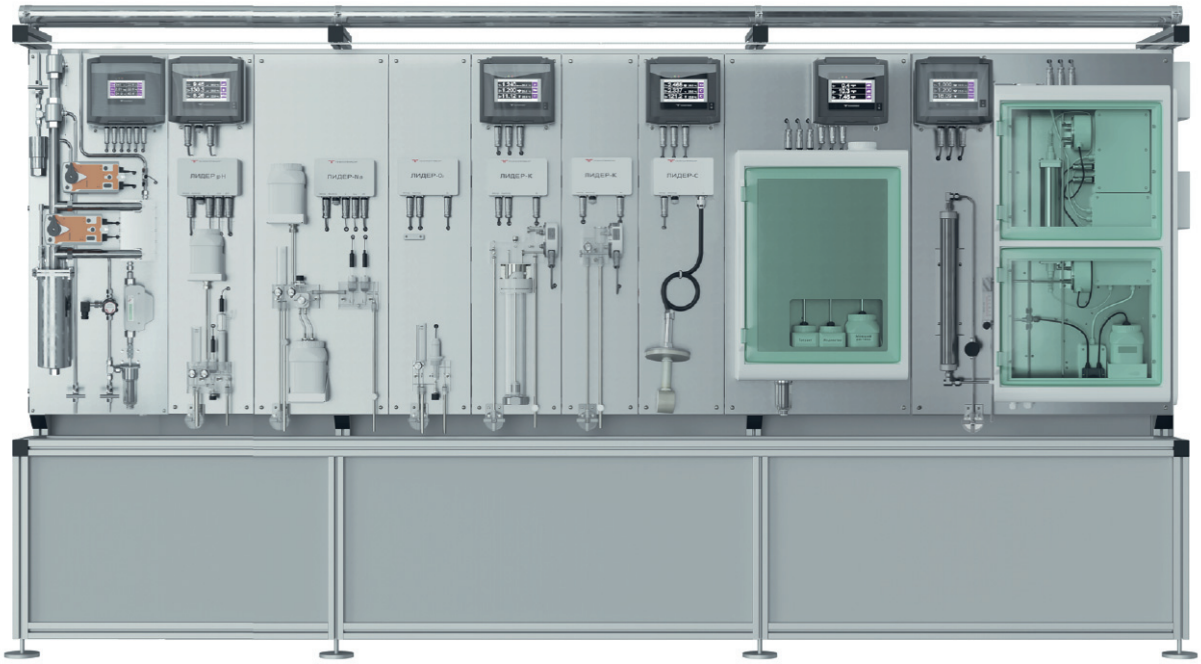

Рис 1. Комплектный стенд химического контроля в составе (слева направо): УПП-20МА с возможностью автоматического поддержания заданной температуры пробы и дополнительной системой доохлаждения пробы ниже температуры охлаждающей воды; система «ЛИДЕР» с каналами pH, натрия и кислорода, система «ЛИДЕР-300» с каналом АПК; система «ЛИДЕР-300» с кондуктометрическим каналом и каналом концентратомера; система «ЛИДЕР-300» с каналом ТОС и система «ЛИДЕР-300» с каналом общей жесткости.

На основании многолетнего опыта, Научно-техническим центром НПП «ТЕХНОПРИБОР» сформулированы и реализованы инновационные подходы к созданию аналитических приборов нового поколения. Таким образом, разработаны и

запущены в серийное производство интеллектуальные приборы серии ЛИДЕР (см. рис.2):

1. Использование самой современной электронной базы позволило создать многоканальные измерительные комплексы контроля качества водных сред. Универсальная 1/2/3-канальная система, способная одновременно работать с разными типами датчиков (до 10 видов измерений в любом сочетании), делает систему химконтроля более компактной и удобной в обслуживании. Выбор типа измерений осуществляется в меню прибора. Модульная конструкция стационарных приборов серии ЛИДЕР-100/200/300 позволяет значительно снизить трудоемкость технического обслуживания системы и объем ЗИПа при комплексных поставках оборудования.

2. Возможность одновременного подключения всех распространенных типов датчиков в любом сочетании: кондуктометра, иономеров (pH-метра, Na-метра), кислородомера, водородомера, концентратомера, анализатора общего органического углерода TOC, анализатора жесткости, анализатора pH и содержания аммиака в чистых средах без применения стеклянных электродов,В рамках многоканальной системы разработан концентратомер ЛИДЕР-С нового поколения с бесконтактным индуктивным датчиком. Его уникальной особенностью является минимальный предел чувствительности, который составляет 2 мкСм/см, что позволяет с высокой точностью измерять не только концентрации растворов широкого перечня солей, кислот и щелочей, но и концентрации аминов, аммиака и гидразина.

3. Полностью модернизирован наиболее распространенный на объектах энергетики датчик проводимости серии ДК, что позволило значительно расширить диапазон измерений (10 нСм/см – 800 мкСм/см) и улучшить погрешность (класс точности) кондуктометрического канала ЛИДЕР-К до 1%. Применение титана при изготовлении электродов

обеспечивает сходимость с образцовыми средствами измерений с платиновыми электродами. Важной конструктивной особенностью датчиков ДК, применяемых в составе анализаторов серии ЛИДЕР-100/200/300 является постоянство константы датчиков после осуществления их сборки и разборки, в результате чего отсутствует необходимость готовить растворы и проводить калибровку, что значительно сокращает трудоемкость обслуживания и в целом повышает надежность измерений.

4. Для облегчения обслуживания и повышения достоверности измерения показателей pH и pNa, в составе многоканальной системы ЛИДЕР-100/200/300 создана система контроля ресурса измерительных электродов. Погрешность канала измерения pH составляет уникальные 0.02 ед. при условии использования буферных растворов 1 разряда. При использовании более дешевых растворов 2 и 3 разрядом погрешность измерительного канала составляет стандартные 0.05 ед. pH, что позволяет пользователю определять стоимость эксплуатации исходя из своих потребностей. Отсутствие в составе гидравлических блоков электрических и подвижных частей значительно повышает надежность работы.

5. С целью снижения трудоемкости обслуживания, и получения правильной калибровочной кривой и повышения точности измерений измерительных каналов ЛИДЕР-O2 и ЛИДЕР-H2 в составе системы ЛИДЕР-100/200/300 разработаны универсальные модули поверки и калибровки МПК-01 и МПК-02 со встроенным компрессором. В результате достигнут нижний предел измерений от 0.8 мкг/дм3 при основной погрешности комплекта 3%. Разработана система автоматической диагностики состояния и контроля остаточного ресурса до обслуживания измерительной ячейки.

6. Разработан анализатор общего органического углерода ЛИДЕР-ТОС. Его ключевой особенностью является встро-

енная система автоматической подачи калибровочных и рабочих растворов, что позволяет использовать его не только в системах автоматического химического контроля с непрерывной подачей пробы, но и в лаборатории с забором измеряемых проб из емкостей. Данная конструктивная особенность и дешевизна запасных частей делает анализатор универсальным и позволяет многократно снизить стоимость внедрения нового типа измерений на объектах энергетики по сравнению с зарубежными аналогами.

7. В рамках измерительной системы ЛИДЕР-300 разработан измерительный канал жесткости ЛИДЕР-dH. Его уникальной особенностью является не имеющий аналогов в нашей стране и за рубежом нижний предел измерений от 0,1 мгк-экв/дм3, что дает возможность использовать его не только в точках контроля параметров сетевой воды, но и в большой энергетике.

8. В составе системы ЛИДЕР-300 разработан уникальный анализатор ЛИДЕР-АПК, позволяющий без применения стеклянных электродов на основе стандартных каналов измерения электропроводимости прямой и Н-катионированной пробы без усложнения конструкции осуществлять вычисление значений pH и аммиака в кислых и щелочных средах, что выводит надежность и достоверность измерений на революционно новый уровень. Данная разработка отмечена многочисленными зарубежными европейскими наградами, а полная сходимость подтверждена опытом промышленной эксплуатации в составе комплексных систем автоматического химического контроля.

Ниже, в таблице 1 представлен перечень современных анализаторов химконтроля НПП «ТЕХНОПРИБОР» серии «ЛИДЕР-100/200/300», в производстве которых нашли свое применение новые разработки научного центра, позволившие значительно повысить уровень приборов.

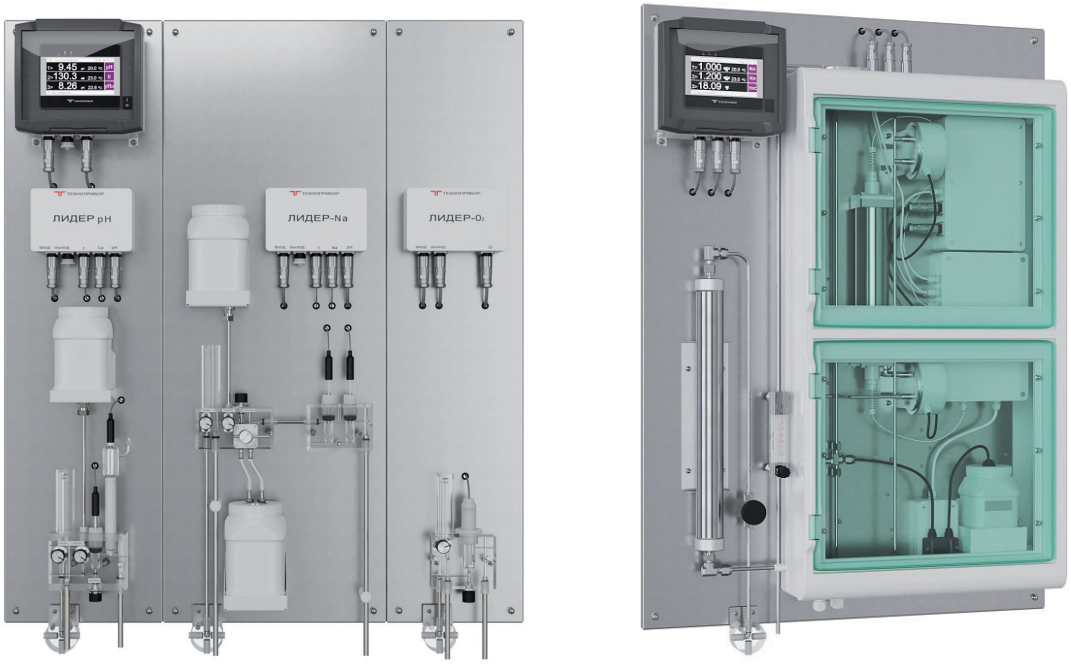

Рис 2. Система «ЛИДЕР-300» с каналами ЛИДЕР-pH, ЛИДЕР-Na, ЛИДЕР-O2/H2 (слева) и система «ЛИДЕР-300» с каналом общего органического углерода (ЛИДЕР-TOC) (справа).

Таблица 1. Перечень измерительных каналов, входящих в систему «ЛИДЕР-100/200/300»

Измерительный канал системы	Показатель и диапазон его измерения	Точность
удельная электропроводность	УЭП от 10 нСм/см до 100 мСм/см солесодержание от 0,01 мкг/кг до 10 г/кг	±1,0% ±2,5%
pH	от 0 до 14 pH ЭДС/ОВП от -2500 мВ до +2500 мВ	±0,02/0,05 pH ±1 мВ
натрий	от 0,1 мкг/л до 99,9 г/л	±10,0%
кислород	от 0,8 мкг/л до 20,0 мг/л	±3,0%
водород	от 0,8 мкг/л до 2,0 мг/л	±3,0%
Анализатор примесей в чистой воде (АПК)	от 5,5 до 11.5 pH концентрации хлоридов от 0 до 100 мкг/л концентрации натрия от 0 до 100 мкг/л концентрации аммиака от 0 до 1000 мкг/л	±0,05 pH ±10% ±10% ±5%
общий органический углерод TOC	от 0,05 до 1000 мкг/л	±10%
концентратомер	$УЭП_{25}$ от 2 мкСм/см до 2000 мСм/см массовой концентрации вещества от 0,01 до 99,9%	±1,0% ±4,0%
общая жесткость	от 5 до 10000 мкг-экв/л	±5,0%

При работе систем автоматического химического контроля особенно актуальной является проблема подготовки пробы перед подачей ее на автоматические и переносные анализаторы.

На основании рекомендаций специалистов ВНИИ АЭС и НИАЭП, а также специалистов предприятий тепловой и атомной энергетики, научно-техническим центром НПП «ТЕХНОПРИБОР» было разработано новое поколение устройств подготовки пробы, отвечающее самым современным требованиям и учитывающее специфику применения на АЭС, а также на объектах энергетики с дефицитом холодной охлаждающей воды.

Рис 3. Базовая модель УПП с охлаждением пробы УПП-20МВ (слева) и УПП с доохладительным модулем с использованием элементов Пельтье и системой автоматической стабилизации температуры пробы УПП-20МА (справа).

Основными особенностями УПП-20МА нового поколения являются:

1. Модульная конструкция системы, позволяющая адаптировать её под практически любое техническое требование Заказчика.
2. Возможность установки температуры в системе стабилизации температуры пробы.
3. Полный контроль параметров пробы с помощью датчиков давления, расхода и температуры.
4. Вторичный преобразователь с цветным сенсорным дисплеем с интуитивно понятной структурой меню и поддержкой аналоговых токовых и цифровых выходов RS-485/Modbus и Ethernet/Modbus.
5. Очень часто при использовании проточных приборов АХК возникают проблемы с качеством пробы, поступающей на первичные датчики. Механические фильтры УПП не всегда справляются с очисткой водного теплоносителя. С целью защиты измерительных элементов от загрязнения и предотвращения выдачи в СКУ ВХР недостоверной информации от приборов АКХ, в УПП предусмотрена возможность автоматического отключения подачи пробы на приборы по достижении ее предельной степени загрязнения.
6. В конструкции УПП предусмотрено использование быстроразъемных соединений, что значительно упрощает монтаж и обслуживание.
7. В системе защиты от перегрева применен энергонезависимый высоконадежный отсечной клапан пробы с возможностью ее дистанционного перекрывания.
8. Применение модуля дополнительного доохлаждения пробы на основе элементов Пельтье, позволяющее снижать температуру пробы до 15 градусов ниже температуры охлаждающей воды.

Изучив многолетний обширный опыт проведения пусконаладочных работ, научно-техническим центром НПП «ТЕХНОПРИБОР» была разработана и сертифицирована не имеющая аналогов переносная малогабаритная измерительная система серии ЛИДЕР-600.

В ЛИДЕР-600 реализованы следующие уникальные особенности:

1. Четыре независимых канала с возможностью одновременного измерения pH, pX (однозарядных и двухзарядных ионов, в том числе ионов Na+), содержание растворенного кислорода или водорода, канал измерения температуры.
2. Разработан уникальный малогабаритный высокоэффективный подщелачиватель, что позволило создать компактный (масса менее 500 гр.) гидравлический блок с возможностью измерения концентрации ионов натрия. Достигнута основная погрешность 7%, что значительно ниже основной погрешности стационарных анализаторов.
3. Конструкция гидравлического блока позволяет осуществлять переключение потока через подщелачиватель или байпасировать его, что дает возможность одновременно измерять на одной пробоотборной линии Na (pX) и pH.
4. Основная погрешность канала измерения pH ЛИДЕР-600 составляет 0,02 при условии использования буферных растворов 1-го разряда, что впервые дает возможность использовать переносной анализатор в качестве образцового средства измерения для приборов автоматического химического контроля.

.

5. Использование современной измерительной схемы и оптимизации алгоритма вычислений позволило снизить основную погрешность измерений объемной и массовой

долей O^2 или H^2 до 2,5% при нижнем пределе от 0,8 мкг/дм^3, является лучшим показателем среди отечественных стационарных и переносных приборов.

6. Полноценный режим измерения ОВП с основной погрешностью 6 мВ.
7. Впервые среди отечественных переносных анализаторов разработана и внедрена система контроля и оценки остаточного ресурса стеклянных электродов и сенсоров O^2/H^2, что выводит на новый уровень достоверность получаемых измерений и снижает влияние на них человеческого фактора.
8. Модификации гидравлических блоков для различных видов измерений.
9. Возможность работы от аккумуляторов или стандартных батарей.
10. Зарядка и обмен данными с компьютером посредством стандартного кабеля micro USB. Время непрерывной работы на одном заряде до 70 часов.
11. Встроенный архив на 500 измерений с экспортом на ПК.
12. Удобное управление с возможностью блокирования возможности внесения изменений в настройки.
13. Большой контрастный дисплей с регулируемой подсветкой.
14. Алгоритмы измерений унифицированы с ЛИДЕР-100/200/300.
15. Эргономичный компактный корпус

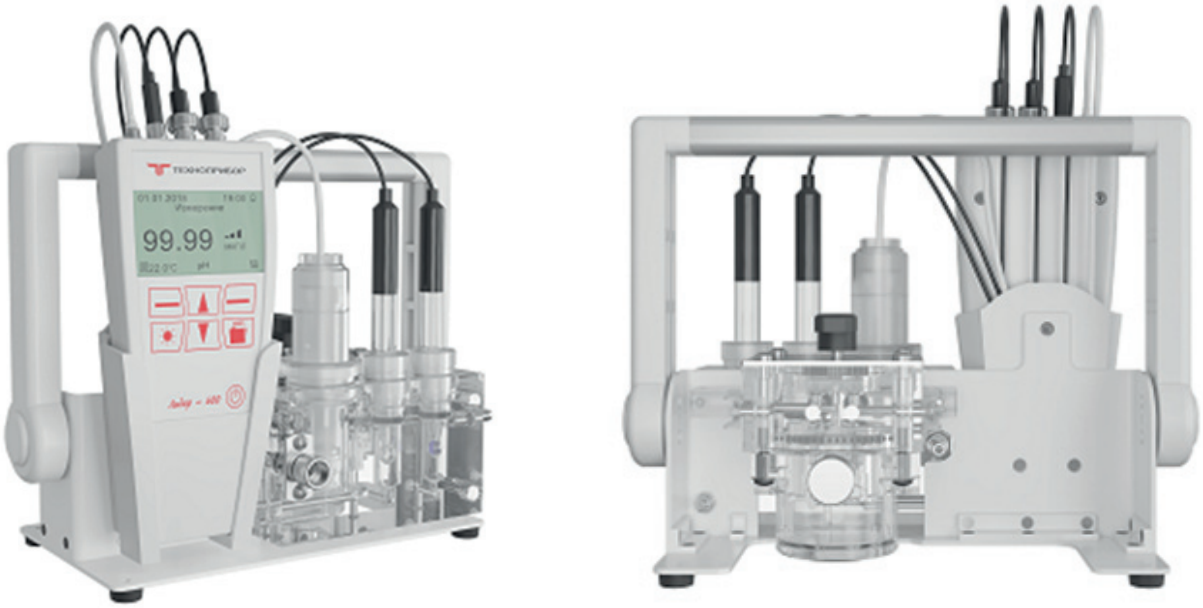

Рис 4. ЛИДЕР-600 в варианте с проточной комбинированной ячейкой Na-pX/pH/O2-H2.

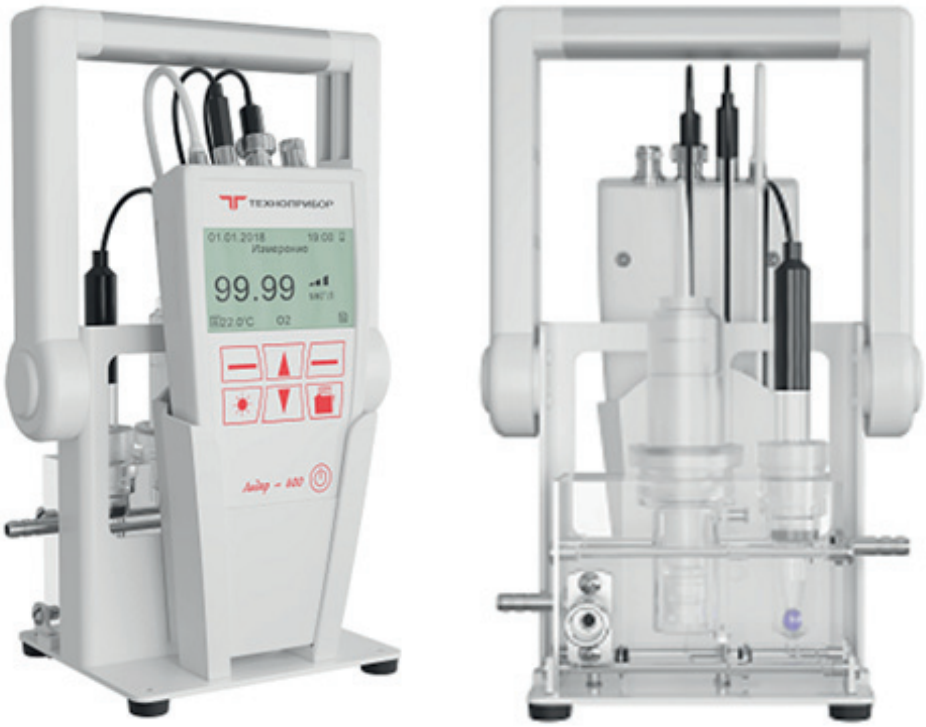

Рис 5. ЛИДЕР-600 в варианте с проточной комбинированной ячейкой pH/O2-H2.

Рис. 5. ЛИДЕР-600 в варианте с проточной комбинированной ячейкой pX/pH.

Рис. 6. ЛИДЕР-600 в варианте с проточной ячейкой pH (слева) и проточной ячейкой O2-H2 (справа).

Таблица 2. Метрологические характеристики измерительных каналов, входящих в систему «ЛИДЕР-600»

Наименование характеристик	Значение
Диапазон измерений массовой концентрации ионов натрия, г/дм^3	от 10^{-8} до 100
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений массовой концентрации ионов натрия, мкг/дм^3	±(0,03+0,07 С)*
Диапазон измерений pH	от 0 до 14
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений pH	±0,05
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений pH при температуре анализируемой среды от 15 до 25 °С и градуировке по буферным растворам pH 1-го разряда	±0,02
Диапазон измерений pX	от 1 до 7
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений pX	
– однозарядные ионы (Na^+, K^+, NH_4^+, Ag^+, F^-, Cl^-, Br^-, I^-, NO_2^-, NO_3^-)	±0,03
– двухзарядные ионы (Ba^{2+}, Ca^{2+}, Cu^{2+}, S^{2-})	±0,05
Диапазон измерений ОВП, мВ	от -2490 до +2490
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений ОВП, мВ	±6
Диапазон измерений массовой концентрации растворенного в воде кислорода, мкг/дм^3	от 0 до 20 10^3
Диапазон измерений массовой концентрации растворенного в воде водорода, мкг/дм^3	от 0 до 2 10^3
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений массовой концентрации растворенного в воде кислорода (водорода), мкг/дм^3	±(0,8+0,025 С)**
Диапазон измерений объемной доли кислорода (в воде), %	от 0 до 40
Диапазон измерений объемной доли водорода (в воде), %	от 0 до 100
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений массовой доли кислорода/водорода, %	±(0,05+0,025 С)***
* С – измеренная массовая концентрация ионов натрия, мкг/дм^3 ** С – измеренная массовая концентрация растворенного кислорода (водорода), мкг/дм^3 *** С – измеренная объемная доля кислорода (водорода), % **** результат измерений, в зависимости от выбранной размерности, выводится на дисплей анализатора в единицах pX, массовой или молярной концентрации, связанных между собой следующими формулами: $C = 10^{-pX}$, где С – молярная концентрация, моль/дм^3; $C = M \times 10^{-pX}$, где С – массовая концентрация, г/дм^3; М – молярная масса иона, г/моль.	