

ISSN 2500-316X (Online)

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-3-59-80>



УДК 699.88

Сорбционный кабельный сенсор с большим диапазоном чувствительности и области его применения

**С.А. Кудж¹,
В.С. Кондратенко¹,
А.Ю. Рогов^{1,@},
Ю.И. Сакуненко²,
Е.А. Дружинин³**

¹МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

²ООО «Инжиматик», Москва 105484, Россия

³ЗАО «РСК Технологии», Москва, 121170, Россия

@Автор для переписки, e-mail: ray40@ya.ru

В работе рассматриваются существующие подходы по использованию точечных и кабельных датчиков для контроля протечек и влажности окружающей среды. Показаны принципиальные недостатки систем контроля на их основе: при детектировании протечек существует задержка во времени срабатывания, обусловленная условием скопления жидкости вокруг датчиков; при контроле влажности протяженных сред возникает необходимость установки большого числа точечных датчиков с индивидуальными каналами коммутации; не существует универсального датчика контроля протечек и влажности. Предложено альтернативное решение – сорбционный кабельный сенсор с большим диапазоном чувствительности, который, как детектор протечек может быть размещен в любой точке 3D пространства, где появление протечки наиболее вероятно, а как линейный сенсор влажности – способен заменить точечные датчики в протяженной зоне контроля. Результаты исследований разработанных кабельных сенсоров подтверждают их высокую чувствительность, быстродействие и релаксационную способность восстанавливаться (высыхать) после воздействия протечки. Рассмотренные в статье области

применения, примеры внедрения сорбционного кабельного сенсора в систему контроля протечек и влажности воздуха вычислительных узлов с жидкостным охлаждением российских суперкомпьютеров, свидетельствуют о высокой эффективности и потенциале разработки. На основе сорбционных кабельных сенсоров возможно построение эффективных систем раннего обнаружения протечек по первым признакам их проявления, систем контроля влажности окружающей среды и универсальных систем контроля протечек, прорывов пара и уровня относительной влажности воздуха. Сокращение времени обнаружения протечек и прорывов пара позволит принимать превентивные меры для предотвращения развития ущерба, а применение кабельных сенсоров влажности взамен распределенных точечных датчиков позволит кардинально снизить затраты на организацию контроля влажности протяженных сред.

Ключевые слова: сорбционный кабельный сенсор, протечка, датчик влажности, вода, пар, влажность, относительная влажность воздуха, система жидкостного охлаждения, автоматизированная система контроля протечек.

Для цитирования: Кудж С.А., Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Сакуненко Ю.И., Дружинин Е.А. Сорбционный кабельный сенсор с большим диапазоном чувствительности и области его применения. *Российский технологический журнал*. 2020;8(3):59-80. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-3-59-80>

Sorption cable sensor with large sensing range and fields of its application

**Stanislav A. Kudzh¹,
Vladimir S. Kondratenko¹,
Aleksandr Yu. Rogov^{1,@},
Yuriy I. Sakunenko²,
Egor A. Druzhinin³**

¹MIREA - Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

²LLC «Engimatic», Moscow 105484, Russia

³JSC «RSK Technologies», Moscow 121170, Russia

@Corresponding author e-mail: ray40@ya.ru

The paper discusses the existing approaches to the use of point and cable sensors to control leaks and humidity. The principal disadvantages of monitoring systems based on them are shown: when detecting leaks, there is a delay in the response time due to the condition of fluid accumulation around the sensors; when controlling the humidity of extended environments, it becomes necessary to install a large number of point sensors with individual switching channels; there is no universal sensor for monitoring leaks and humidity. An alternative solution is proposed - a sorption cable sensor with a large sensitivity range, which, as a leak detector, can be placed anywhere in 3D space where leakage is most likely, and as a linear humidity sensor, it can replace point sensors in an extended control zone. The research results of the developed cable sensors confirm their

high sensitivity, speed and relaxation ability to recover (dry) after leaking. The areas of application considered in the article, examples of the implementation of a sorption cable sensor in a system for monitoring leaks and air humidity of computing nodes with liquid cooling of Russian supercomputers testify to the high efficiency and development potential. Based on sorption cable sensors, it is possible to build effective systems for early detection of leaks by the first signs of their manifestation, environmental humidity control systems and universal leakage control systems, steam breakthroughs and the level of relative humidity. Reducing the time for detecting leaks and steam breakthroughs will allow taking preventive measures to prevent the development of damage, and the use of cable humidity sensors instead of distributed point sensors will dramatically reduce the cost of organizing humidity monitoring of extended environments.

Keywords: sorption cable sensor, leakage, humidity sensor, water, steam, humidity, relative air humidity, liquid cooling system, automated leak control system.

For citation: Kudzh S.A., Kondratenko V.S., Rogov A.Yu., Sakunenko Yu.I., Druzhinin E.A. Sorption cable sensor with large sensing range and fields of its application. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal* = *Russian Technological Journal*. 2020;8(3):59-80 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-3-59-80>

Введение

Сенсоры играют значительную роль во всех областях человеческой деятельности. В зависимости от назначения они могут использоваться как в промышленности, так и в быту. Одними из важнейших задач контроля за состоянием сложно-технических объектов является контроль протечек и влажности среды. Для организации контроля протечек на ограниченных площадях, как правило, используются точечные датчики, а в случае протяженных объектов целесообразно применение линейных кабельных сенсоров [1]. Современные средства контроля влажности среды оснащаются преимущественно точечными датчиками. Поэтому в случае протяженного объекта для организации мониторинга влажности требуется распределенная система с множеством каналов коммутации, что приводит к ее удорожанию [2].

Для большинства критических объектов, например, таких как центры обработки данных (ЦОД), наличие двух систем, контролирующих протечки и микроклимат, является обязательным [3]. Сенсоры обеих систем могут располагаться в одних и тех же зонах машинных залов, например, внутри серверных шкафов, но информационно они не будут связаны.

Очевидным направлением унификации таких систем является применение универсального сенсора, способного детектировать как протечки, так и изменения уровня относительной влажности воздуха.

Несмотря на эволюцию развития систем обнаружения протечек в течение нескольких десятилетий принцип работы как точечных, так и кабельных гидросенсоров не претерпел существенных изменений и основывается на заливе (замыкании) электрических контактов, которые в целях защиты от ложных тревог приподняты над поверхностью пола или дна специального лотка для сбора жидкости [4, 5]. Данная конструктивная особенность современных гидросенсоров обуславливает их общий недостаток – задержку во времени срабатывания, так как пока не образуется скопление жидкости определенного уровня вокруг точечного датчика или участка кабельного сенсора, сигнал тревоги не появится.

Очевидно, что в течение этого времени задержки срабатывания гидросенсора ущерб от протечки будет развиваться.

Следует отметить, что современные гидросенсоры принципиально не детектируют воздействие пара и изменение уровня влажности окружающей среды.

Таким образом, весьма актуальным является создание универсального кабельного сенсора с большим диапазоном чувствительности, позволяющим детектировать воздействие минимальных количеств воды или пара, а также реагировать на изменение уровня влажности окружающей среды. На основе такого кабельного сенсора могут быть созданы как универсальные системы контроля протечек и влажности среды, так и системы мониторинга с отдельным функционалом, например контроля влажности почвы.

Сорбционный кабельный сенсор – новые возможности в гидросенсорике и контроле влажности среды

Исследования в области создания специальных полимерных композитов с улучшенными теплопроводящими и электропроводящими свойствами, так называемых «трансэнергопластиков», создали условия для разработки отечественного датчика утечек электропроводящих жидкостей принципиально новой конструкции [6] (рис. 1).

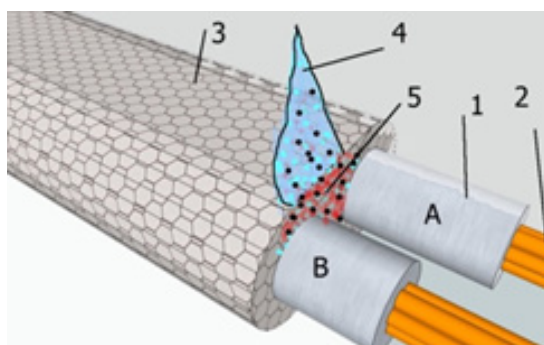


Рис. 1. Датчик утечек электропроводящих жидкостей и принцип его работы: композитная электропроводящая оболочка (1); металлический проводник (2); сорбционная оболочка (3); капля воды (4); зона частичной проводимости (5).

Принципиальным отличием отечественного сорбционного кабельного сенсора (СКС) от зарубежных аналогов является использование жил (А и В) с оболочкой из электропроводящего полимерного композита 1 и изолирующей их друг от друга сорбционной оболочкой 3, адсорбирующей жидкость протечки 4.

Исследования показали, что с помощью сорбционного кабеля такой конструкции можно детектировать не только микрокапли, но и воздействие пара. Экспериментально подтвержденный порог чувствительности СКС составляет 0,05 г воды [7].

В отличие от зарубежных аналогов, сорбционному кабельному сенсору для обнаружения протечки, прорыва пара не нужно скопление воды или накопление конденсата на полу или в специальной лотке под паропроводом (рис. 2а, б). Детектирование таких аварийных событий происходит уже при контакте сорбционной оболочки с их первыми признаками: появление капель, микротечей, движение фронта увлажнения поверхности, на которой расположен СКС (рис. 2в).



Рис. 2. Примеры размещения гидросенсорного кабеля: традиционного – на полу (а) и в лотке под трубопроводом (б); СКС – на поверхности трубопровода снизу (в).

Размещение СКС в любых точках 3D пространства, в местах наиболее вероятного появления первых признаков протечек или прорывов пара, позволяет принципиально исключить запаздывание в обнаружении аварийных ситуаций и создать условия для принятия превентивных мер по предотвращению развития ущерба.

С целью анализа свойств СКС как гидросенсора, были исследованы изменения во времени электрического сопротивления образцов кабеля различной длины при воздействии капли воды (~50 мг) в течение нескольких циклов воздействия на каждый образец. Под циклом воздействия понимается временной интервал от момента смачивания каплей самого удаленного от измерительного прибора участка образца до восстановления начального значения измеряемой величины при высыхании кабеля. Усредненные значения параметров – начальные и конечные величины электрического сопротивления; время достижения минимального значения; время высыхания образца (восстановление начальной величины электрического сопротивления) – приведены в таблице 1.

Так как при воздействии капли воды значения электрического сопротивления изменялись более чем на порядок за время соизмеримое с единицами секунд, конечные значения электрического сопротивления образцов двухжильного кабеля фиксировались сразу же после воздействия. Далее измерения показали, что в зависимости от размера капли релаксационный процесс высыхания мог начаться уже через несколько секунд, либо в течение нескольких минут. Разница во времени начала процесса высыхания вызвана тем, что при большем размере воздействующей капли часть объема воды под действием капиллярных сил распространяется в разные стороны вдоль кабеля в толще сорбционной оболочки, вызывая дополнительное уменьшение общего электрического сопротивления кабеля.

Таблица 1. Усредненные значения электрического сопротивления и временных параметров образцов СКС при воздействии капли воды

№ п/п	Длина образца двухжильного сорбционного гидросенсорного кабеля (поперечное сечение 2х4 мм), м	Начальное значение электрического сопротивления, (максимальное), МОм	Конечное значение электрического сопротивления, (минимальное) кОм	Время достижения минимальной величины электрического сопротивления, с	Время восстановления начального значения электрического сопротивления образца, мин
1	1	50.7	146	1-5	10
2	5	48.6	192	1-5	7
3	25	42.4	175	1-5	9

Данные таблицы 1 показывают, что время достижения минимальной величины электрического сопротивления), как и сами их конечные величины, для одной конструкции кабеля с выбранными длинами образцов практически одинаковы и определяются только отклонениями в объеме воздействующей капли. Большой объем капли снижал электрическое сопротивление образца до меньшей величины, и восстановительный процесс высыхания длился дольше.

Исследовалась также емкостная составляющая тех же образцов, как псевдо-плоских конденсаторов, у которых роль обкладок выполняют электропроводящие жилы, а диэлектрической прокладки – сорбционная оболочка в пространстве между ними.

Измерения показали, что в сухом состоянии, при относительной влажности окружающего воздуха не более 30%, значения электрических емкостей образцов СКС примерно пропорциональны его длине, а при воздействии капли воды, также изменяют свою величину скачкообразно в сторону повышения значений (табл. 2).

При соприкосновении капли с сорбционной оболочкой, молекулы воды заполняют пористую структуру диэлектрической прокладки, повышают ее диэлектрическую проницаемость, повышая значение электрической емкости образца кабеля. Следует отметить, что диэлектрическая проницаемость пористой структуры диэлектрической прокладки складывается из значений диэлектрической проницаемости воздуха (~1), переплетенной полимерной нити (~3–5) и воды (~80) [8], причем молекулы воды, вытесняя воздух из пор диэлектрической прокладки, вносят преобладающий вклад в изменение электрической емкости всего кабеля.

Как и в случае с измерениями временных зависимостей изменений электрического сопротивления, время восстановления начальных значений электрической емкости образцов двухжильного кабеля зависело только от вариаций объема воздействующей капли, и укладывалось в подобный временной интервал в пределах 10–11 минут.

С точки зрения энергопотребления, емкостные датчики более выгодны, чем резистивные [9], поэтому при использовании сорбционного кабеля целесообразно рассматривать электрическую емкость, как регистрируемую величину.

Для определения местоположения протечки с помощью СКС могут быть использованы два способа: зонный или линейный. Зонный способ заключается в том, что в каждой зоне контроля 3D пространства размещается кабельный сенсор требуемой длины с персональным идентификационным номером. При срабатывании кабельного сенсора по его идентификационному номеру определяется зона, в которой произошла протечка. Линейный способ основан на использовании СКС большой длины, которые прокладываются по требуемым точкам контроля, а местоположение воздействия протечки, приводящей к электрическим неоднородностям в кабеле, детектируется методом импульсной рефлектометрии [10].

Таблица 2. Усредненные значения электрической емкости и временных параметров образцов СКС при воздействии капли воды

№ п/п	Длина образца двухжильного сорбционного гидросенсорного кабеля (поперечное сечение 2x4 мм), м	Начальное значение электрической емкости, (минимальное), нФ	Конечное значение электрической емкости, (максимальное), нФ	Время достижения максимальной величины электрической емкости, с	Время восстановления начального значения электрической емкости образца, мин
1	1	0.174	17.1	1-5	11
2	5	0.582	13.0	1-5	8
3	25	2.2	16.2	1-5	9

Исследования возможности применения рефлектометрического метода для обнаружения мест воздействия протечек на сорбционный кабельный сенсор проводились с использованием рефлектометра РЕЙС-105 М1 [11]. Анализ полученных рефлектограмм показал, что с помощью данного метода возможно определение местоположения замкания кабеля, оценка длины замкнутого участка (масштаба протечки), а по изменению его протяженности во времени – динамики развития протечки [12].

Следует отметить, что качество рефлектограмм зависит от конструкции кабеля [13], в частности эффективность импульсной рефлектометрии намного выше при зондировании разработанного коаксиального кабеля (рис. 3) [14] по сравнению с двухжильным.

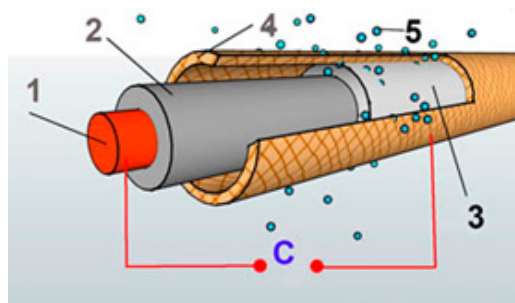


Рис. 3. Универсальный сорбционный кабельный сенсор: металлический проводник (1); композитная электропроводящая оболочка (2); сорбционная капиллярно-пористая оболочка – диэлектрическая прокладка (3); металлическая сетка-экран (4); молекулы воды (5).

Созданный коаксиальный СКС позволяет детектировать изменения уровня влажности окружающей среды, прорывы пара, протечки, а его коаксиальная конструкция обеспечивает эффективное применение метода импульсной рефлектометрии для детектирования местоположения участков замкания кабеля.

Для организации контроля протечек на предприятиях радиоэлектронной промышленности, в центрах обработки данных, внутри корпусов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) были разработаны модификации коаксиальной конструкции универсального СКС с внешней диэлектрической оболочкой 5 (рис. 4а) и дополнительным металлическим сетчатым экраном 6 (рис. 4б) [15, 16].

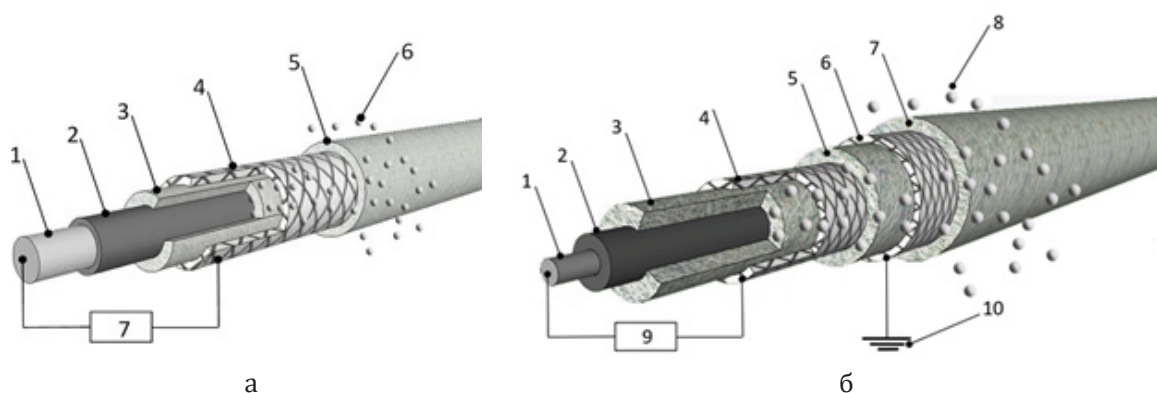





Рис. 4. Усовершенствованный сорбционный кабельный сенсор: с внешней диэлектрической оболочкой 5 (а); с дополнительным металлическим сетчатым экраном 6 и внешней диэлектрической оболочкой 7 (б).

Изолирующая оболочка 5 исключает случайный электрический контакт СКС с корпусами и элементами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), а взаимное электромагнитное влияние кабеля и РЭА, где это необходимо, блокирует металлическая сетка-экран 6, также покрытая сорбционной оболочкой 7.

Следует отметить, что электрическая емкость коаксиального кабеля эквивалентна емкости протяженного цилиндрического конденсатора [17]. В конструкции СКС роль конденсаторных обкладок выполняют внешняя сторона композитной электропроводящей оболочки 2 и внутренняя поверхность металлического сетчатого экрана 4, а диэлектрической прокладкой служит сорбционная капиллярно-пористая оболочка 3.

С целью проведения сравнительной оценки влияния воды (~50 мг), имитирующей воздействие на СКС первых признаков протечки, были выбраны три образца различных по конструкции и размерам сорбционных кабелей длиной по 3 метра (табл. 3).

Таблица 3. Описание конструкции образцов сорбционного кабельного сенсора

№ п/п	Конструкция и краткое наименование образца	Описание конструкции	Размеры /начальное значение емкости
1	 <p>Обр. 1_ _Коаксиальный_ d=2,5 мм</p>	<p>Коаксиальный кабель состоит из:</p> <ul style="list-style-type: none"> – центральной жилы (пучок из семи проводников, покрытый электропроводящим композитом); – внутренней изолирующей сорбционной оболочки; – металлического сетчатого экрана; – внешней изолирующей сорбционной оболочки. <p>Плотность намотки сорбционных оболочек – 100%, металлического сетчатого экрана (сетка желтых двухжильных проводов между оболочками) – 50%</p>	<p>Диаметр – 2,5 мм, длина – 3 м / 1,2 nF</p>
2	 <p>Обр. 2_ _Коаксиальный_ d=3,0 мм</p>	<p>Коаксиальный кабель состоит из:</p> <ul style="list-style-type: none"> – центральной жилы (пучок из семи проводников, покрытый электропроводящим композитом); – внутренней изолирующей сорбционной оболочки; – металлического сетчатого экрана; – внешней изолирующей сорбционной оболочки. <p>Плотность намотки сорбционных оболочек – 150%, металлического сетчатого экрана (сетка из желтых двухжильных проводов между оболочками) – 50%</p>	<p>Диаметр – 3,0 мм, длина – 3 м / 0,76 nF</p>
3	 <p>Обр. 3_ _Двухжильный_ сечение 2x4 мм</p>	<p>Двухжильный кабель с плоским поперечным сечением. Каждая жила представляет собой пучок из семи проводников, покрытый электропроводящим композитом. Жилы покрыты индивидуальными сорбционными оболочками и скреплены общей сорбционной оболочкой. Плотность намотки сорбционных оболочек – 100%. Плотность намотки скрепляющей сорбционной оболочки – 30%</p>	<p>Поперечное сечение – 2x4 мм, длина – 3 м / 0,3 nF</p>

Зависимости электрической емкости от времени каждого из образцов СКС при воздействии воды на расстоянии 3 метра от измерительного прибора представлены на рис. 5.

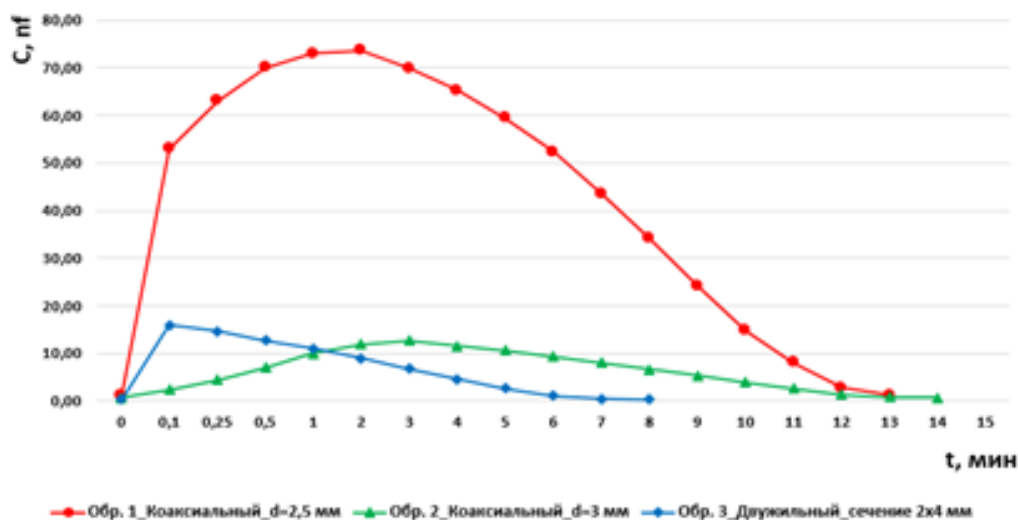


Рис. 5. Зависимости электрической емкости от времени образцов СКС длиной 3 м при воздействии воды (~50 мг).

Анализ зависимостей (рис. 5) позволяет сделать вывод, что максимальная скорость реакции на соприкосновение с водой имеет коаксиальный кабель с сорбционными оболочками базовой толщины (образец 1, плотность намотки – 100%), чему способствует их быстрое смачивание. Второе место по этому показателю занимает образец 3 двухжильного кабеля, у которого каждая жила имеет собственную сорбционную оболочку базовой толщины, а обе жилы скреплены дополнительной сорбционной оболочкой с плотностью намотки 30%, увеличивающей общий объем сорбционной оболочки образца по всей его длине. Образец 2 коаксиального кабеля (плотность намотки – 150%) показал самый медленный рост значений электрической емкости и самый большой цикл реакции на воздействие.

В условиях неизменного уровня относительной влажности воздуха, не превышающего значение 30%, время релаксации для всех исследуемых образцов составило не более 15 минут, что свидетельствует о высокой степени самовосстановления работоспособности гидросенсоров такого типа.

Сорбционный кабельный сенсор был разработан, прежде всего, с целью создания на его основе конкурентоспособных отечественных автоматизированных систем контроля протечек промышленного назначения и для домохозяйств, обеспечивающих раннее обнаружение первых признаков протечек и создающих условия для принятия превентивных мер по предотвращению развития ущерба. На основе СКС возможно также создание ряда автоматизированных технических решений, реализующих контактный метод контроля влажности среды, например, влажности бетона при созревании или почвы для автоматизации полива. Возможны и комбинированные технические решения по контролю протечек, прорывов пара, уровня относительной влажности воздуха.

Автоматизированный контроль протечек и уровня относительной влажности воздуха в вычислительных узлах высокопроизводительных вычислительных систем с жидкостным охлаждением

Актуальной проблемой и сдерживающим фактором широкого внедрения высокопроизводительных вычислительных систем с жидкостным охлаждением являются риски протечек из жидкостных каналов радиаторов охлаждения, установленных непосредственно в корпусах вычислительных узлов сверхплотного размещения в серверных стойках [18].

Традиционные решения защиты от протечек в таких системах строятся на гидросенсорах, устанавливаемых в поддоне каждой серверной стойки и срабатывающих при заливе, что крайне неэффективно и не снимает риски повреждения дорогостоящих вычислительных узлов.

На основе сорбционных кабельных сенсоров был реализован альтернативный подход к контролю протечек хладоносителя и уровня относительной влажности воздуха во внутреннем объеме корпусов вычислительных узлов с жидкостным охлаждением.

На рис. 6 показано высокоплотное вычислительное поле «РСК Торнадо» с контактной системой жидкостного охлаждения, реализованное в суперкомпьютере им. Н.Н. Говоруна Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна, Моск. обл.) [19], в котором система контроля протечек и уровня относительной влажности воздуха во внутренних объемах корпусов вычислительных узлов построена на СКС.

Система контроля протечек суперкомпьютера реализована на основе стека мониторинга и управления «РСК БазИС», и в дежурном режиме отслеживает изменения уровня относительной влажности воздуха внутри каждого из вычислительных узлов. Данная информация используется системой управления для недопущения возникновения «точки росы» [20]. Также в системе контроля реализован специальный алгоритм обнаружения протечки по скорости изменения сигнала от СКС [21].

Следует отметить, что за период эксплуатации система контроля протечек продемонстрировала высокую надежность и обеспечила детектирование нетипичного возрастания уровня сигнала от СКС одного из вычислительных узлов, причем данное изменение носило плавный характер, и система не детектировала его как протечку. В результате проверки была обнаружена микрощель во входном штуцере канала циркуляции хладоносителя, через которую он

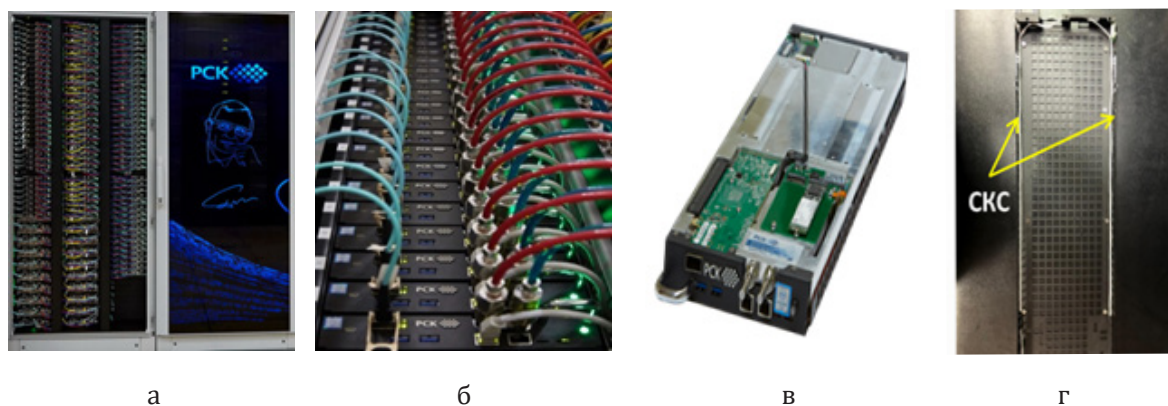


Рис. 6. Вычислительное поле «РСК Торнадо»: высокоплотное размещение вычислительных узлов (а, б); вычислительный узел с жидкостным охлаждением (в); размещение СКС в корпусе (г).

начал «парить», повышая уровень влажности внутри корпуса вычислительного узла. Превентивная замена неисправного элемента позволила избежать протечки в будущем.

Зарекомендовавшая себя с положительной стороны система контроля протечек и уровня относительной влажности воздуха позволила производителю суперкомпьютеров принять решение об оснащении такими системами новых и модернизируемых вычислительных систем.

Очередным объектом внедрения системы контроля протечек стал Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук (МСЦ РАН) [22], который является одним из самых мощных российских вычислительных центров коллективного пользования в сфере науки и образования, и его технологической основой также является отечественная универсальная высокоплотная и энергоэффективная платформа «РСК Торнадо» [22].

У стека программного обеспечения «РСК БазИС» имеются функциональные возможности мониторинга и управления территориально распределенными центрами обработки данных, что позволяет обеспечить контроль уровня влажности и статуса протечки во всех вычислительных узлах суперкомпьютеров, вне зависимости от места их географического расположения и числа.

Промышленная автоматизированная система контроля протечек воды и прорывов пара

Первая в России опытная промышленная автоматизированная система контроля протечек воды и прорывов пара (АСКП) на основе сорбционных кабельных сенсоров была создана в 2017 году совместно специалистами Физико-технологического института РТУ МИРЭА и компании ТВИН ТК (г. Москва) [23]. В АСКП была реализована трехуровневая информационная структура и зонный принцип обнаружения протечек воды и прорывов пара (рис. 7).

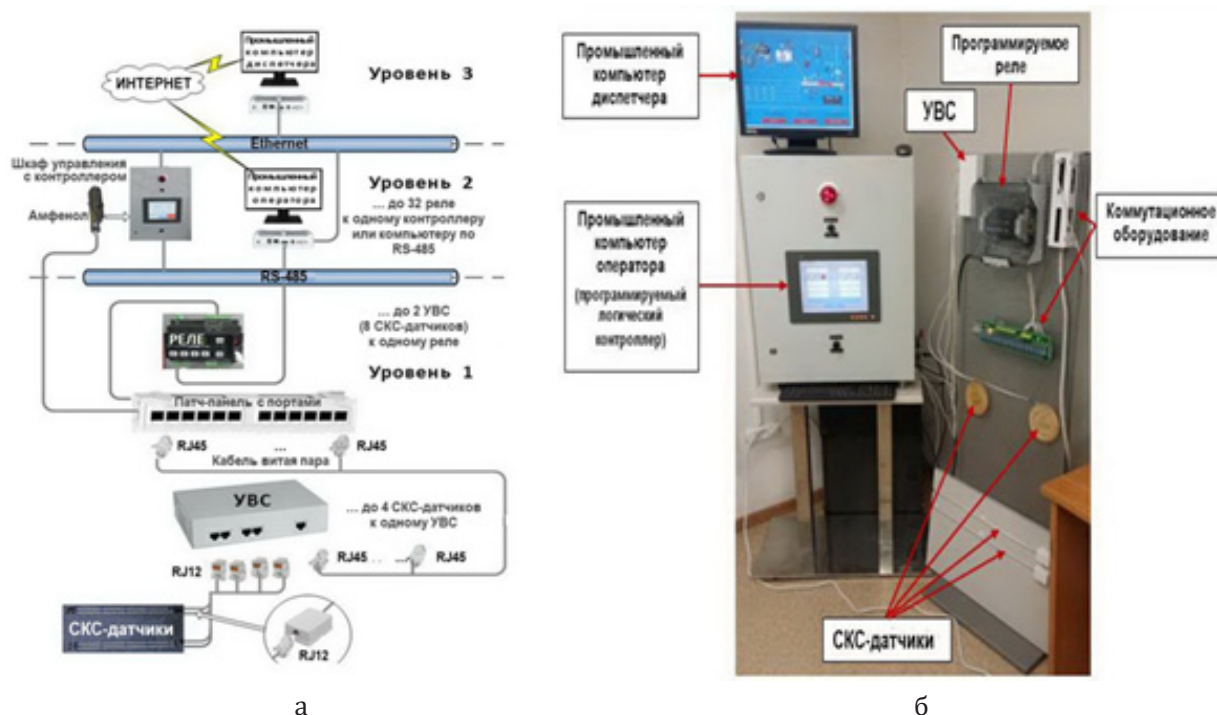


Рис. 7. Трехуровневая автоматизированная система контроля протечек воды и прорывов пара: структурная схема (а); состав опытного образца (б).

Первый уровень системы состоит из СКС-датчиков, представляющих собой отдельные сорбционные кабельные сенсоры требуемой длины, подключенные к устройствам ввода сигнала (УВС). В УВС реализован алгоритм обработки, позволяющий обнаруживать протечки и прорывы пара в условиях колебания уровня относительной влажности воздуха. Сигнал срабатывания УВС идентифицирует зону аварийного события и запускает автоматический алгоритм действий, в программируемом реле (в опытном образце модель ОВЕН ПР200). В зависимости от типа аварийного события такими действиями могут быть: включение свето-звуковой сигнализации; запуск приводов запорной арматуры; инициация сообщений об аварии по каналам связи установленным потребителям.

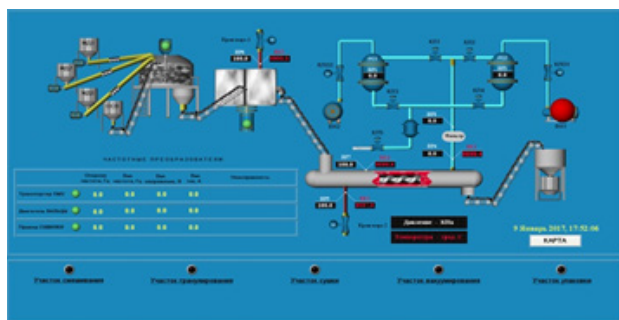
Через интерфейс программируемого реле информация об аварийном событии поступает на второй информационный уровень, например, на промышленный компьютер оператора участка производства, на экране которого с помощью мнемосхемы красным цветом выделяется источник протечки (рис. 8).



Рис. 8. Мнемосхема визуализации протечки в зоне насоса ВН1 на мониторе промышленного компьютера оператора участка производства.

Появление на экране оператора участка производства мнемосхемы со статусом протечки, как правило, дублируется сигналом сигнализации.

Третий уровень АСКП представлен промышленным компьютером диспетчера, который с помощью мнемосхем может контролировать аварийные события на одном или нескольких производствах (рис. 9).



а



б

Рис. 9. Визуализация аварийного события на компьютере диспетчера: общая мнемосхема производства с аварийным сигналом протечки в зоне насоса ВН1 (а); вид мнемосхемы с аварийным сигналом на карте размещения производств в городах центрального региона страны (б).

В случае необходимости контроля протечек воды или прорывов пара на протяженных объектах в АСКП может использоваться сорбционный кабель большой длины, а в качестве устройства ввода сигнала – импульсный рефлектометр.

Объектами контроля промышленных АСКП могут быть теплоэлектроцентрали, атомные электростанции, промышленные предприятия, центры обработки данных, объекты ЖКХ (котельные, насосные станции и др.), жилищные комплексы, торгово-развлекательные центры, гостиницы, офисные центры, медучреждения, хранилища, архивы и другие объекты.

Высокая чувствительность СКС-датчиков позволяет размещать их непосредственно на поверхности потенциальных источников протечки, на трубопроводах систем водоснабжения и отопления, перекачивающих насосах, промышленных паропроводах, элементах запорной арматуры и др. Также с помощью сорбционных кабелей возможно организовать потолочные контуры контроля протечек, контроль протечек крыш, прорывов пара (рис. 10), что до настоящего времени не реализовано традиционной гидросенсорикой.

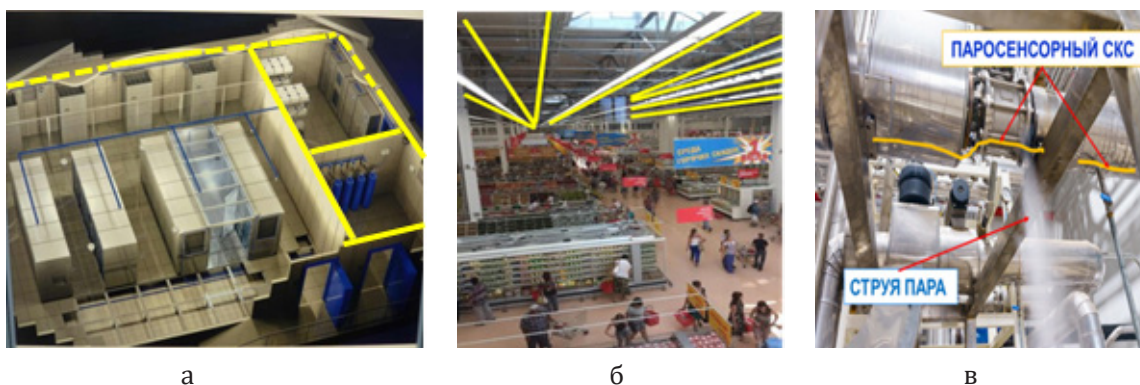


Рис. 10. Потенциал применений сорбционных кабельных сенсоров недоступных традиционной гидросенсорике: контроль протечек потолочного контура (а); контроль протечек крыш объектов массового пребывания людей (б); контроль прорывов паропроводов перегретого пара (в).

Следует отметить, что примером, свидетельствующим об острой необходимости оснащения системами контроля протечек крыш объектов массового пребывания людей, может служить пожар в торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня» в 2018 году в г. Кемерово, приведший к трагическим последствиям. Специалисты исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС РФ в процессе проведения экспертизы установили, что пожар в этом ТРЦ мог возникнуть из-за короткого замыкания, вызванного протечкой в крыше [24]. Обильное таяние снега послужило причиной протечки через негерметичность кровли, которая не была своевременно обнаружена и привела к короткому замыканию электропроводки осветительной сети, вызвавшему пожар.

Автоматизированная система контроля протечек для жилищных комплексов

Существующие технические решения по защите домохозяйств от протечек не позволяют устранить все риски, связанные, например, с заливом «соседом сверху» или при прорыве радиатора системы отопления.

Общий недостаток таких систем заключается в принципе их работы – перекрытие подачи воды в квартиру при срабатывании одного из гидросенсорных датчиков, расположен-

ного на полу заливаемого помещения. Очевидно, что перекрытие труб горячего и холодного водоснабжения квартиры не остановит залив сверху и течь из радиатора отопления.

Возможность размещения сорбционного кабеля в 3D пространстве [25] позволяет приблизить сенсоры нового типа к наиболее вероятным местам появления первых признаков протечек и к самим источникам протечек. В рассмотренных случаях такими местами являются потолочный контур квартиры (рис. 11) и нижняя часть радиатора отопления, на которой может быть зафиксирован сорбционный кабель.



Рис. 11. Потолочный контур контроля протечек.

Предлагаемое альтернативное техническое решение подразумевает, что в местах вероятного появления протечек в квартире, таких как потолочные контуры помещений, стояки, днища стиральных и посудомоечных машин, радиаторы отопления и др. будут размещены номерные СКС, информационно связанные по проводному или беспроводному интерфейсу с базовой станцией квартиры. В случае реализации концепции «умного дома» и специальных протоколов связи [26] возможно построение беспроводной сети опроса статуса СКС общей станцией, например, отдельного жилого дома. Такая станция может принадлежать управляющей компании, связанной договорными отношениями по контролю протечек с собственниками квартир.

В условиях жилищного комплекса базовые станции квартир или отдельных «умных домов» могут быть объединены единым интерфейсом многоуровневой беспроводной автоматизированной системы контроля протечек для жилищных комплексов [27] с единым дежурным диспетчерским центром управляющей компании.

С целью сокращения времени определения источника протечки, принятия действенных мер по локализации протечки и минимизации ущерба в многоуровневой беспроводной автоматизированной системе контроля протечек предусмотрена визуализация процесса обнаружения протечек с помощью мнемосхем.

На рис. 12 приведен пример возможного сценария последовательности смены мнемосхем, отображающих алгоритм определения источника протечки в масштабах жилищного комплекса (ЖК) из двенадцати многоэтажных жилых домов.

На рис. 12а показана мнемосхема плана расположения домов ЖК и тревожный сигнал (мигающий красный круг, сменивший немигающий зеленый), свидетельствующий о том, что в доме № 8 многоуровневой системой контроля протечек зафиксирована протечка.

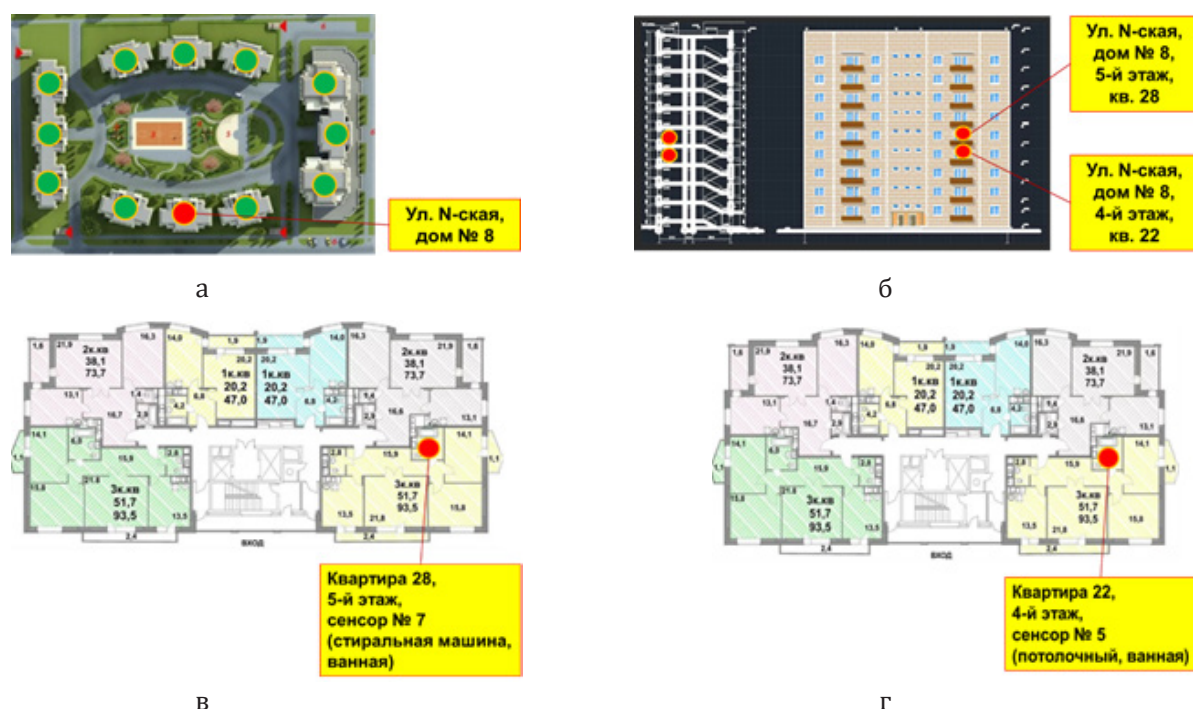


Рис. 12. Мнемосхемы возможного сценария протечек в двух квартирах многоквартирного дома № 8 жилищного комплекса.

ка. Вид сносок с дополнительной информацией может быть настроен в соответствии с требованиями заказчика. Подразумевается также, что появление сигнала о протечке на мнемосхеме плана ЖК на экране монитора дежурного диспетчера будет сопровождаться свето-звуковой сигнализацией с возможностью отключения ее после срабатывания.

Нажатие на мигающий красный круг приводит к появлению на экране дисплея мнемосхемы поэтажного плана дома (рис. 12б), которая показывает, что в результате аварийного события уже сработали СКС в двух квартирах, расположенных одна под другой.

Последовательные воздействия на мигающие красные круги квартир выводят на экран мнемосхемы с планами квартир и сносками (рис. 12в, г), дающими исчерпывающую информацию о виновной стороне залива квартиры № 22 на 4-м этаже.

Таким образом, дежурный диспетчер с помощью мнемосхем за короткое время получит информацию об источнике протечки в доме № 8 в виде стиральной машины в квартире № 28 и возможности принятия оперативных мер по локализации аварии и минимизации ущерба в квартире № 22.

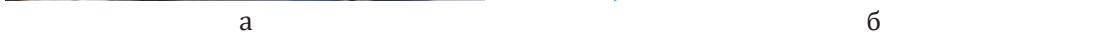
Представленный сценарий предполагал что, протечка преодолевает межэтажное перекрытие за малое время. При альтернативном сценарии многоуровневая система контроля протечек, выдав сигнал об источнике протечки, создает условия для принятия своевременных мер по предотвращению ущерба нижерасположенной квартире.

Система неразрушающего контроля влажности бетонных конструкций на основе линейных кабельных сенсоров влажности

В настоящее время проблема контроля качества строительства бетонных конструкций решается многими способами, в том числе и контролем влажности бетона, как на этапе созревания, так и в процессе эксплуатации зданий и сооружений [28, 29]. Однако, общими

Созревание бетона является весьма важным этапом и в современном строительстве контролируется точечными радиодатчиками влажности, глубина размещения которых ограничивается способностью радиоволн проникать через слой бетона.

Очевидно, что в этом случае линейный кабельный сенсор влажности заменяет большое число точечных датчиков и удешевляет систему контроля.



Также в работе [32] приводятся результаты исследований, свидетельствующие, что оптимальное число датчиков, в зависимости от размера поля, характеристик ландшафта, объемной влажности почвы и неравномерности ее распределения по площади составляет от 4 до 250 шт.

Применение простейших автоматизированных систем полива с использованием таймера, включающего полив на определенное время, не решает проблему и часто приводит к ошибкам полива.

Автоматизированная система полива на основе линейных кабельных сенсоров влажности, размещенных на уровне корней растений (рис. 14) по контролируемым направлениям, позволит получать усредненное значение влажности почвы вдоль всей их длины и давать команду на полив или на остановку полива, если это значение будет выходить за пределы заданного коридора значений.

Линейные кабельные сенсоры влажности почвы способны заменить дорогостоящие беспроводные решения систем интеллектуального полива не только на полях, но, прежде всего, в тепличном овощеводстве, доля которого в мире стремительно растет [33].

Автоматизированные системы прямого контроля влажности почвы (рис. 15) позволят также оптимизировать полив в зависимости от вида культуры и ее вегетативной стадии роста.

Невысокая стоимость реализации таких систем делает их перспективными для рынка тепличного овощеводства.

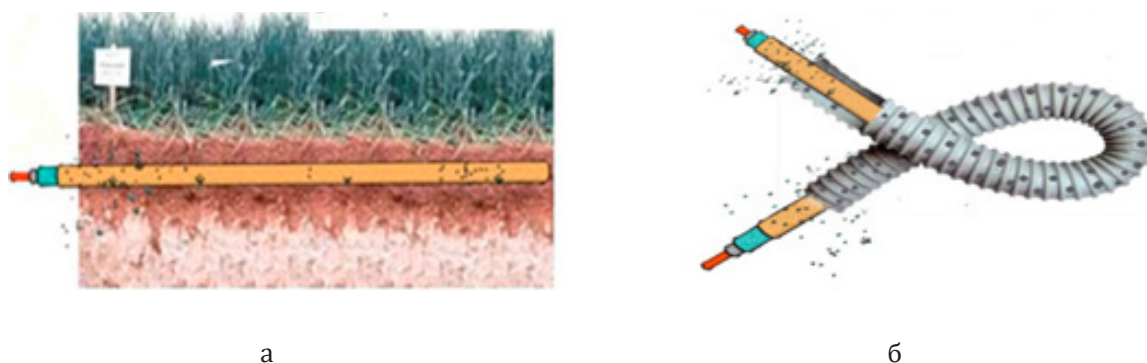


Рис. 14. Линейный кабельный сенсор влажности почвы: размещение (а); прототип (б).

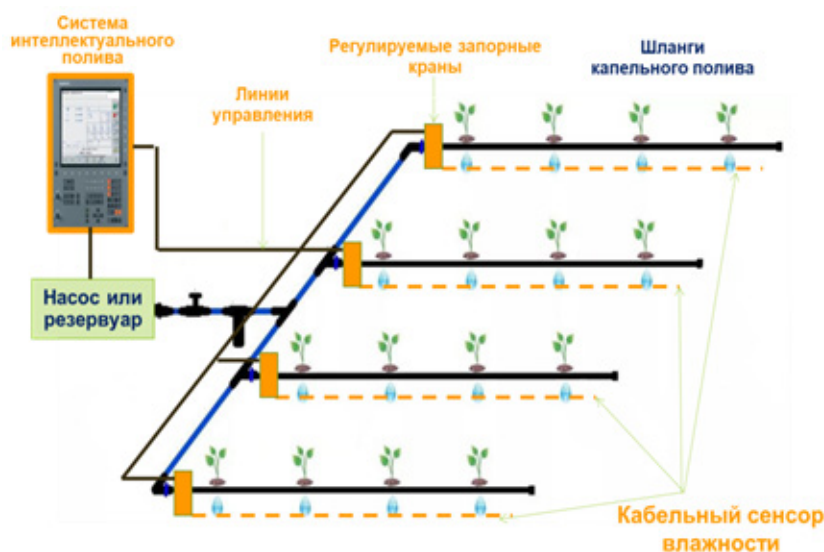


Рис. 15. Система интеллектуального полива на основе кабельных сенсоров влажности.

Система мониторинга влажности природных газов

Природный газ, добытый из газовых и газоконденсатных месторождений, как правило, насыщен парами влаги, которые в силу различных обстоятельств могут конденсироваться в газопроводных трубах и элементах газоперекачивающей инфраструктуры, вызывая их коррозию [34]. Традиционно контроль влажности перекачиваемого газа проводится в отдельных точках транспортной инфраструктуры с применением дорогостоящего оборудования, которое ограничивает количество мест такого контроля.

На основе линейных кабельных сенсоров влажности могут быть созданы системы мониторинга как для контроля уровня влажности природных газов на перекачивающих станциях, так и непосредственно внутри газопроводных труб (рис. 16) для обнаружения конденсата, что позволит принимать превентивные меры по его осушению и предотвращению коррозии [35].

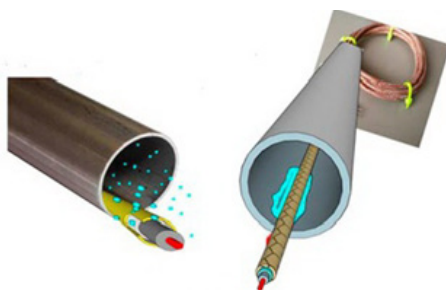


Рис. 16. Применение линейных кабельных сенсоров для контроля уровня влажности и образования конденсата в газопроводах

Заключение

Рассмотренные в работе виды сорбционных кабельных сенсоров и системы контроля на их основе имеют неоспоримые преимущества перед зарубежными аналогами и могут обеспечить прорыв в отечественной гидросенсорике и контроле влажности среды.

Возможность размещения 3D кабельных сенсоров в местах наиболее вероятного появления первых признаков протечек и прорывов пара позволяет принципиально уменьшить время обнаружения аварийных ситуаций и создает условия для снижения ущерба от протечек.

На основе линейных кабельных сенсоров большой протяженности возможно построение систем мониторинга влажности ответственных бетонных сооружений на этапах их строительства и эксплуатации, а также создание эффективных систем интеллектуального полива почвы.

Опыт успешного внедрения сорбционных кабельных сенсоров для контроля протечек хладоносителя и «точки росы» в отечественных суперкомпьютерах с жидкостным охлаждением подтверждает практическую значимость разработки и перспективы внедрения в другие сферы гидросенсорике и контроля влажности среды.

Высшая награда проекта-победителя «Сорбционные 3D сенсоры протечек воды, углеводородов, влажности среды», разработанного с участием авторов и удостоенного Главной премии для изобретателей ВОИР-2019 [36], подтверждает высокий инновационный потенциал сорбционных кабельных сенсоров, изобретенных в России.

Литература:

1. Water Leak Detection [Электронный ресурс]. <http://www.articlesfactory.com/articles/business/water-leak-detection.html>.
2. Temperature and humidity monitoring systems for fixed storage areas. Technical supplement to WHO Technical Report Series, No. 961, 2011. URL: https://www.who.int/medicines/areas/quality_safety/quality_assurance/supplement_6.pdf?ua=1
3. Data center monitoring system considerations [Электронный ресурс]. <https://searchitoperations.techtarget.com/tip/Data-center-monitoring-system-considerations>.
4. Системы защиты от протечек. [Электронный ресурс]. <https://remstd.ru/archives/antipotopnyie-sistemyi-dlya-doma/>.
5. Системы обнаружения и локализации утечек TraceTek [Электронный ресурс]. <http://www.intel-a.ru/downloads/TraceTek%20Ubersicht.pdf>.
6. Сакуненко Ю.И., Кондратенко В.С. Датчик утечек электропроводящих жидкостей: пат. 2545485 РФ. Заявка № 2013155730; заявл. 17.12.2013; опубл. 10.04.2015. Бюл. № 10.
7. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Сорбционный гидросенсорный кабель – новые возможности. *РИТМ машиностроения*. 2015;1:40-42.
8. Относительная диэлектрическая проницаемость [Электронный ресурс]. <http://weldworld.ru/theory/summary/otnositelnaya-dielektricheskaya-pronicaemost.html>.
9. Преимущества емкостных датчиков по сравнению с датчиками других типов [Электронный ресурс]. https://studopedia.ru/9_2870_preimushchestva-emkostnih-datchikov-po-sravneniyu-s-datchikami-drugih-tipov.html
10. Технология поиска дефектов кабеля с использованием рефлектометра: замкшие участки кабеля [Электронный ресурс]. http://www.tdse.ru/info/articles/reflektom_mc_07.
11. Рефлектометр портативный цифровой. РЕЙС 105 М1. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. https://skomplekt.com/files/goods/3817431406/manual_reis_105.pdf.
12. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Сакуненко Ю.И., Сорокин А.В. Разработка методов определения места и размеров протечек с помощью сорбционного гидросенсорного кабеля. *Контроль. Диагностика*. 2018;5:32-37.
13. Метод импульсной рефлектометрии (TDR). Как найти обрыв в кабеле. [Электронный ресурс]. <http://www.ersted.ru/stati/reflektometrija/impulsnaya-reflektometriya/>
14. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Датчик влажности: пат. 179730 РФ. Заявка № 2018104563; заявл. 06.02.2018; опубл. 23.05.2018.
15. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Исаков Д.Р. Кабельный сенсор влажности и протечек: пат. 186924 РФ. Заявка № 2018137133; заявл. 22.10.2018; опубл. 11.02.2019. Бюл. № 5.
16. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Исаков Д.Р. Кабельный сенсор влажности и протечек: пат. 187823 РФ. Заявка № 2018138657; заявл. 02.11.2018; опубл. 19.03.2019. Бюл. № 5.
17. Ёмкость цилиндрического конденсатора [Электронный ресурс]. <https://energetik.com.ru/zakony-elektrotehniki-korotko/elektricheskaya-yomkost-yomkost-kondensatora/yomkost-cilindricheskogo-kondensatora>
18. Абрамов С.М., Амелькин С.А., Чичковский А.А. Различные подходы к жидкостному охлаждению — PRO & CONTRA. *Суперкомпьютеры*. 2012;3(11):34-35.
19. Пресс-релиз. Обновленный суперкомпьютер имени Н.Н. Говоруна представлен в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне [Электронный ресурс]. <https://docplayer.ru/171270860-Press-reliz-obnovlennyy-superkompyuter-imeni-n-n-govoruna-predstavlen-v-obedinennom-institute-yadernyh-issledovaniy-v-dubne.html>
20. Точка росы [Электронный ресурс]. <http://www.teohim.ru/nalivnye/tochka-rosy/>
21. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Дружинин Е.А. Контроль протечек и влажности с помощью сорбционного кабельного сенсора в высокопроизводительных вычислительных системах с жидкостным охлаждением. *Электронные информационные системы*. 2019;1:5-18.
22. Суперкомпьютер МСЦ РАН поможет российским ученым в создании медицинских препаратов для борьбы с коронавирусной инфекцией Covid-19. [Электронный ресурс]. <http://www.rscgroup.ru/ru/news/381-superkompyuter-msc-ran-pomozhet-rossiyskim-uchenym-v-sozdanii-medicinskih-preparatov-dlya>
23. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Сакуненко Ю.И. Автоматизированная система контроля протечек воды и прорывов пара. Сборник докладов конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике» Физико-технологического института Московского технологического университета. М.: МИРЭА, 2018. С. 31-38.
24. Пожар в ТРЦ "Зимняя вишня" мог возникнуть из-за протечки крыши. [Электронный ресурс]. <https://www.vesti.ru/doc.html?id=3007864>
25. Спасти соседа снизу. Строительная газета № 51 от 29.12.2017 [Электронный ресурс]. <https://www.stroygaz.ru/publication/item/spasti-soseda-snizu/>

26. Технология развертывания локальных беспроводных радиосетей ZigBee в системах промышленной автоматизации и диспетчеризации. [Электронный ресурс]. <https://isup.ru/articles/3/1212/>
27. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Титков М.В. Многоуровневая беспроводная автоматизированная система контроля протечек для жилищных комплексов. *Приборы*. 2019;3:13-17.
28. Влияние температуры и влажности на процесс твердения бетона. [Электронный ресурс]. <https://helpiks.org/7-91018.html>
29. Влияние внешних факторов на долговечность бетона. [Электронный ресурс]. <http://stroj-archive.ru/shlakoschelochnoy-beton/1078-vliyanie-vneshnih-faktorov-na-dolgovechnost-betona.html>
30. Водные ресурсы в сельском хозяйстве. [Электронный ресурс]. <http://мниа.пф/analytcs/Vodnye-resursy-v-selskom-hozajstve/>
31. Виртуальный агроном. [Электронный ресурс]. <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/18593-virtualnyy-agronom/>
32. Сколько нужно датчиков влажности почвы? [Электронный ресурс]. <https://decagon.ru/soil/how-many-sensors/>
33. Мировые и российские перспективы тепличного овощеводства. [Электронный ресурс]. <https://www.agroxxi.ru/stati/mirovye-i-rossiiskie-perspektivy-teplichnogo-ovoshevodstva.html>
34. Прахова М.Ю., Краснов А.Н., Нагуманов Х.Г. Некоторые проблемы контроля влагосодержания природного газа в промышленных условиях. *Современные научные исследования и инновации*. 2015;7-1(51):32-39. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56176>
35. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Тикменов В.Н. Кабельный датчик влажности. *Прикладная физика*. 2018;2:103-107.
36. Новое лицо, 3D-сенсор, "умная" перчатка. За что в России дают премии изобретателям. [Электронный ресурс]. <https://nauka.tass.ru/nauka/6596505>

References:

1. Water Leak Detection [Electronic resource]. <http://www.articlesfactory.com/articles/business/water-leak-detection.html>.
2. Temperature and humidity monitoring systems for fixed storage areas. Technical supplement to WHO Technical Report Series, No. 961, 2011. URL: https://www.who.int/medicines/areas/quality_safety/quality_assurance/supplement_6.pdf?ua=1.
3. Data center monitoring system considerations [Electronic resource]. <https://searchitoperations.techtarget.com/tip/Data-center-monitoring-system-considerations>.
4. System of protection against leaks [Electronic resource]. <https://remstd.ru/archives/antipotopnyie-sistemyi-dlya-doma/> (in Russ).
5. TraceTek leak detection and localization Systems [Electronic resource]. <http://www.intel-a.ru/downloads/TraceTek%20Ubersicht.pdf> (in Russ).
6. Sakunenko Yu., Kondratenko V. Sensor leakage of electrically conductive liquids: RF Pat. 2545485. Publ. 10.04.2015 (in Russ).
7. Kondratenko V., Sakunenko Yu. Sorption hydro-sensor cable-new opportunities. *RITM mashinostroeniya = RHYTHM of machinery*. 2015;1:40-42 (in Russ).
8. Relative permittivity. [Electronic resource]. <http://weldworld.ru/theory/summary/otnositelnaya-dielektricheskaya-pronikaemost.html> (in Russ).
9. Advantages of capacitive sensors compared to other types of sensors. [Electronic resource]. https://studopedia.ru/9_2870_preimushchestva-ekonomich-datchikov-po-sravneniyu-s-datchikami-drugih-tipov.html (in Russ).
10. Technology of search of defects in the cable by using OTDR: samoxa the parts of the cable. [Electronic resource]. http://www.tdse.ru/info/articles/reflektom_mc_07 (in Russ).
11. Time domain reflectometer portable digital. FLIGHT 105 M1. Operating manual. [Electronic resource]. https://skomplekt.com/files/goods/3817431406/manual_reis_105.pdf (in Russ).
12. Kondratenko V., Rogov A., Sakunenko Yu., Sorokin A. Development of methods to determine the size and location of water leaks with the help of sorption o hydro sensor cable. *Kontrol'. Diagnostika = Testing. Diagnostics*. 2018;5:32-37 (in Russ).
13. Pulse reflectometry (TDR) method. How to find a break in the cable [Electronic resource]. <http://www.ersted.ru/stati/reflektometrija/impulsnaya-reflektometriya/> (in Russ).
14. Kondratenko V., Sakunenko Yu. Humidity sensor: RF Pat. 179730. Publ. 23.05.2018 (in Russ).
15. Kondratenko V. S., Rogov A. Yu., Iskhakov D. R. Cable sensor of humidity and leaks: RF Pat. 186924. Publ. 11.02.2019 (in Russ).

16. Kondratenko V. S., Rogov A. Yu., Iskhakov D. R. Cable sensor of humidity and leaks: RF Pat. 187823. Publ. 19.03.2019 (in Russ).
17. Capacity of the cylindrical capacitor [Electronic resource]. <https://energetik.com.ru/zakony-elektrotexniki-korotko/elektricheskaya-yomkost-yomkost-kondensatora/yomkost-cilindricheskogo-kondensatora> (in Russ).
18. Abramov S. M., Amelkin S. A., Chickowski A. A. Different approaches to liquid cooling — PRO & CONTRA. *Superkomp'yuter = Supercomputers*. 2012;3(11):34-35 (in Russ).
19. Press release. The updated Govorun supercomputer is presented at the Joint Institute for nuclear research in Dubna [Electronic resource]. <https://docplayer.ru/171270860-Press-reliz-obnovlennyy-superkompyuter-imeni-n-n-govoruna-predstavlen-v-obedinennom-institute-yadernyh-issledovaniy-v-dubne.html> (in Russ).
20. Dew point [Electronic resource]. <http://www.teohim.ru/nalivnye/tochka-rosy/> (in Russ).
21. Kondratenko V.S., Rogov A. Yu., Druzhinin E.A. Monitoring leaks and humidity using a sorption cable sensor in high-performance computing systems with liquid cooling. *Elektronnyye informatsionnye sistemy = Electronic information systems*. 2019;1:5-18 (in Russ).
22. The MSC RAS Supercomputer will help Russian scientists create medicines to fight Covid-19 coronavirus infection. [Electronic resource]. <http://www.rscgroup.ru/ru/news/381-superkompyuter-msc-ran-pomozhet-rossiyskim-uchenym-v-sozdanii-medicinskih-preparatov-dlya> (in Russ).
23. Kondratenko V.S., Rogov A.Yu., Sakunenko Yu.I. Automated system for monitoring water leaks and breakthroughs pair. In: Proc. "Informatics and technologies. Innovative technologies in the industry and informatics", Institute of Physics and technology. Moscow technological University. M.: MIREA, 2018; P. 31-38 (in Russ).
24. Fire in the shopping center "Winter cherry" could occur due to a leak in the roof. [Electronic resource]. <https://www.vesti.ru/doc.html?id=3007864> (in Russ).
25. To save the neighbor from below. *Construction newspaper*. № 51 from 29.12.2017 [Electronic resource]. <https://www.stroygaz.ru/publication/item/spasti-soseda-snizu/> (in Russ).
26. Technology for deployment of local ZigBee wireless radio networks in industrial automation and dispatching systems. [Electronic resource]. <https://isup.ru/articles/3/1212/> (in Russ).
27. Kondratenko V.S., Rogov A.Yu., Titkov V.M. Multi-level wireless automated control system of leaks for residential and hotel complexes. *Pribory = Instruments*. 2019;3:13-17.
28. Influence of temperature and humidity on concrete hardening process. [Electronic resource]. <https://helpiks.org/7-91018.html> (in Russ).
29. Influence of external factors on the durability of concrete. [Electronic resource]. <http://stroj-archive.ru/shlakoschelochnoy-beton/1078-vliyanie-vneshnih-faktorov-na-dolgovechnost-betona.html> (in Russ).
30. Water resources in agriculture. [Electronic resource]. <http://мниа.рф/analytics/Vodnye-resursy-v-selskom-hozajstve/> (in Russ).
31. Virtual agronomist. [Electronic resource]. <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/18593-virtualnyy-agronom/> (in Russ).
32. How many soil moisture sensors do I need? [Electronic resource]. <https://decagon.ru/soil/how-many-sensors/> (in Russ).
33. World and Russian perspectives of greenhouse vegetable growing. [Electronic resource]. <https://www.agroxxi.ru/stati/mirovye-i-rossiiskie-perspektivy-teplichnogo-ovoshevodstva.html> (in Russ).
34. Prakhova M.Yu., Krasnov A.N., Nagumanov H.G. Measurements of content in the natural gas for field conditions: some problems. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii = Modern scientific researches and innovations*. 2015;7-1(51):32-39. [Electronic resource.]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56176> (in Russ).
35. Kondratenko V.S., Sakunenko, Yu.I., Tikmenov V.N. Cable humidity sensor. *Prikladnaya Fizika = Applied Physics*. 2018;2:103-107 (in Russ).
36. New face, 3D sensor, smart glove. For what in Russia they give prizes to inventors. [Electronic resource.]. <https://nauka.tass.ru/nauka/6596505> (in Russ).

Об авторах:

Кудж Станислав Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Scopus Author ID 56521711400, <http://orcid.org/0000-0003-1407-2788>

Кондратенко Владимир Степанович, доктор технических наук, профессор, советник ректората, заведующий кафедрой оптических и биотехнических систем и технологий Физико-технологического института, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Scopus Author ID 15834985700

Рогов Александр Юрьевич, заместитель директора Физико-технологического института, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Сакуненко Юрий Иванович, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Инжиматик» (105484, Россия, Москва, Сиреневый бульвар, д. 59, с. 1).

Дружинин Егор Александрович, технический директор ЗАО «РСК Технологии» (121170, Россия, Москва, Кутузовский пр-т, д. 36, с. 23).

About the authors:

Stanislav A. Kudzh, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Rector of the MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). Scopus Author ID 56521711400, <http://orcid.org/0000-0003-1407-2788>

Vladimir S. Kondratenko, Dr. Sci. (Engineering), Professor, rector's adviser, head of the Department of optical and biotechnical systems and technologies, Institute of physics and technology, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). Scopus Author ID 15834985700

Aleksandr Yu. Rogov, deputy director of Institute of physics and technology, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

Yuriy I. Sakunenko, Cand. Sci. (Engineering), General director of LLC «Engimatic» (59 / 1, Sirenevyy bl., Moscow 105484, Russia).

Egor A. Druzhinin, technical director of JSC «RSC Technologies» (36 / 23, Kutuzovskiy pr., Moscow 121170, Russia).