

# ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

---

**Ю.И. Сакуненко**  
канд. техн. наук  
(ООО «ИНЖИМАТИК», фонд «Сколково»)  
Москва, Российская Федерация

## РАЗРАБОТКА 3D-СЕНСОРОВ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НЕФТЕПРОДУКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

*Разработан и запатентован принципиально новый вид 3D-сенсоров прямого обнаружения утечек жидких нефтепродуктов. 3D-сенсоры впервые не имеют ограничений по месту установки, в том числе на вертикальных стенах, трубах, любых уплотнениях. Времена обнаружения утечек нефтепродуктов этими сенсорами в 10... 40 раз меньше в сравнении с ближайшими зарубежными аналогами. Изготовлены и испытаны два семейства сенсоров – для работы в составе технологического оборудования и впервые для мониторинга утечек нефтепродуктов непосредственно в земле. Все материалы и компоненты, использованные в разработке, произведены в РФ.*

*Ключевые слова: сенсоры; утечки; нефтепродукты; углеводороды; загрязнение; почвы; экология; мониторинг.*

**Yu.I. Sakunenko**  
Cand. of Techn. Sciences  
(CEOLLIC ENGIMATIC, Skolkovo)  
Moscow, Russian Federation

## DEVELOPMENT OF 3D SENSORS FOR EARLY LEAK DETECTION PETROLEUM PRODUCTS IN TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AND ENVIRONMENT

*A fundamentally new type of 3D sensors for direct detection of leaks of liquid petroleum products has been developed and patented. For the first time, sensors have no restrictions on the place of installation, including on vertical walls, pipes, any seals. foreign counterparts. Two families of sensors have been manufactured and tested – for operation as part of technological equipment and, for the first time, for monitoring oil product leaks directly in the ground. All materials and components used in the development were produced in the Russian Federation.*

*Keywords: Sensors; leaks; oil products; hydrocarbons; pollution; soils; ecology; monitoring.*

DOI: 10.25791/esip.09.2021.1247

150 миллиардов рублей – размеры ущерба по данным Росприроднадзора [1] от утечки дизельного топлива только в одной цистерне в Норильске весной 2020 г. По официальным данным [2] Министерства природных ресурсов и экологии РФ, в 2019 г в стране было зарегистрировано 17 000 случаев утечек нефти (одна утечка – каждые 30 мин). При этом, по мнению экспертов [3], это лишь малая часть от реального количества утечек в России. С учетом пожаров и взрывов, связанных с утечками легко воспламеняющихся моторных топлив, ежегодные потери от утечек нефтепродуктов могут быть оценены как минимум несколько сот миллиардов рублей в год, не считая

многочисленных человеческих жертв в этих инцидентах.

Для снижения размеров этого ущерба разработаны и применяются специализированные системы обнаружения утечек нефтепродуктов (СОУН). Наиболее развитыми и технически продвинутыми сегодня являются СОУН для магистральных топливопроводов, транспортирующих миллионы тонн углеводородов. Это весьма дорогостоящие СОУН, основанные на тонком анализе изменений потоковых характеристик, возникающих вследствие утечек (например, изменение давления в трубах) либо на обнаружении локальных изменений состояния самой трубы в месте утечек

(например, повышения ее температуры в месте утечки при помощи оптоволоконных технологий). Точность определения места утечек в магистральных топливопроводах составляет, как правило, десятки-сотни метров, а минимально обнаруживаемые объемы утечек – десятки-сотни литров нефтепродуктов. Системы обнаружения утечек нефтепродуктов с такими характеристиками для магистральных трубопроводов принято считать для отрасли вполне приемлемыми с учетом того, что время транспортировки нефти от мест ее добычи до крупных нефтеперерабатывающих производств составляет весьма незначительную часть ее «жизненного» цикла.

Иначе складывается ситуация с СОУН на других стадиях жизненного цикла нефтепродуктов. Эти стадии включают в себя, как правило:

- переработку нефти на **подрабатывающих** производствах в товарный продукт (бензин, керосин, дизельное топливо и т.д.);
- дальнейшую транспортировку, хранение этих нефтепродуктов на базах временного хранения, продажу их конечному потребителю – владельцам различных видов транспорта (автомобили, морской, железнодорожный транспорт, авиация, тепло- и электрогенерирующие предприятия и т.д.) и другого оборудования;
- хранение и использование по своему целевому назначению у конечного потребителя этих нефтепродуктов, например, в качестве топлива для автомобилей.

На всех описанных стадиях жизненного цикла нефтепродуктов (а он может длиться в ряде случаев годами) значение эффективно работающих СОУН не только не уменьшается, а наоборот, увеличивается, особенно, если речь идет о легковоспламеняющихся и взрывоопасных нефтепродуктах (например, о бензинах, реактивных топливах и т.д.).

Анализ современного технического уровня СОУН на этих стадиях жизненного цикла нефтепродуктов указывает на существующее фундаментальное ограничение возможностей работы таких систем. Оно связано с тем, что в реальной жизни *утечки возникают практически в любой точке технологического 3D-пространства* – трубах (вертикальных, наклонных), стенах, потолочных коммуникациях, проржавевших сварных швах, различных прокладках и соединениях и т.д.

В то же время абсолютно все известные на сегодня сенсоры обнаружения утечек – ключевые элементы этих СОУН – устанавливаются исключительно в двух местах: наверху – под потолком

технологического помещения или внизу – на полу (рис. 1).

На полу размещаются самые продвинутые на сегодня так называемые «умные» сенсорные кабели (не производятся в РФ). Они срабатывают при контакте с лужей из нефтепродуктов, образовавшейся на полу, например, от капельной утечки в технологическом вентиле, расположенном где-то на высоте в несколько метров – в верхней части технологической установки. По существу, даже эти самые современные на сегодня сенсоры было бы правильнее называть сенсорами образования луж нефтепродуктов, а не собственно самих утечек.

Наиболее распространенные на сегодня в РФ и располагаемые наверху технологических установок сенсоры тоже связаны с предварительным образованием луж нефтепродуктов. Они контролируют газовый состав воздуха и срабатывают только при обнаружении в нем критических концентраций паров углеводородов, образовавшихся в результате испарения этих же луж нефтепродуктов.

На взгляд авторов, оптимальным решением для построения высокоэффективных СОУН было бы создание таких 3D-сенсоров, которые бы не имели никаких ограничений по месту установки в технологическом 3D-пространстве и размещались бы непосредственно вблизи у мест более вероятного образования утечек (например, по периметру фланцевого соединения, вдоль критически важных сварных соединений и т.д.).

Авторы разработали и запатентовали [4] конструкцию таких 3D-сенсоров, способных практически сразу напрямую обнаружить утечку нефтепродуктов, минуя традиционную на сегодня стадию образования луж.

Измерительным элементом таких сенсоров (рис. 2) является сенсорный элемент из специально разработанного авторами высокомолекулярного композита, изменяющего свой электрический импеданс (сопротивление) при соприкосновении с малыми количествами практически любых промышленных жидких углеводородов. Вокруг этого элемента расположена специальная капиллярно-пористая оболочка. Она эффективно поглощает попадающие на ее поверхность капли жидких углеводородов и транспортирует их к измерительному элементу. Работа сенсора не зависит от его ориентации в пространстве, и поэтому он может быть расположен и поставлен на дежурство в любой точке современного 3D-технологического пространства (рис. 3).



Рис. 1. Схемы размещения сенсоров утечек нефтепродуктов существующих СОУН

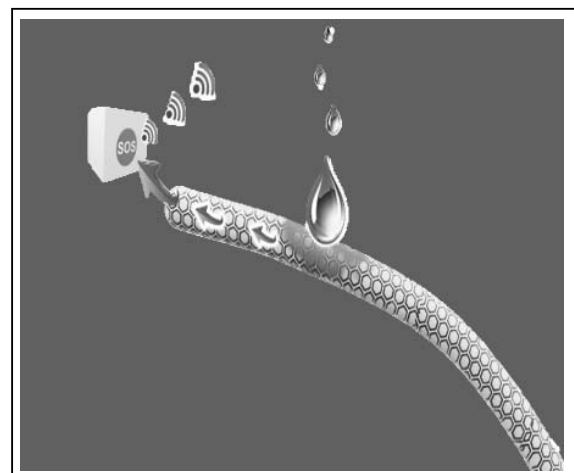
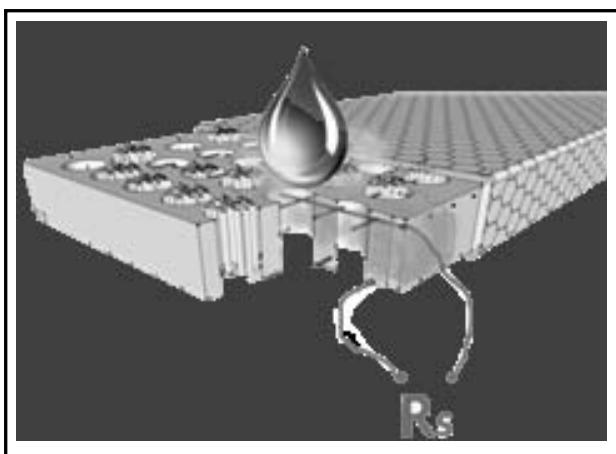
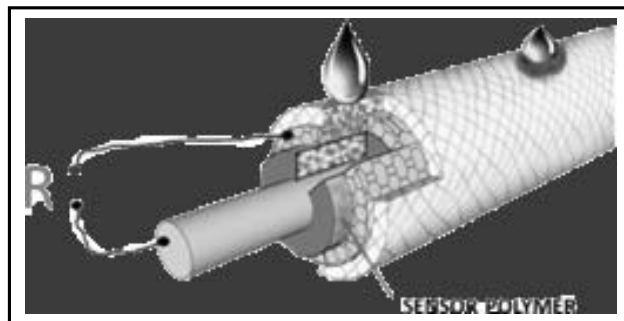
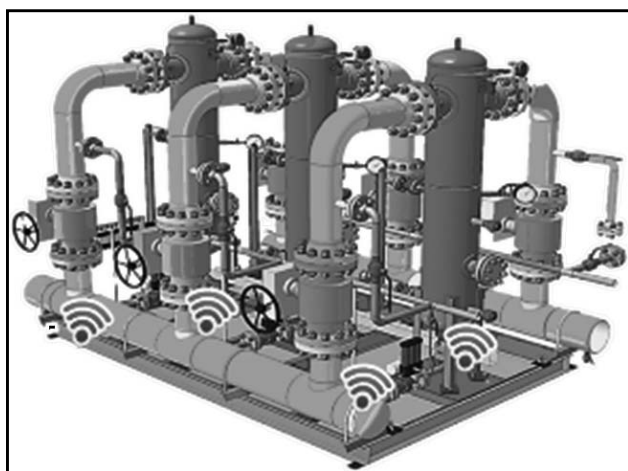
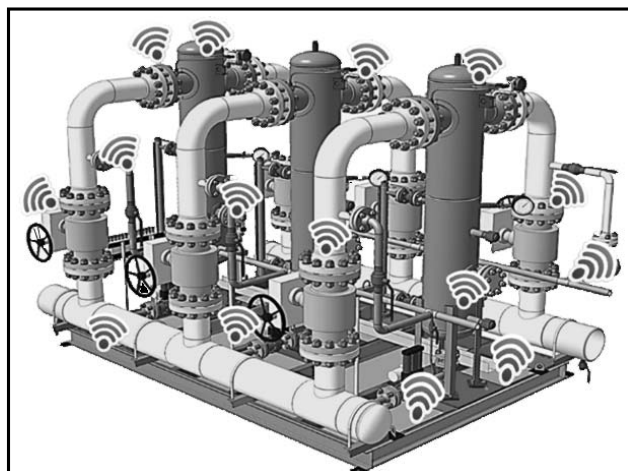


Рис. 2. Как устроены 3D-сенсоры утечек нефтепродуктов



а



б

Рис. 3. Сравнение зон прямого контроля утечек существующими сенсорами (слева) и нашими 3D-сенсорами (справа). Темно-серый – есть контроль, светло-серый – нет контроля

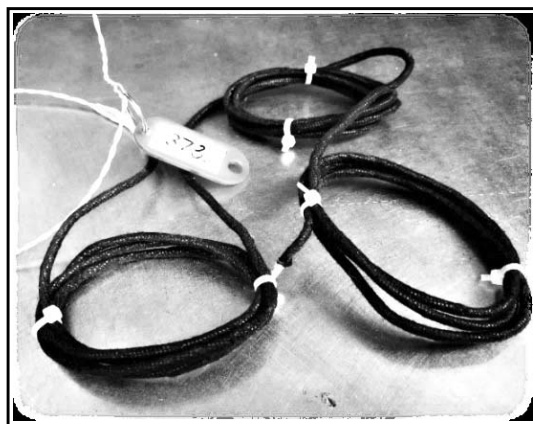


Рис. 4. Фотообразцы 3D-сенсоров утечек нефтепродуктов

Эти сенсоры могут быть выполнены в виде трех форм факторов – точечном, планарном и кабельном (рис. 4).

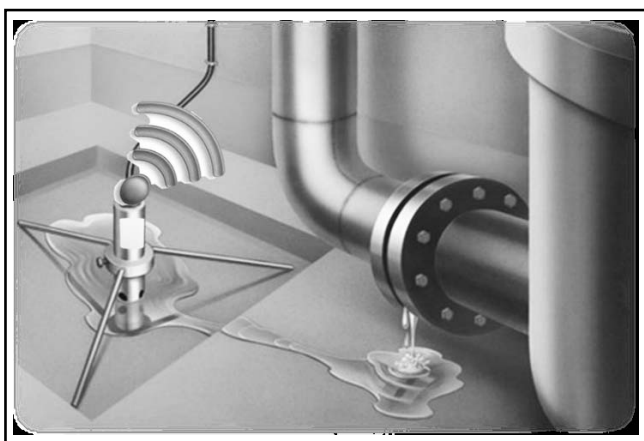
На рисунке 5 сравнивается для примера два варианта размещения сенсоров контроля герметичности фланцевого соединения. Наши 3D-сенсоры, будучи размещенными непосредственно на стыке фланцев, мгновенно реагируют на появление первых капель утечки, в то время как традиционные сенсоры срабатывают гораздо позже – лишь после стекания капель в специальное углубление и образования там лужи из продуктов утечки.

В таблице приведено сравнение некоторых основных функциональных характеристик 3D-сенсоров с лучшими на сегодня решениями конкурентов.

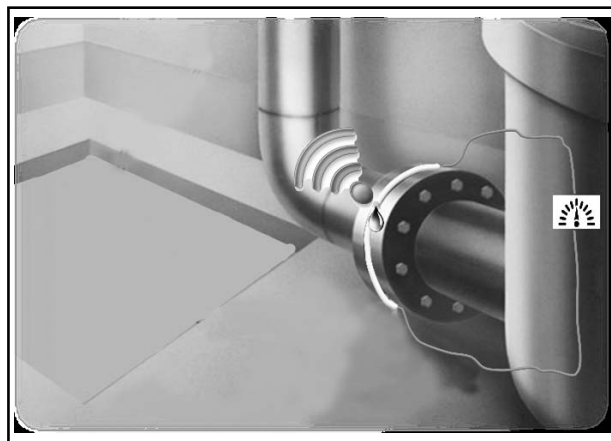
Наши сенсоры в среднем в 40 раз быстрее чем конкуренты реагируют на появление утечки, они дешевле и могут быть в отличие от конкурентов многократно использованы после их срабатывания.

На базе запатентованной конструкции автора-ми были разработаны не имеющие аналогов сенсоры прямого обнаружения появления нефтепродуктов *непосредственно в почвах*. Сегодня, к сожалению, обнаружение загрязнения земли нефтепродуктами – это событие «постфактум», запоздалая реакция на внешние, как правило, визуальные изменения земли и растительности, появление характерных запахов, изменение вкуса воды и т.д. Лишь после этого вызываются специалисты, которые отбирают по определенным методикам многочисленные килограммовые пробы земли. Затем эти пробы транспортируются в крупные аналитические центры, в которых после достаточно трудоемких исследований этих проб выдается заключение о степени загрязнения их нефтепродуктами. И лишь после этого начинается поиск источника загрязнений – конкретную утечку нефтепродуктов. Понятно, что существующее положение нельзя признать удовлетворительным.

Сравниваемые характеристики	Конкурененты – «NVENT», США	Продукт авторов
Работа на стенах	◆	•
Работа на трубах	◆	•
Работа в уплотнениях	◆	•
Работа в швах	◆	•
Работа на полу	•	•
Время обнаружения нефти, с	3 600...7 200	60...180
Время обнаружения бензина, с	180...720	3...40
Многообразие использования	◆	•
Цена за 1 м, \$	20...25	6...8

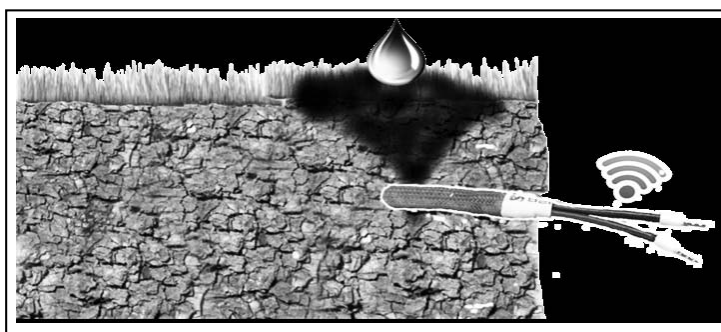


*a*

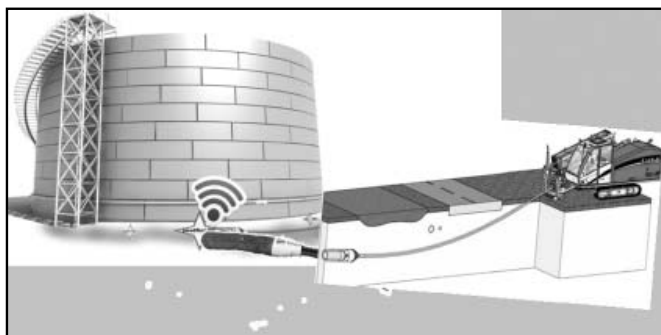


*б*

Рис. 5. Контроль фланцевого соединения: *a* – традиционное решение; *б* – с использованием 3D-сенсоров



*a*



*б*



Рис. 6. *a* – схема размещения 3D-сенсоров обнаружения утечек в земле; *б* – варианты организации мониторинга загрязнений земли вокруг потенциально опасных объектов

Решение же авторов позволяет гораздо более оперативнее, в режиме онлайн, обнаруживать появление нефтепродуктов на тех участках земли, где были заранее размещены (закопаны) наши 3D-сенсоры (рис. 6).

Проведенные авторами полунатурные эксперименты с заложением сенсоров на глубине 15 см от поверхности земли позволили обнаруживать в течение 3...5 мин факт пролива на землю в этом месте бензинов. Средняя концентрация этих бензинов в земле была в районе 10 000...15 000 мг в расчете на 1 кг почвы, что попадает под определение понятия сильнозагрязненных нефтепродуктами почв.

Таким образом, впервые появляется реальная возможность создания систем быстрого (в режиме онлайн) обнаружения загрязнений почв нефтепродуктами вблизи потенциально опасных производств и баз их хранения.

Вероятно также, что такие системы могут быть востребованы и в больших городах для контроля загрязнения окружающей среды (земли и подземных вод) многочисленными бензоколонками.

Речь здесь идет не о мелких проливах бензина при заправке, а о невидимых глазу, но реально опасных постоянных утечках топлив, вызванных, к сожалению, неизбежной коррозией железных подземных цистерн и нарушениях уплотнений в их разветвленной подземной арматуре (рис. 7).

Еще одним направлением в применении 3D-сенсоров для охраны окружающей среды является создание специализированных сенсоров для обнаружения разливов нефтепродуктов на поверхности воды. На рисунке 8 приведены фото двух поплавковых конструкций таких сенсоров, успешно прошедших лабораторное тестирование.

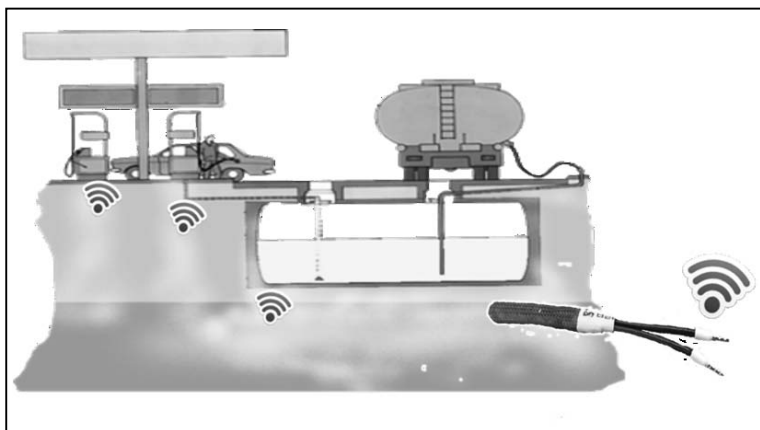


Рис. 7. Контроль подземных утечек бензина в бензоколонках с помощью 3D-сенсоров утечек нефтепродуктов

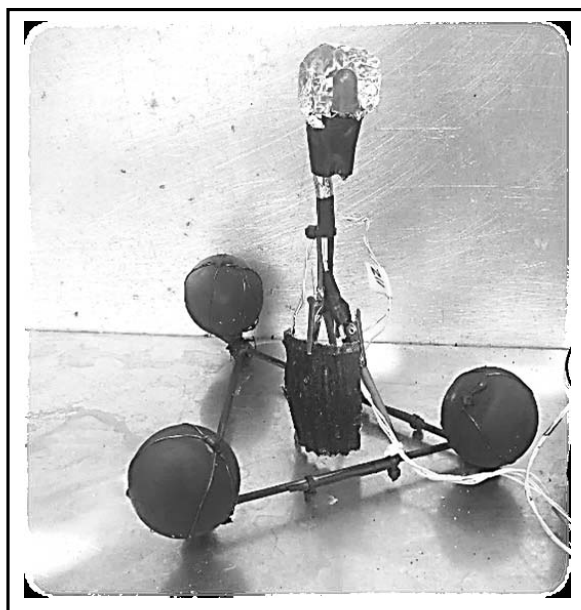


Рис. 8. Экспериментальные образцы поплавковых сенсоров обнаружения разливов нефтепродуктов на воде

Проведены также первые положительные испытания специализированных сенсоров для прямого обнаружения утечек сжиженных газов (пропан). Они впервые позволяют напрямую, взаимодействуя с жидкой фазой, минуя образование газообразной фазы, точно локализовать место образования этих опасных утечек сжиженных газов. Экспериментально подтверждена также способность наших сенсоров реагировать на воздействие большинства видов гидравлических, трансмиссионных и смазочных масел.

Приведенные примеры, конечно, не ограничивают круг возможного применения разработанных авторами 3D-сенсоров. Они и их специализированные версии могут быть востребованы практически везде, где применяются жидкие нефтепродукты в качестве источника энергии – авиация,

морской, железнодорожный и автомобильный транспорт, тепло- и электрогенерирующие установки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. [https://rpn.gov.ru/news/rosprirrodnadzor\\_proizvel\\_raschet\\_ushcherba\\_ekologii\\_nanesennyu\\_avariey\\_v\\_norilске/](https://rpn.gov.ru/news/rosprirrodnadzor_proizvel_raschet_ushcherba_ekologii_nanesennyu_avariey_v_norilске/)
2. [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07\\_09\\_2020\\_M\\_P\\_O%20\(1\).pdf](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07_09_2020_M_P_O%20(1).pdf)
3. [https://stories.media/investigations/2020/10/15/neftyanie-avarii-sluchayutsya-kazhdie-polchasa-issledovanie-realnikh-masshtabov-zagryaznenii-prirodi/?utm\\_source=fb\\_promo&utm\\_medium=button&utm\\_campaign=neftyanie-avarii-sluchayutsya-kazhdie-polchasa](https://stories.media/investigations/2020/10/15/neftyanie-avarii-sluchayutsya-kazhdie-polchasa-issledovanie-realnikh-masshtabov-zagryaznenii-prirodi/?utm_source=fb_promo&utm_medium=button&utm_campaign=neftyanie-avarii-sluchayutsya-kazhdie-polchasa)
4. Патент РФ № 2678920 «Датчик утечек углеводородных жидкостей». Видеопротоколы тестовых испытаний 3D-сенсоров утечек нефтепродуктов [https://youtu.be/ad\\_oPQSBpGA](https://youtu.be/ad_oPQSBpGA) <https://youtu.be/dpoAZfLP18Q>



#### Информация об авторе

**Сакуненко Юрий Иванович**, канд. техн. наук, Почетный изобретатель Москвы, генеральный директор

ООО «ИНЖИМАТИК», фонд «Сколково»

104099, Москва, Российская Федерация, ул. 1-я Дубровская, д. 1, корп. 2

#### Information about author

**Sakunenko Yuriy Ivanovich**, Cand. of Techn. Sciences, Honorary Inventor of Moscow, General Director

CEOLLIC ENGIMATIC, Skolkovo

104099, Moscow, Russian Federation, 1-ya Dubrovskaya Str., 1/2

