

УДК 004.932.2

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-477

***Пипия Георгий Тенгизович***<sup>1</sup>,

начальник отдела качества, канд. техн. наук;

***Салех Лабиб Омар Абдулла***<sup>2</sup>,

лаборант-исследователь, аспирант;

***Сушников Виктор Александрович***<sup>3</sup>,

директор высшей школы, канд. техн. наук, доцент;

***Хлопин Сергей Владимирович***<sup>4</sup>,

доцент, канд. техн. наук, доцент;

***Черненькая Людмила Васильевна***<sup>5</sup>,

профессор, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

## **ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НАЛИЧИЯ И УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ЧАСТИЦАМИ ЖИДКОСТЕЙ**

<sup>1,2,3,4,5</sup> Россия, Санкт-Петербург,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

<sup>1</sup> gogpipy@ya.ru, <sup>2</sup> labib\_saleh\_92@yahoo.com, <sup>3</sup> sushnikov\_va@spbstu.ru,

<sup>4</sup> x@spbstu.ru, <sup>5</sup> chern\_lv@spbstu.ru

***Аннотация.*** Актуальность работы обусловлена потребностью в создании датчиков для определения наличия и уровня загрязненности нефтепродуктами и тяжелыми частицами жидкостей, основанных на оптическом принципе действия, что стало

возможным, благодаря появившимся доступным аппаратно-программным средствам, способным проводить в реальном времени необходимые вычисления. Актуальность работы обусловлена потребностями промышленности в проведении мониторинга окружающей среды с применением оптических методов.

**Ключевые слова:** флуориметрия, уровень загрязненности нефтепродуктами, компьютерное зрение, цветокоррекция, методы цифровой обработки изображений, градиент яркости.

**Georgy T. Pipia**<sup>1</sup>,  
Head of Quality Department, Candidate of Technical Sciences;  
**Labib Omar Abdullah Saleh**<sup>2</sup>,  
Laboratory Assistant Researcher, Postgraduate Student;  
**Viktor A. Sushnikov**<sup>3</sup>,  
Head of High School, Candidate of Technical Sciences;  
**Sergey V. Khlopin**<sup>4</sup>,  
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences;  
**Liudmila V. Chernenkaya**<sup>5</sup>,  
Professor, Doctor of Technical Sciences

## OPTICAL SENSOR FOR MEASUREING THE PRESENCE AND LEVEL OF CONTAMINATION BY PETROLEUM PRODUCTS AND HEAVY LIQUID PARTICLES

<sup>1,2,3,4,5</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,  
<sup>1</sup> gogpiy@ya.ru, <sup>2</sup> labib\_saleh\_92@yahoo.com, <sup>3</sup> sushnikov\_va@spbstu.ru,  
<sup>4</sup> x@spbstu.ru, <sup>5</sup> chern\_lv@spbstu.ru

**Abstract.** The relevance of the study is due to the need to create an optical sensor to determine the presence and level of contamination by petroleum products and heavy particles of liquids based on the optical principle of operation, which became possible thanks to the availability of modern hardware and software capable of performing the necessary calculations in real-time. This study's results satisfy the needs of industry for environmental monitoring using optical methods.

**Keywords:** fluorimetry, oil pollution level, computer vision, color correction, digital image processing methods, brightness gradient.

### Введение

Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства является одним из приоритетных направлений, поддерживаемых Правительством Санкт-Петербурга. Техногенная опасность может быть снижена, благодаря своевременному выявлению причин возникновения внештатных ситуаций, аварий и катастроф.

Существующие методы выявления возникновения внештатных ситуаций основаны на лабораторных исследованиях, которые могут дать точный результат, но не могут проводиться регулярно. Наблюдение за техпроцессом операторами связано с человеческим фактором и снижает свою эффективность при усталости или отвлечении операторов.

Применяемые в настоящее время датчики основаны на принципах измерения физических величин и позволяют получать данные для количественного, а не только для качественного анализа. Вместе с тем существует ряд неисправностей, своевременное выявление которых позволяет проводить текущий ремонт оборудования, что предотвращает возможное развитие повреждений в аварийную ситуацию. Примерами могут быть различного рода протечки, нарушение герметичности узлов и агрегатов, попадание смазочно-охлаждающих жидкостей, содержащих нефтепродукты, в водную среду.

В настоящее время выявление наличия и содержания примесей нефтепродуктов проводят при помощи лабораторных исследований путем забора определенного объема жидкости, отстаивания этого объема и подсчета числа нефтепродуктов легких фракций на поверхности воды и тяжелых фракций в осадке. Применяемый метод не позволяет проводить непрерывный контроль наличия и концентрации примесей. При сбросах теплоносителя из охлаждающего контура крупных промышленных объектов с расходом в десятки кубометров в минуту экспресс-контроль классическими методами не представляется возможным.

В данной работе авторами предложен разработанный оптический датчик для контроля уровня загрязненности нефтепродуктами. Разработанный датчик позволяет в режиме реального времени выявлять наличие примесей в водной среде, классифицировать и проводить количественный подсчет и определение массовой и объемной концентрации примесей. Датчик может быть установлен как в закрытых каналах (магистральные трубопроводы), так и в открытых каналах, коллекторах, реках, на борту исследовательского судна, то есть везде, где есть возможность организовать течение исследуемой жидкости через датчик. Санкт-Петербург – город рек и каналов, также это город энергетики и промышленности. Развитие производства должно быть тесно связано с развитием методов экологического контроля и мониторинга.

Наличие обширной водной акватории требует непрерывного контроля параметров загрязненности. Предлагаемый проект позволит проводить диагностику стоков промышленных предприятий и стоков ливневых коллекторов в режиме реального времени и выявлять ситуации возникновения опасности экологического загрязнения акватории Невы и Финского залива. Внедрение в систему мониторинга датчиков наличия примесей позволит улучшить экологическую обстановку в Санкт-Петербурге.

## **Современное состояние развития методов контроля уровня загрязнений нефтепродуктами**

Технология поиска содержания нефтепродуктов в воде (флуориметрия) применяется в интегральных аналоговых датчиках регистрации биологических и химических примесей. Принцип явления флуоресценции заключается в способности электронов переходить между энергетическими уровнями под воздействием возбуждающего излучения. Поскольку положение электрона на определенном энергетическом уровне в атоме – равновесное состояние, перевод или возбуждение электрона приводит к нестабильности системы. Эта нестабильность проходит со временем – электрон возвращается в свое нормальное состояние.

Разница энергии между возбуждённым и основным состояниями электрона не может исчезать бесследно в связи с законом сохранения энергии, поэтому она расходуется на процесс релаксации. Та часть энергии, которая не была на него затрачена, испускается в виде фотона с соответствующей энергией. Испускание такого фотона – основной механизм флуоресценции. Излучение фотона происходит в течение сотых и тысячных долей секунды.

Текущее состояние использования эффекта флуориметрии отражено в работах [1, 2]. В мире существуют датчики, построенные по этому принципу. В качестве Российского аналога следует упомянуть аппарат «Флюорат АЕ-2» от компании Люмэкс, в качестве иностранного аналога стоит упомянуть аппарат «EnviroFlu» от фирмы TriOS. Отличие перечисленных датчиков от предлагаемого в проекте состоит в том, что в существующих образцах измерение происходит в интегральном виде – содержание нефтепродуктов вычисляется в зависимости от яркости вторичного свечения. Датчики дают погрешность, так как яркость засветки от множества маленьких пузырьков нефтепродуктов будет находиться в одном диапазоне величин с яркостью одного схожего по площади проекции пузыря, однако объем нефтепродуктов различается в несколько раз. Датчики-аналоги позволяют проводить регистрацию наличия загрязнений, но не позволяют проводить экспресс-расчет концентрации содержания примесей.

### **Метод оптического контроля**

Для создания датчика используются технологии: машинное (компьютерное) зрение, методы обнаружения границ объектов, методы цветокоррекции, методы цифровой обработки изображений, методы поиска и классификации уровней вложенностей контуров, методы анализа массивов контуров для расчета геометрических размеров объектов контуров.

На рис. 1 представлена физическая модель камера датчика. На рис. 2 и 3 представлена физическая модель камеры датчика с платой управления Arduino Nano. На рис. 4 представлен внутренний вид камеры датчика при включении диода (б) и отключении (а).

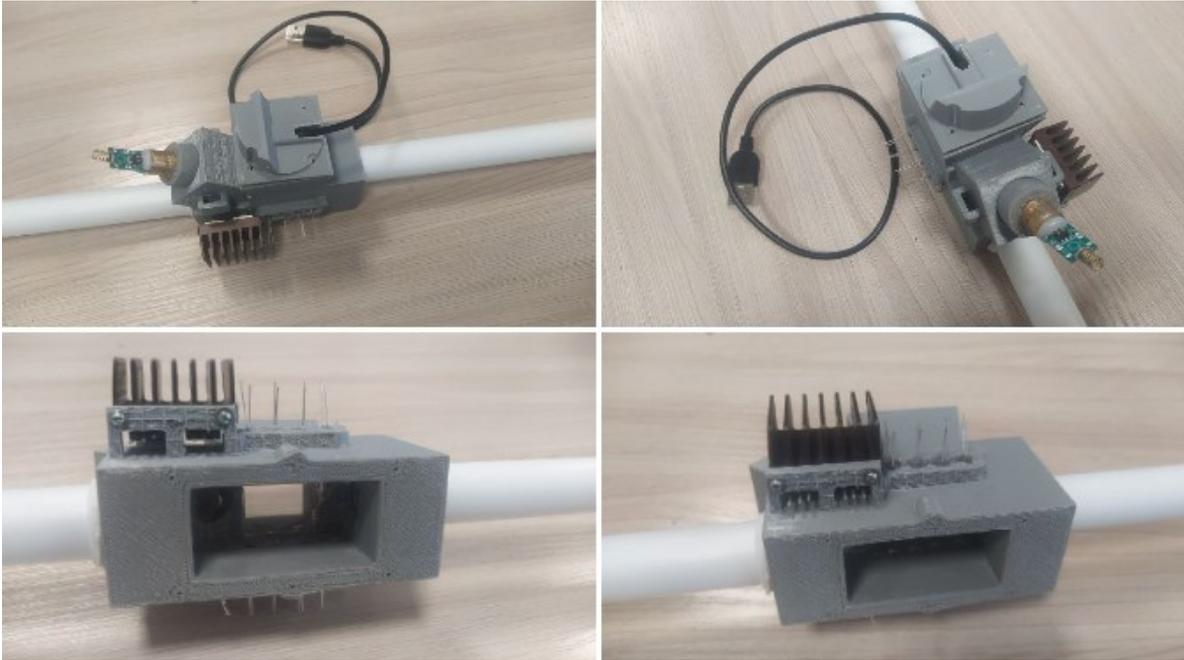


Рис. 1. Физическая модель камеры датчика



Рис. 2. Физическая модель камеры датчика с платой управления Arduino Nano [3]

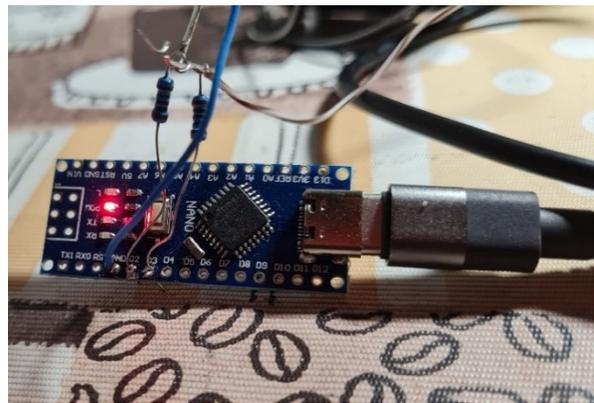
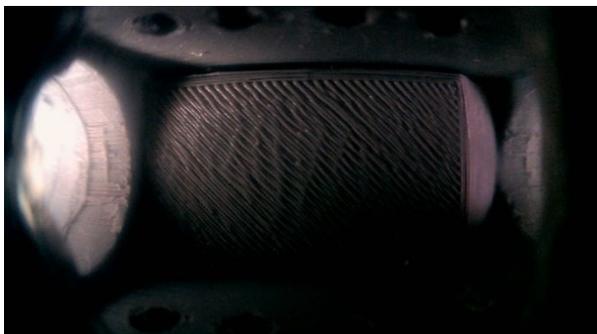


Рис. 3. Плата управления Arduino Nano



(a) (б)

Рис. 4. Внутренний вид камеры датчика

Алгоритм вычисления содержания примесей можно разделить на несколько этапов:

- получение исходных изображений;
- предварительная обработка изображений (выравнивание градиента яркости, цветокоррекция, удаление шумов);
- детектирование границ и поиск объектов среди замкнутых контуров границ на изображениях;
- верификация объектов;
- вычисление площади (объема) объектов.

Результат работы программного обеспечения, используемого при оптическом контроле, представлен на рис. 5.

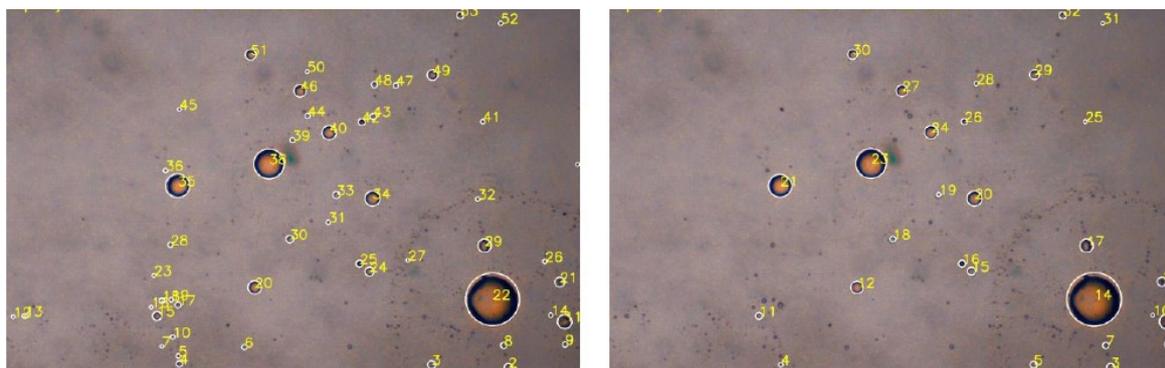


Рис. 5. Результат работы программного обеспечения

Эксперимент подтвердил эффективность предложенного метода и работоспособность разработанного программного обеспечения.

### **Заключение**

В результате можно будет получать изображения, позволяющие проводить дальнейшую их обработку (фильтрацию [4], детектирование границ [5], вычисление объемов [6]) для динамического определения мгновенной (внутри камеры датчика) и интегральной (суммарной за промежуток времени) концентрации примесей нефтепродуктов в потоке жидкости.

### **Благодарности**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-20116 (<https://rscf.ru/project/24-21-20116/>) и гранта Санкт-Петербургского научного фонда № 24-21-20116.

### **Список литературы**

1. Shaban A., Eddaif L., Telegdi J. Sensors for water and wastewater monitoring // In: *Advanced Sensor Technology*. – Elsevier, 2023. – Pp. 517–563.
2. Gout E., Lo F. T., Monnot M., Boutin O., Vanloot P., Claeys-Bruno M., Moulin P. Coupling membrane processes with wet air oxidation for the remediation of industrial effluents // *Chemical Engineering Journal*. – 2023. – Vol. 472. – Paper 144937.
3. Белов А. В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств. – СПб.: Наука и техника, 2016. – 544 с.

4. Хлопин С. В., Салех Л. О. А. Программная реализация оптического метода динамического вычисления объема содержания примесей в жидкости // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXV Междунар. науч. и уч.-практич. конф. 13–14 октября 2021 г.: в 3-х частях. – Ч. 3. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 229–235.

5. Салех Л. О. А., Хлопин С. В., Черненькая Л. В., Тарасевский Ф. Г., Царев М. М. Алгоритм определения концентрации примесей в жидкости по оптическим данным // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 247–256.

6. Салех Л. О. А., Хлопин С. В., Черненькая Л. В. Алгоритм вычисления объёма примесей в жидкости по оптическим данным // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С.562 – 569.