

## **ОТЗЫВ**

**зарубежного научного консультанта Михайлова Петра Григорьевича по диссертационной работе докторанта Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева Базарбай Лашин на тему «Разработка мультисенсорной системы контроля показателей воды» представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071600 – «Приборостроение»**

В связи с тем, что проблема наличия воды и благополучия водных ресурсов является общемировой проблемой, которая для многих стран, в том числе и для Казахстана, очень актуальна.

Кроме того, некачественная вода (соленая, загрязненная различными органическими и неорганическими компонентами) является источником различных болезней. Контроль основных параметров водных сред и, особенно, питьевой воды является весьма важной задачей.

В диссертационной работе Базарбай Лашин теоретически и практически рассмотрены и обоснованы методы и аппаратное оснащение процедур контроля и оценки качества воды по нескольким особенно важным характеристикам, в качестве которых являются мутность, температуры, кислотности с помощью последнего определяется соленость оптический водной среды. Указанные параметры являются основными при определении бытового качества воды.

Докторанткой были основательно проанализированы методы анализа, конструкции и технические характеристики зарубежных анализаторов качества воды и выбраны базовые.

При анализе и выборе аппаратной части диссертации, основные элементы и блоки были выбраны из программно-аппаратного комплекса «Arduino UNO», с использованием которого были смоделированы узлы и структуры экспериментальной установки.

При исследовании качества воды докторанткой был смоделирован и изготовлен многофункциональный датчик для одновременного измерения температуры, мутности и солёности. Изготовление измерительной системы, ее наладка и калибровка осуществлялась на экспериментальном стенде, оснащённом компьютером и электронными измерительными приборами.

Достаточно подробно были смоделированы и исследованы модели, в которых описываются оптические методы измерения мутности, точность которых была сопоставима с экспериментальными результатами.

Были исследованы различные методы и конструкции приборов-анализаторов воды: оптические мутномеры, оптические кондуктометры, люминесцентные анализаторы, металлопленочные кондуктометры.

На основе проведённого анализа для дальнейшего моделирования и проектирования был выбран портативный турбидиметр. С его помощью можно проводить анализ прозрачности воды. В качестве измерительного устройства был использован оптоволоконный датчик, который регистрировал как прошедшее, так и отражённое (рассеянное в обратном направлении) излучение.

В диссертационной работе докторанткой была решена важная проблема, создание совмещенного измерительного преобразователя температуры, солёности и мутности воды с универсальным вторичным преобразователем. В работе проведено математическое

моделирование прибора, изготовлен его опытный образец, проведены необходимые экспериментальные исследования с математическим анализом полученных результатов.

В ходе исследования было собрано более 10 000 результатов измерений, на основе которых был проведен статистический и корреляционный анализ. При обработке полученных данных вычисляли среднее значение, стандартное отклонение и закономерности распределения, определяли связи между показателями. В результате были обнаружены корреляционные зависимости между температурой и мутностью ( $r = 0,8075$ ), температурой и электропроводностью ( $r = 0,6999$ ), температурой и ORP ( $r = -0,3271$ ), а также рН и ORP ( $r = -0,842$ ). Эти результаты подтверждают взаимосвязь между физическими и химическими процессами в водных средах.

Тот факт, что система обладает высокой чувствительностью и стабильностью для мониторинга в реальном времени, позволяет эффективно использовать ее в сельскохозяйственных ирригационных системах, городских водопроводных сетях, контроле промышленных сточных вод и защите природных водоемов.

Оценивая проведенную работу, следует отметить, что Базарбай Лашин проявила навыки работы с литературными источниками, самостоятельность при решении проблем, возникающих в ходе работы, старательность, аккуратность и трудолюбие. Докторанткой на должном уровне проведен подробный анализ существующих методов и средств анализа воды на мутность, соленость и температуру. Осуществлено математическое моделирование устройства с использованием аналитических методов и программных средств. Экспериментальные исследования опытного образца прибора выполнены с использованием современной контрольно-измерительной аппаратуры, а также методик проведения натуральных испытаний и способов их интерпретации.

Научная новизна диссертационной работы:

- впервые мультисенсорным способом измерения подтверждено соотношения между температурой, мутностью и окислительно-восстановительным потенциалом воды;
- возможность построения регрессионных моделей для прогнозирования качества воды на основе полученных данных;
- полученный уровень погрешности ( $\leq 3\%$ ) свидетельствует о высокой метрологической надежности системы.

В настоящей диссертационной работе впервые ставится задача совместимости измерений и на основе математического моделирования показана возможность создания совмещенных ИП на основе использования современных конструкций и технологий.

На основе выдвинутых гипотез разработаны положения, выносимые на защиту:

- совместимые методы преобразования мутности, солености, и температуры, учитывающие различные условия эксплуатации.

- математические модели ЧЭ ИП, обеспечивающие возможность прогнозирования информационных и метрологических характеристик, что позволяет повысить точность измерения.

- предложена методика и разработаны модели пленочных компенсаторов внутренних механических напряжений;

- результаты исследования разработанных, изготовленных и испытанных экспериментальных образцов ИП, оснащенных микромеханическими ЧЭ.

Новизна данных результатов подтверждена сравнением полученных расчетных и экспериментальных данных с современными литературными источниками, адекватным применением математического и экспериментального аппарата.

Показана возможность разработки и освоения в условиях Казахстана производства новой импортозамещающей продукции: ряда ИП с высокой добавочной стоимостью.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях «Сатпаевские чтения» КазНИТУ имени К.И. Сатпаева в 2020, 2021 и 2022 гг; Государственного университета имени Шакарима г. Семей, на XII МНТК «Шлядинские чтения — 2020», (г. Пенза, 2020).

Базарбай Лашин опубликовала 1 патент РК, 5 публикаций в Skopus, 4 статьи в ВАК РФ, 4 статьи в Казахстане.

В целом результаты диссертационного исследования, изложенные в работе, Базарбай Лашин, полностью решают поставленные задачи, обладают новизной, теоретической и практической значимостью. Диссертационная работа Базарбай Лашин представляет собой законченное научное исследование и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071600 – Приборостроение

Зарубежный научный консультант:

Доктор технических наук (ВАК РФ),  
профессор (ВАК РФ) ПГУ, генеральный директор  
ООО Научно-производственный центр  
«Контрольные измерительные приборы»



Михайлов П. Г.