

С. Кернбах,

Институт параллельных и распределенных систем
Штутгартский Университет, Штутгарт, Германия,
e-mail: serge.kernbach@yahoo.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Ч. 1

Поступила в редакцию 28.08.2012

Рассматривается взаимодействие между светодиодным и лазерным излучателем и детекторами на двойных электрических слоях (ДЭС) с целью выявления возможной высокопроникающей компоненты излучения. Технология ДЭС-детекции сигналов может найти применение для разработки новых микросенсоров в системах глубоководной аварийной связи. Эксперименты проводили в лабораторных условиях внутри здания на расстоянии 0,25–50 м между приборами, в том числе с препятствиями в виде железобетонных конструкций, и в полевых условиях на расстоянии 1,65 км. Всего было проведено около 100 независимых экспериментов с более чем 700 замерами. В первой части этой работы описываются условия и методология экспериментов и проведение контрольных измерений на малых расстояниях.

Ключевые слова: системы подводной связи, светодиодное и лазерное излучение, сенсоры на основе двойных электрических слоев, высокопроникающая компонента излучения

Введение

Данная работа основана на исследовании подводной коммуникации посредством слабых электрических полей. Этот подход инспирирован слабоэлектрическими рыбами [1, 2], которые используют различные свойства электрических полей в воде для навигации, сенсорных функций и координации коллективных активностей. Создание заданного коллективного поведения изучалось как в системах с биологическими агентами [3], с применением различных биоинспирированных подходов [4], так и в чисто коллективных технических системах, таких как рои микророботов [5]. Высокая степень подавления электромагнитных и оптических сигналов в воде создает определенные трудности в реализации этих методов коллективного управления для автономных подводных систем [6]. Нахождение эффективной негидроакустической системы коммуникации представляет собой одну из приоритетных научных и технических задач в этой области.

Разработанное оборудование для генерации и восприятия слабых электрических полей было установлено на небольших автономных необитаемых подводных аппаратах (АНПА) [7, 8]. Коллективные эффекты, достигаемые, например, с помощью нелинейных осцилляторов, связанных посредством электрических полей, являются одним из эффективных способов исследования подводной среды роём АНПА. Для этих целей в некоторых экспериментах частота модуляции сигнала, подаваемого на электроды в воде, составляла порядка 0,01–0,001 Гц. Подобная низкая частота модуляции создавала эффект глубоко поляризованных электродов и возникновение двойного электрического слоя на границе электрода и воды.

Было замечено, что результаты коммуникационных экспериментов зависят не только от расстояний между АНПА и их взаимной ориентации, но также от режима работы сверхярких голубых светодиодов, которые используются для навигационных целей АНПА. Поскольку подсистема оптической коммуникации посредством светодиодов не связана с подсистемой генераторов электрических полей на борту АНПА, то их взаимосвязь стали искать в физических эффектах, возникающих между поляризованными электродами и излучающими светодиодами в воде. В некоторых работах, например [9, 10], исследовали подобную взаимосвязь, которая и привлекла наше внимание для дальнейших исследований.

Как указывалось в работе [11] и было исследовано в ряде работ [12–14], диффузионный слой Гуи—Чепмена, помимо других факторов, также чувствителен к пространственной поляризации диполей воды. Соответствующие электрокинетические явления описываются моделью Гуи—Чепмена—Штерна, например [14, 15]. Предполагается, что именно слой Гуи—Чепмена является основным фактором во взаимодействии между поляризованными электродами и излучением лазера/светодиодов. Поскольку изменение структур в слое Гуи—Чепмена изменяет диэлектрические характеристики системы, то эффекты поляризации можно измерять посредством слабого постоянного тока, протекающего через электроды и воду. На этом принципе основана работа сенсора.

Поскольку работы [9, 10] указывали на возможное наличие излучения со свойствами нехарактерными для электромагнитных взаимодействий, было решено сначала реплицировать некоторые из этих экспериментов, для того чтобы проверить наличие указанного феномена. В работе [16] были реплицированы три основополагающих эксперимента из [9] по взаимодействию между светодиодным излучателем (в дальнейшем генератор) и глубоко поляризованными электродами. В част-

ности, были строго выдержаны условия изоляции экспериментов от электромагнитных (ЭМ) полей, механических, акустических и температурных воздействий до того уровня, который позволяли примененные измерительные приборы. Следуя схемотехническим решениям кондуктометрии (см., например, [17—20]), были изготовлены девять токовых сенсоров, объединенных в три установки, и два светодиодных генератора. На основании более 200 независимых замеров был также обнаружен факт реакции изолированных сенсоров на генератор как напрямую, так и косвенно через контейнер с водой. Более того, эффект реструктуризации диполей воды под действием светодиодного излучения сохранялся на протяжении нескольких дней, что было многократно подтверждено в этих экспериментах. В целом эти репликационные эксперименты были оценены как положительные, т. е. эффект взаимодействия был подтвержден. Поскольку во время экспериментов не были зафиксированы изменения ЭМ полей, температуры, акустических и механических параметров имеющимися измерительными средствами, то в качестве рабочего названия были оставлен термин "не ЭМ-компонента" для обозначения этого взаимодействия. Некоторые теоретические работы указывают на возможность подобных взаимодействий [21—23].

Работа [16] оставила множество вопросов открытыми. В частности, не было исследовано расстояние, на котором сенсоры и генератор все еще продолжают взаимодействовать. Кроме того оставалось открытым, ведет ли изменение мощности излучателя и использование второго генератора к увеличению степени общего эффекта взаимодействия. Данная работа призвана заполнить этот пробел. Мы намерены пошагово увеличивать расстояние с 0,25 м (из [16]) до 50 м (максимальное расстояние в нашем здании) в лабораторных условиях и сделать серию полевых экспериментов за пределами здания на расстоянии в 1,65 км. Поскольку исходные работы использовали также лазерный излучатель, мы, в свою очередь, изготовили и провели эксперименты с полупроводниковыми лазерами. Эта статья расширяет результаты, опубликованные в работе [24], относительно лазерного излучения, максимальной дистанции и конструкции приборов, и является основой для работы [25] в области дальних и сверхдальних расстояний. Эта технология может найти применение для разработки новых сенсоров в системах аварийной связи, например для глубоководных АНПА. Поскольку структуры диполей не налагают существенных ограничений на размеры электродов, данная система допускает высокую степень миниатюризации.

1. Устройство и характеристики поведения сенсоров и лазерного/светодиодного генератора

Устройство сенсоров. Подробное описание детекторов, светодиодного генератора и общей методологии экспериментов дано в работе [16]. Было изготовлено пять сенсорных установок, основанных на двух- и четырехэлектродных кондуктометрических схемах (см., например, [17—20]), которые используют постоянное напряжение на электродах. В этом состоит их основное отличие от промышленных аналогов, подающих переменное, до 10 кГц, напряжение на электроды. Структурная схема показана на рис. 1, а. Сенсоры представляют собой сосуды из стекла (установки № 3 и 5) и коррозионно-стойкой стали (установка № 3) с несколькими стальными или платиновыми электродами, погруженными в бидистиллированную воду (рис. 1, б, в). Все сосуды помещены в несколько изолирующих корпусов, выполненных из латуни. Пространство между корпусами заполнено натуральной шерстью для теплоизоляции. Для экспериментов в этой работе использовались установки № 3, 4, 5 (рис. 2), которые содержат по три однотипных сенсора. Таким образом, поступающий сигнал детектировался одновременно девятью сенсорами. Для контроля параметров окружающей среды измеряли значения механических воздействий тремя акселерометрами KXSC7-2050 (чувствительность 660 мВ/г); температуру измеряли тремя типами сенсоров: NCP21XV103J03RA, LM35AH и AD592CNZ, размещенными в восьми местах на всех установках, с чувствительностью измерения ниже 0,01 °С с 20-битным АЦП; измерения ЭМ поля проведены с анализатором спектра 9 кГц...7 ГГц производства Rohde & Schwarz; акустические воздействия измеряли прибором Metrel С-МІ 6301 (20...10000 Гц, 30...130 дБ). Флюктуации электромагнитного поля не были обнаружены выше -90 дБм, акустических помех выше 30 дБ, т. е. на грани чувствительности этих приборов. Дополнительно к работе [16] в этой работе измерялась интенсивность ЭМ и магнитного поля прибором ME 3951A производства Gigahertz Solutions в диапазоне 5 Гц...400 кГц. Всего записывалось 25 каналов данных с частотой дискретизации 1 Гц. Все значения помечены маркером времени. Запись выполняли непрерывно без включения или выключения детекторов.

Лазерные и светодиодные генераторы. Лазерные и светодиодные генераторы имеют одинаковую структуру, показанную на рис. 3, а. Для лазерного генератора использовали 36 VCSEL лазерных модуля типа LT производства фирмы Electron (www.electronlaser.com), красного излучения (650 нм) мощностью 5 мВт. Для светодиодного генератора использовали 169 голубых (470 нм) светодиодов LC503FBL1-15Q-A3 с силой света 11 кда и

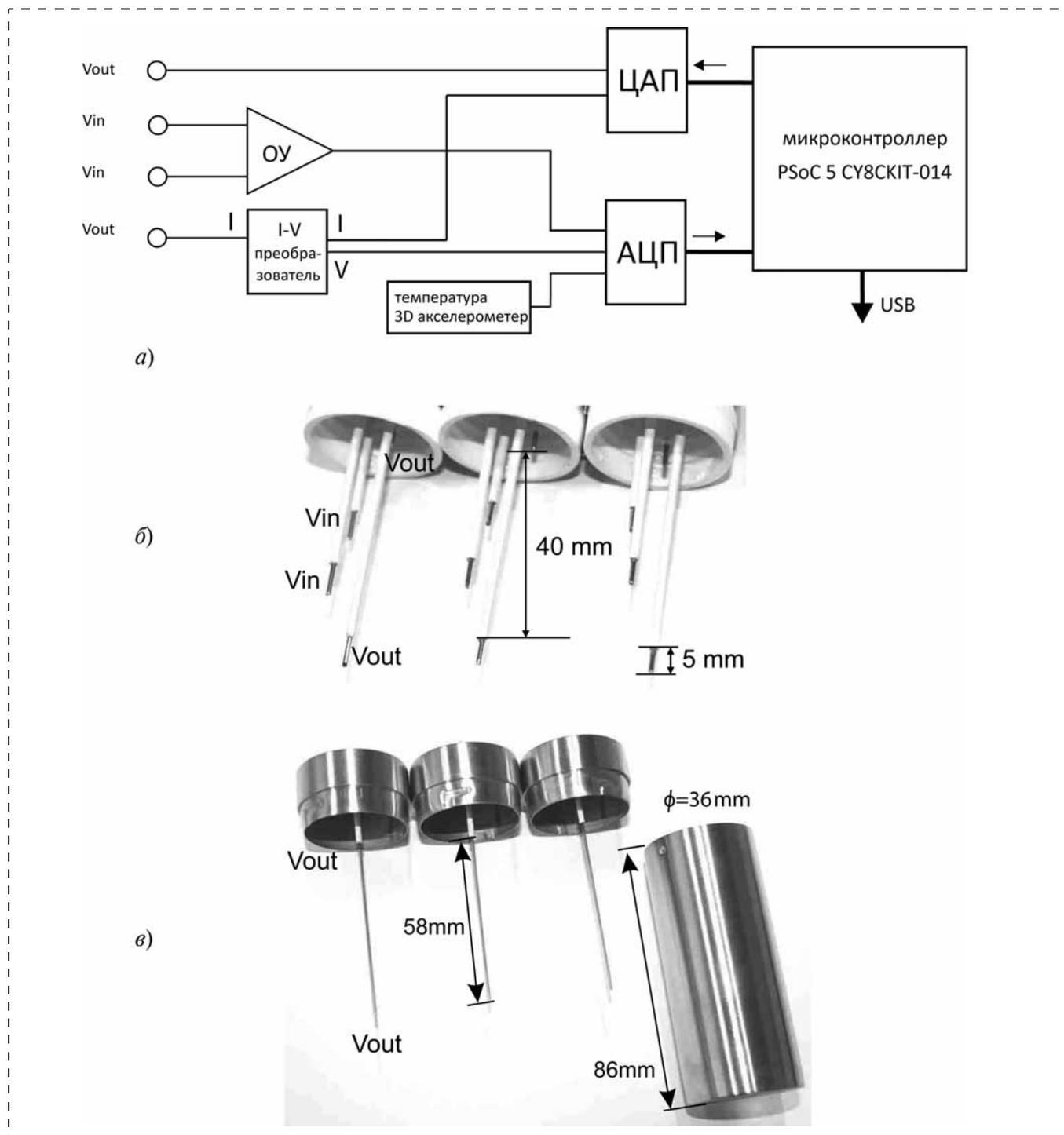


Рис. 1. Общая схема детекторов и фотографии электродов:

a — структура четырехэлектродной схемы; *б* — электроды в установке № 3; *в* — электроды в установке № 4. Фотографии взяты из работы [16]

углом открытия 15° . Как лазерные модули, так и светодиоды были размещены на площади 120×120 нм (рис. 3, б) в стандартных корпусах, допускающих соединение нескольких генераторов в один излучатель.

Лазерные диоды работают в стандартном 5-вольтовом режиме с первичной модуляцией в пределах до 1 МГц. Светодиоды работают в нестандартном режиме 30 и 48 В прямого напряжения с

первичной и вторичной модуляцией и требуют предварительной калибровки. Основные диаграммы работы светодиодного генератора показаны на рис. 4 (см. четвертую сторону обложки).

Для настройки измеряли напряжение на выходе микроконтроллера и *n*-канального MOS-FET ключа, который управляет светодиодами (см. схему на рис. 3, а). Использовали следующие параметры генератора: t_a — время активации светодиода; f_f —

частота первичной модуляции; f_s — частота вторичной модуляции; V_L — напряжение на светодиоде (см. ниже табл. 2). Кроме того, на основании показаний амперметра оценивали потребляемую (излучаемую) мощность генератора W_g из 169 светодиодов (разделенные на восемь полей). Для первой версии генератора предельным напряжением, подаваемым на светодиоды, является напряжение в 30 В, для второй версии — 60 В. Как видно из диаграмм на рис. 4, большое прямое напряжение создает колебания опорного напряжения (емкость светодиодов на частоте 1 МГц составляет около 95 пФ). Кроме того, отчетливо заметен скачок напряжения на спаде импульса — около 50 В для опорного напряжения в 29 В (рис. 4, б). Боль-



Рис. 2. Фотография установок № 3, 4, 5

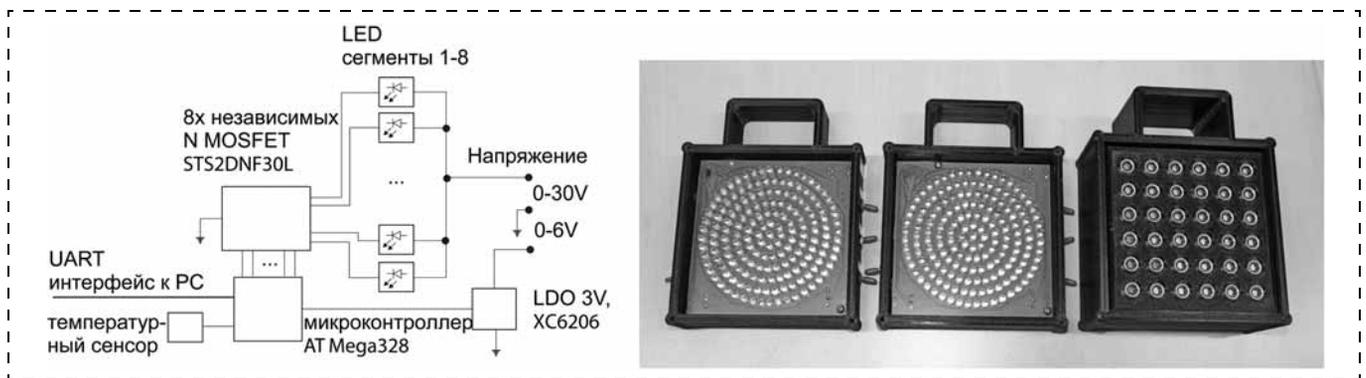


Рис. 3. Структура (а) и общий вид (б) светодиодного и лазерного излучателей со снятой фронтальной крышкой

шое напряжение, подаваемое на светодиоды в коротком импульсе, является нетипичным режимом работы. Мы практически не смогли найти публикаций по возникающим физическим эффектам в $p-n$ -переходе излучающего полупроводника. Высокое напряжение на полупроводнике требует также некоторых оригинальных схемотехнических решений для конструкции генератора, высоковольтная версия светодиодного генератора защищена патентами Федеративной Республики Германии и Европейского Союза.

Тестировали также закрытие фронтальной части генератора различными крышками на предмет экранирования от высокопроникающего неЭМ излучения. В частности, на основе работ [26, 27] исследовали многослойную (не менее 20 слоев) поперечно-продольную структуру (рис. 5), изготовленную из биосовместимого полимера — полиактида с толщиной волокна 0,5 мм, который в расплавленном состоянии механически вытягивался в одном направлении. Первые эксперименты действительно продемонстрировали снижение влияния генератора на сенсоры. Однако дальнейшее систематическое ис-

следование этого вопроса лежит за пределами данной работы.

Необходимо также заметить, что первая версия этого генератора не содержит индуктивных элементов в отличие от исходного генератора Боброва [9, 10]. Во избежание паразитических связей светодиодный генератор запитан полностью от аккумуляторов.

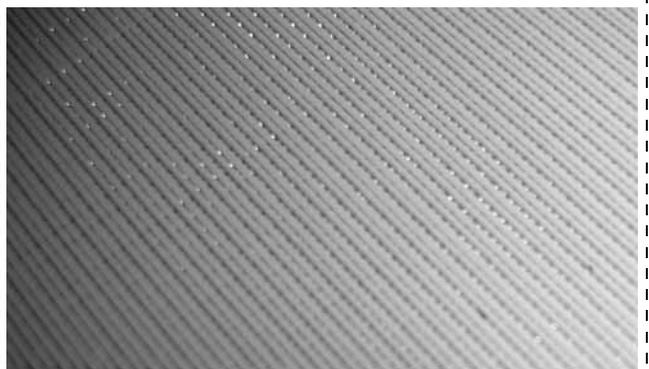


Рис. 5. Многослойная (не менее 20 слоев) поперечно-продольная структура, изготовленная из биосовместимого полимера — полиактида с толщиной волокна 0,5 мм, используемая для фронтальной крышки светодиодного и лазерного генераторов

Генератор работает в автономном режиме и в режиме с внешним управлением. Основной режим — это автономное включение и выключение в определенные промежутки времени посредством таймера микроконтроллера, как правило это 1 ч работы — 3 ч перерыв. В том случае, когда необходима обратная связь, генератор подключают к портативному компьютеру через USB-интерфейс. Для обеспечения гальванической развязки с коммуникационной сетью портативный компьютер подключен или через разделительный Ethernet-hub (так называемый AC-coupled switch, например, производства *Micrel*), или же используется WiFi-связь (вдали от лаборатории В).

2. Методология экспериментов

Схема проведения экспериментов показана на рис. 6. Все сенсорные установки помещены в шкаф, сделанный из трехмиллиметровой стали. Шкаф находится в подвальной лаборатории без окон, которая отделена от остальных лабораторий несущими железобетонными стенами толщиной 0,35 м. Во всех экспериментах на расстоянии от 5 до 15 м генераторы были установлены в соседней лаборатории, отделенной двумя такими стенами. В экспериментах на расстоянии более 15 м между генератором и сенсорами находились множественные железобетонные конструкции. Для устойчивого определения сигнала в этих экспериментах генератор работает с периодом в 4 ч: 1 ч — включение и 3 ч — перерыв, после чего весь цикл повторяется.

Детекторы демонстрируют три разных типа поведения при воздействии. Первый тип реакции, обозначенный как T1, — это явно видимый скачок из периодического или непериодического стационарного состояния (рис. 7). Второй тип реакции, обозначенный как T2, — это изменение тренда без существенного скачка. В заключение, детекторы могут изменять частоту или форму осцилляции без изменения тренда, этот тип обозначен как T3.

Вследствие переходных процессов в слое Гуи—Чепмена сенсоры периодически теряют свою чувствительность. Поэтому при воздействии на детектор не все девять сенсоров демонстрируют реакцию и необходимо рассмотреть вопрос о статистической значимости показаний сенсоров. Представим значение сенсора как 1, если реакция сенсора совпала с временем воздействия, 0, если не совпала. В контрольной группе А рассмотрим случай идеальных сенсоров (в отсутствие воздействия все значения равны нулю, группа А1) и наличие некоторого случайного процесса в одном из сенсоров, который может случайным образом "угадать" правильное время воздействия (одно значение равно 1, группа А2). Как правило, наличия одного "неправильного" сенсора в группе А2 достаточно, поскольку в случае потери чувствительности сенсоры демонстрируют поведение из группы А1. В группе Б рассмотрим некоторые комбинации: 3 из 9 значений сенсоров — правильные, 4 из 9, 6 из 18, 8 из 18 — правильные и т. д. Теперь проведем U-тест по методу Манна и Уитни для

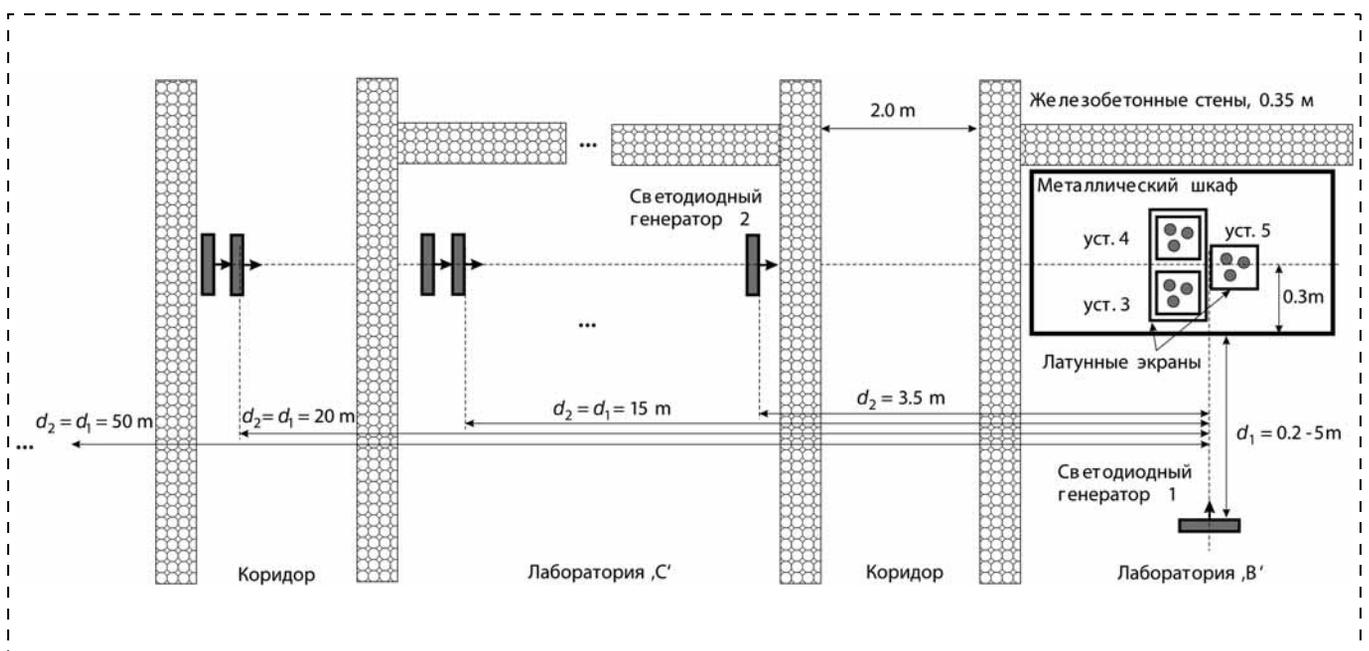


Рис. 6. Общая схема экспериментов. Лаборатории В и С без окон находятся в подвале здания, толщина несущих железобетонных стен около 35 см. Каждая из сенсорных установок № 3, 4 и 5 имеет два ЭМ экрана из латуни и два тепловых экрана из натуральной шерсти

Результаты U-теста для групп А и Б

Группа Б	Группа А1		Группа А2	
	U-тест (z)	Значимость	U-тест (z)	Значимость
3 : 6	-1,844	0,065	-1,102	0,270
4 : 5	-2,204	0,028	-1,534	0,125
5 : 4	-2,557	0,011	-1,944	0,052
6 : 12	-2,646	0,008	-1,581	0,114
7 : 11	-2,907	0,004	-1,898	0,058
8 : 10	-3,162	0,002	-2,201	0,028

комбинаций из групп А и Б (табл. 1). Таким образом, показания сенсоров являются статистически значимыми относительно соответствующего случайного процесса, как минимум с $\alpha = 0,058$ (двухсторонний), если около 40–45 % всех сенсоров демонстрируют реакцию. Случаи с 3 из 9 и 4 из 9 оговариваются отдельно, поскольку они значимы относительно потери чувствительности, но не значимы относительно случайных помех.

3. Калибровка светодиодного генератора

При калибровке генератора используют следующие параметры реакции $T1$, N/M — это число датчиков из общего числа M , которые показали реакцию. Для полученного сигнала оценивают три временных параметра t_1 , t_2 , t_3 — время нарастания и уменьшения пика и ΔI — разница в токе. Одновременно анализируют значения температурного сенсора и акселерометра на предмет изменения значений до, во время и после эксперимента. Рассматривают только каузальные изменения (т. е. во время эксперимента). Из 6 или 9 работающих сенсоров отбирают группу из 3 сенсоров, которые показали в данном замере максимальный видимый результат. Их параметры анализируют дальше. Ввиду длительного времени релаксации возможно проводить только несколько замеров в день. Для уменьшения шума данные, поступающие из микроконтроллера, сглаживает усредняющий фильтр в скользящем окне длиной в 1 мин.

Результаты проведенных экспериментов по калибровке генератора собраны в табл. 2. Из имеющихся данных следует, что при увеличении частоты первичной модуляции (от 55,5 до 333,3 кГц) не происходит увеличения воздействия, наоборот, воздействие ниже по ряду параметров. Возможно это связано с необходимостью уменьшения опорного напряжения с 29 до 7 В. Существенными параметрами являются время активации светодиодов t_a , частота первичной модуляции f_f и прямое напряжение на светодиодах V_L . В целом методика оценки

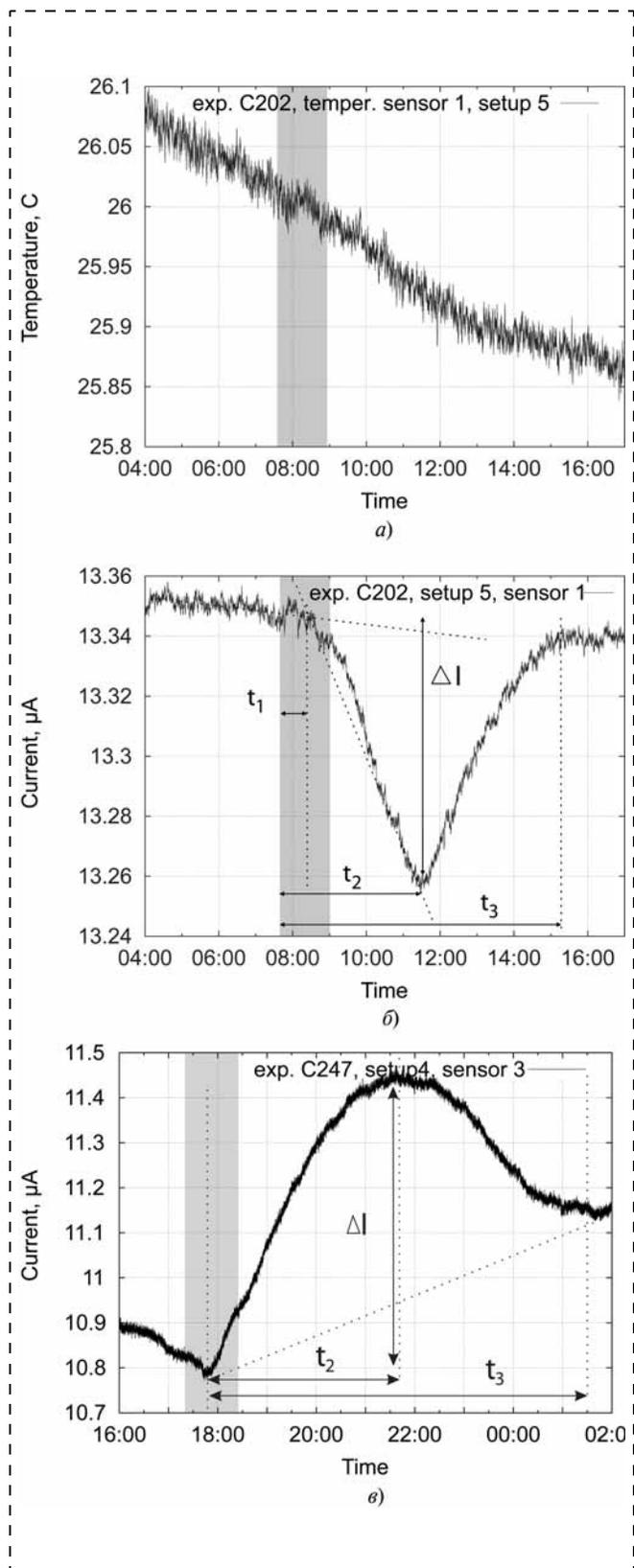


Рис. 7. Измерение параметров реакции детектора на воздействие генератора. Серой полосой показано время действия генератора, расстояние между генераторами и детекторами $0,5 \pm 0,15$ м:

а — изменения температуры во время эксперимента C202; б — эксперимент C202 со светодиодным генератором; в — эксперимент C247 с лазерным генератором. Отчетливо видны скачки тока во время воздействия генератора — этот тип реакции сенсоров обозначен как T1

Параметры светодиодного генератора и результаты калибровки.
Расстояние между генератором и сенсорами $0,5 \pm 0,15$ м в лаборатории В, обозначения типа s5s1 (setup 5, sensor 1)
указывают на номер установки и номер сенсора, которые продемонстрировали реакцию

N	t_a , мкс	Генератор			Экран	N/M	Детектор 1			Детектор 2			Детектор 3		
		f_f , кГц	f_s , Гц	V_L , В			t_1, t_2, t_3 , мин	I, ΔI , мкА	Δt , °C	t_1, t_2, t_3 , мин	I, ΔI , мкА	Δt , °C	t_1, t_2, t_3 , мин	I, ΔI , мкА	Δt , °C
C196	1	2,9	—	29	пл. ¹	0/9									
C198a	1	2,9	—	29	пл. ¹	0/9									
C198b	1	2,9	—	29	пл. ¹	0/9									
C198c	1	2,9	—	29	—	4/9	s5s1 30, 180, —	13,6, 0,15	0,000	s4s1 30, 100, —	10,0, 0,2	0,01	s4s2 40, 60, —	13,1, 0,02	0,01
C198d	1	2,9	18	29	—	0/9									
C198e	1	2,9	18	29	—	0/9									
C198g	1	2,9	18	29	—	0/9									
C200	1	2,9	18	29	—	0/9									
C201	0,3	55,5	—	29	—	6/9	s5s1 0, 50, 120	13,4, 0,05	0,05	s5s3 5, 120, —	11,6, 0,6	0,005	s4s2 0, 60, —	10,6, 0,04	0,04
C202	0,3	55,5	—	29	—	6/9	s5s1 40, 220, 430	13,6, 0,1	-0,001	s4s1 0, 200, —	10,2, 0,1	-0,003	s4s2 40, 220, —	13,6, 0,7	-0,001
C203	0,3	333,3	—	7,3	—	3/9	s5s1 40, 90, 180	13,3, 0,04	0,000	s5s2 40, 60, 90	6,8, 0,03	0,000	s4s1 5, 60, 90	10,2, 0,02	-0,001
C204	0,3	333,3	—	7,3	—	4/9	s5s1 40, 280, —	13,3, 0,1	-0,003	s5s2 30, 90, 180	6,8, 0,1	-0,003	s5s3 30, 200, —	10,6, 0,2	-0,003
C205	0,3	55,5	12	29	—	7/9	s5s2 0, 90, 150	6,8, 0,2	-0,05	s4s2 0, 90, —	13,7, 0,4	-0,03	s4s2 0, 80, —	10,25, 0,1	-0,03
C208	0,3	55,5	12	29	—	8/9	s5s1 5, 240, 480	13,0, 0,25	-0,01	s5s2 10, 240, 300	6,78, 0,32	-0,01	s5s3 10, 240, 360	10,3, 0,8	-0,01

¹ В качестве экрана использовалась многослойная поперечно-продольная структура, изготовленная из биосовместимого полимера, однако эти эксперименты не получили своего завершения в этой работе.

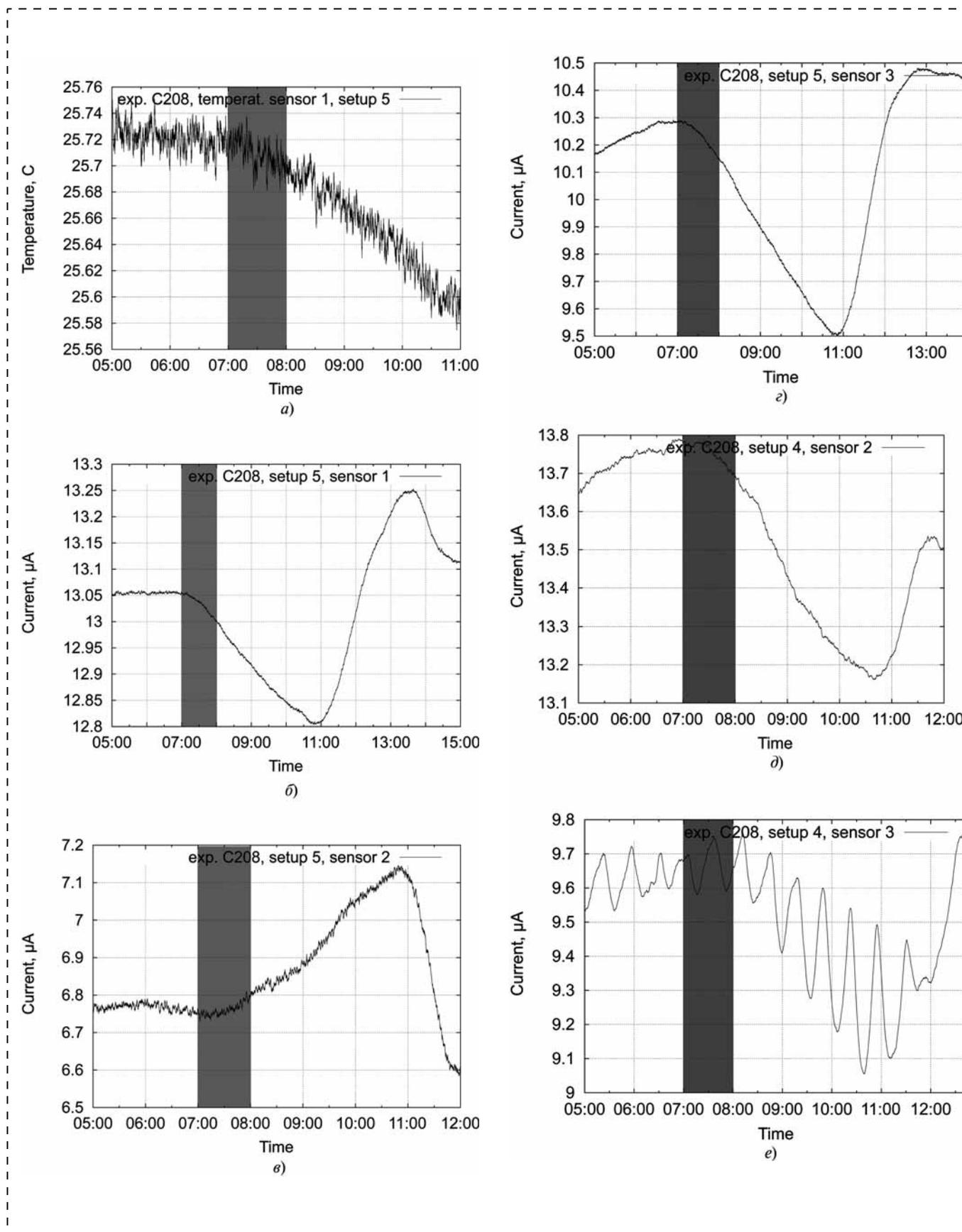


Рис. 8. Эксперимент C208, измерение параметров реакции детектора на воздействие генератора:

a — значение температуры во время эксперимента; *b–e* — показания токовых сенсоров. Серой полосой показано время действия генератора; расстояние между светодиодным генератором и детекторами $0,5 \pm 0,15$ м

параметров N/M , t_1 , t_2 , t_3 , I , ΔI кажется достаточно обоснованной и может применяться для дальнейших опытов.

Для сравнения с дальнейшими экспериментами на рис. 8 показаны результаты эксперимента C208, полученные на расстоянии $0,5 \pm 0,15$ м между светодиодным генератором и детекторами.

Заключение

В части 1 этой работы была продемонстрирована конструкция сенсоров на ДЭС и светодиодных/лазерных генераторах и методология проведения экспериментов. В качестве калибровочных экспериментов было проведено несколько замеров на расстоянии 0,5 м. Необходимо подчеркнуть, что сенсоры с помощью нескольких экранов тщательно изолированы от светодиодных генераторов, т. е. мы исключаем электромагнитный (в том числе световой), температурный, акустический или механический способ взаимодействия на том уровне, который позволяют измерить примененные измерительные приборы. В дальнейшем при увеличении расстояния, как будет показано в части 2 этой работы и в работе [25], вопрос этих взаимодействий также отпадает в силу большого расстояния между сенсорами и генераторами. Однако мы наблюдаем реакцию сенсоров при определенных параметрах светодиодного и лазерного генераторов. В части 2 этой работы будут продемонстрированы результаты проведенных экспериментов и сделаны более детальные выводы на их основе.

Мы хотели бы высказать признательность за ценные советы в процессе подготовки и анализа экспериментов, а также за обсуждение общей природы наблюдаемого феномена А. В. Боброву, С. А. Васильеву, В. Т. Шкотову, Ю. П. Кравченко, В. А. Жигалову и А. Савсуненко.

Список литературы

1. Von der Emde G., Schwarz S., Gomez L., Budelli R., Grant K. Electric fish measure distance in the dark // Nature. 1998. V. 395. P. 890—894.
2. Sim M., Kim D. E. Electrolocation with an electric organ discharge waveform for biometric application // Adaptive Behavior. 2011. V. 19 (3). P. 172—186.
3. Kernbach S., Thenius R., Kernbach O., Schmickl T. Re-embodiment of honeybee aggregation behavior in artificial micro-robotic system // Adaptive Behavior. 2009. V. 17 (3). P. 237—259.
4. Levi P., Kernbach S. (editors). Symbiotic Multi-Robot Organisms: Reliability, Adaptability, Evolution. Springer Verlag, 2010.
5. Kernbach S., Kernbach O. Collective energy homeostasis in a large-scale micro-robotic swarm. // Robotics and Autonomous Systems, DOI 10.1016/j.robot.2011.08.001. 2011. V. 59. P. 1090—1101.
6. Kernbach S. (editor). Handbook of Collective Robotics: Fundamentals and Challenges. Pan Stanford Publishing, Singapore, 2012.
7. Kernbach S., Dipper T., Sutantyo D. Multi-modal local sensing and communication for collective underwater systems // In Proceedings of the 11th International Conference on Mobile Robots and Competitions, ROBOTICA11. 2011. P. 96—101.
8. Dipper T., Gebhardt K., Kernbach S., von der Emde G. Investigating the behaviour of weakly electric fish with a fish avatar // In International Workshop on Bio-inspired Robots, 2011.
9. Бобров А. В. Взаимодействие спиновых полей материальных объектов (A. V. Bobrov. Interaction between spin fields of material objects) // Материалы Международной научной конференции. Хоста, Сочи, 25—29 августа, 2009. С. 76—86.
10. Бобров А. В. Модельное исследование полевой концепции механизма сознания (A. V. Bobrov, Investigating и field concept of consciousness). Орел: ОрелГТУ, 2006.
11. Бобров А. В. Реакция двойных электрических слоев на воздействие торсионного поля (A. V. Bobrov. Reaction of double electrical layer on torsion field) // ВИНТИ N 1055-B97, 1997.
12. Stenschke H. Polarization of water in the metal/electrolyte interface // Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electwochemistry. 1985. V. 196 (2). P. 261—274.
13. Gruen D. W. R., Marcelja S. Spatially varying polarization in water, a model for the electric double layer and the hydration force // J. Chem. Soc., Faraday Trans. 2. 1983. Vol. 79. P. 225—242.
14. Belaya M. L., Feigel'man M. V., Levadnyii V. G. Structural forces as a result of nonlocal water polarizability // Langmur. 1987. N 3 (5). P. 648—654.
15. Lyklema J. Fundamentals of Interface and Colloid Science. Academic Press, 2005.
16. Kernbach S. Replication attempt: Measuring water conductivity with polarized electrodes // Journal of Scientific Exploration. 2013. Vol. 27 (1). P. 69—105.
17. Spillner F. Vier-elektroden-konduktometrische analyse (4-ek-analyse) // Chemie Ingenieur Technik. 1957. N 29 (1). P. 24—27.
18. Kirkham D., Taylor G. S. Some tests of a four-electrode probe for soil moisture measurement // Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1949. N 14. P. 42—46.
19. Bristow K. L., Kluitenberg G. J., Goding C. J., Fitzgerald T. S. A small multi-needle probe for measuring soil thermal properties, water content and electrical conductivity // Computers and Electronics in Agriculture. 2001. N 31 (3). P. 265—280.
20. Orion conductivity theory, orion products — the technical edge. Technical report. URL: http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Articles/articlesFile_11377.pdf.
21. Hunter L., Gordon J., Peck S., Ang D., Lin J.-F. Using the earth as a polarized electron source to search for long-range spin-spin interactions // Science. 2013. V. 339 (6122). P. 928—932.
22. Vedral V. Quantifying entanglement in macroscopic systems // Nature. 2008. V. 453 (7198). P. 1004—1007.
23. Шипов Г. И. Теория физического вакуума. М.: НТ-центр. 1993.
24. Kernbach S. On high-penetrating LEDs emission on short and middle ranges // In Proc. of the Int. Conf. Torsion fields and Information Interactions. Moscow, 2012. P. 98—114.
25. Кернбах С., Замша В., Кравченко Ю. Дальние и сверхдальние приборные взаимодействия // Журнал формирующихся направлений науки, 1 (принято к публикации), 2013.
26. Акимов А. Е. Эвристическое обсуждение проблемы поиска новых дальностей. EGS-концепции. М.: Препринт / Межотрасл. науч.-техн. центр венчур. нетрадиц. технологий. 1991. N 7А. P. 63.
27. Reddish V. C. The Field of Rotating Masses. Makar Publishing, Edinburg, 2010.