

УДК 621.375.8

**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. 2\****Поступила в редакцию 12.03.2013*

*Рассматривается взаимодействие между светодиодным и лазерным излучателем и детекторами на двойных электрических слоях. Эксперименты проводили в лабораторных условиях внутри здания на расстоянии 0,25...50 м между приборами, в том числе с препятствиями в виде железобетонных конструкций, в полевых условиях на расстоянии 1,65 км. Всего было проведено около 100 независимых экспериментов с более чем 700 замерами. Условия экспериментов строго контролировались для минимизации и исключения влияния таких факторов как электромагнитные поля, температурные, акустические, световые и механические воздействия. В части 2 этой работы проводится обзор и анализ полученных результатов и рассматривается гипотеза о возможном наличии высокопроникающей компоненты в излучении полупроводниковых лазеров и сверхярких светодиодов и ее применении для систем аварийной глубоководной связи.*

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

**Введение**

В части 1 этой работы были рассмотрены устройство приборов и методология экспериментов по выявлению возможной высокопроникающей компоненты светодиодного и лазерного излучения. В качестве основополагающих были использованы работы А. В. Боброва, например [5–7], которые описывали чувствительность диффузионного слоя Гуи-Чепмена [1–3] к факторам, изменяющим пространственную поляризацию диполей воды. Изменения диэлектрических характеристик системы измеряли посредством слабого постоянного тока, протекающего через глубокополяризованные электроды и воду.

В данной части этой работы будут продемонстрированы результаты проведенных экспериментов на расстоянии до 50 м в лабораторных условиях и на расстоянии в 1,65 км в полевых условиях. Будет показано, что при определенных временных условиях и параметрах генераторов: а) реакция сенсоров на удаленные генераторы практически не ухуд-

шается при увеличении расстояния; б) наличие множественных железобетонных препятствий между ними также не влияет на качество сигнала; в) уменьшение излучательной мощности генераторов не ведет к ухудшению реакции сенсоров. Подобное поведение нехарактерно для электромагнитных, температурных, акустических или механических взаимодействий. Эти эксперименты представляют основной фокус данной работы.

Помимо описанных результатов был также обнаружен следующий интересный эффект. Как показано дальше, сенсоры и генераторы длительное время работали в паре на расстоянии до 0,5 м. За это время было проведено более 800 замеров с высокой степенью воспроизводимости результатов, опубликованных в работе [10] и в этой работе. При увеличении расстояния до 50 и 1650 м эта приемопередаточная пара демонстрировала способность передавать и принимать сигналы. Однако при долговременной разделенной работе в течение нескольких недель связь между ними постепенно прекратилась. Сходное поведение наблюдается и для генераторов, до этого не работавших с сенсорами. В исходной версии этой работы [4] мы не смогли интерпретировать факт разного поведения на коротких и длинных дистанциях и отнесли его на счет технических неполадок. Однако проводя дальнейшие эксперименты, например для дальней и сверхдальней связи [17], было замечено, что для больших расстояний необходимо специальным образом создавать синхронизацию приемника и передатчика. На коротких расстояниях в этом не было необходимости. Чтобы объяснить подобное поведение пары приемник—передатчик, выдвигается гипотеза о том, что различные механизмы ответственны за взаимодействия сенсоров и генераторов на малых и больших расстояниях. Анализируя публикации, например, в области теоретической физики [15], [16], биологии [8], [9] или прикладных систем [14], мы находим некоторое подтверждение этой гипотезе. По всей видимости, эти отличия являются одним из свойств высокопроникающей компоненты излучения, и в свою очередь, накладывают соответствующие условия на потенциальные системы связи, базирующиеся на этом принципе.

**1. Проведенные измерения**

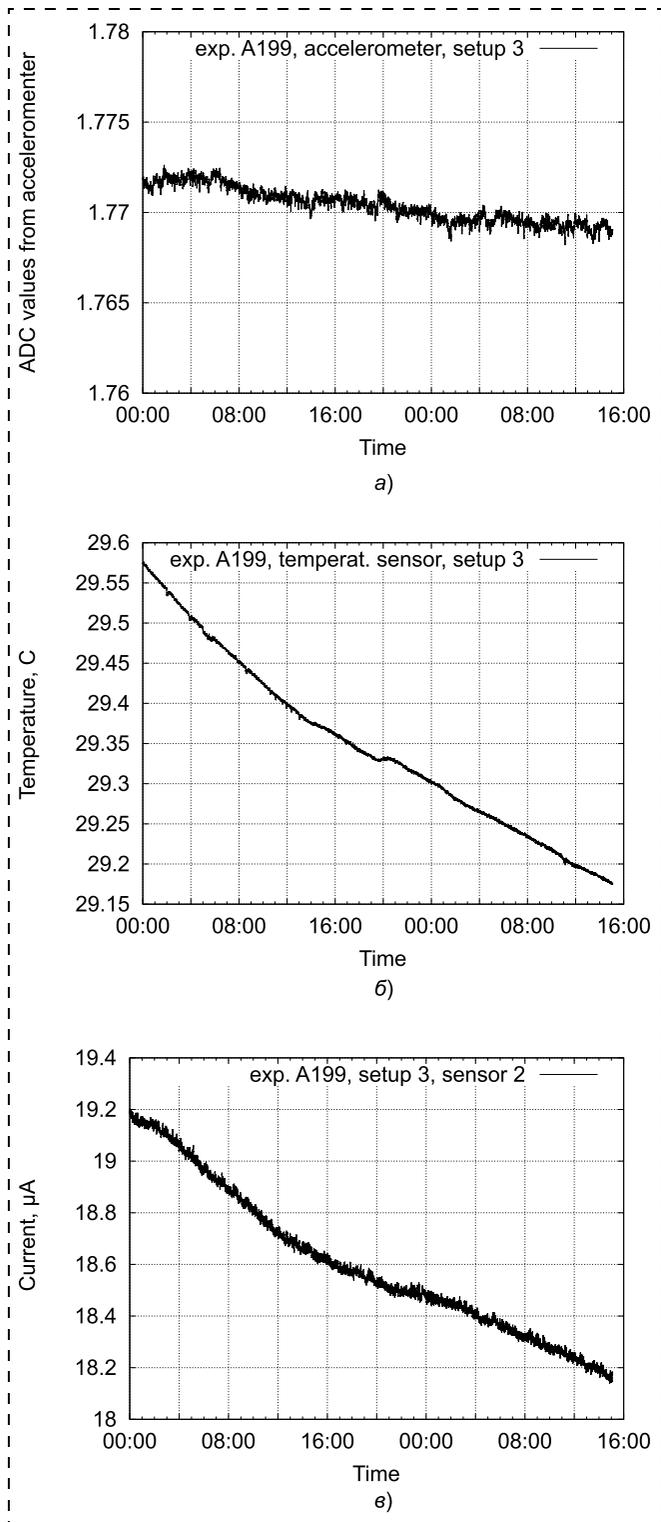
Схема и методология всех экспериментов показаны в части 1 этой работы. Расстояние между геометрическим центром всех установок и стенкой металлического шкафа составляет 0,3 м. Поэтому эффективное расстояние между генератором и датчиками варьируется в пределах  $\pm 0,15$  м. В силу результатов предыдущих работ [10] сначала были проведены все замеры со светодиодными генераторами. Продолжительность совместной работы двух детекторных установок (с девятью сенсорами) и двух спаренных светодиодных генераторов со-

\* Часть 1 данной работы опубликована в № 6, 2013.

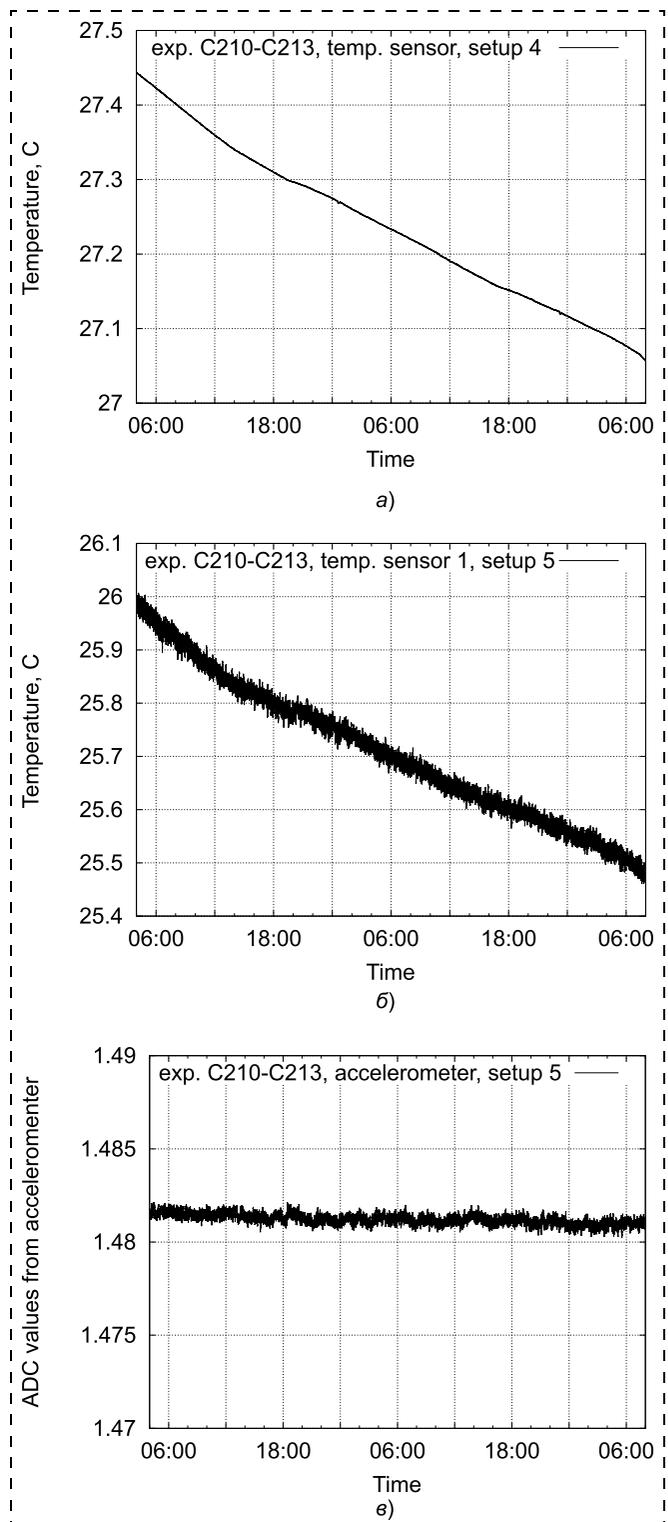
ставляла около 6 месяцев. После этого, около одной недели экспериментов, использовали лазерный генератор. Примеры токовых кривых по методике трех лучших показаний сенсоров (см. первую часть этой работы) показаны ниже на рис. 8—10.

**Контрольные измерения.** В дни, предшествующие экспериментам, был проведен контрольный

замер значений температуры, механических воздействий и тока через один из токовых сенсоров на протяжении 40 ч (рис. 1). В это время в здании находилось минимальное число людей (выходной день), в лабораторию с детекторами никто не входил, в соседних лабораториях не работали никакие приборы. Как видно из рис. 1, ток, проходящий че-



**Рис. 1.** Контрольный эксперимент A199 (40 ч), показания: а — акселерометра; б — температурного сенсора; e — токового сенсора в установке № 3



**Рис. 2.** Эксперименты C210—C213, показания температурных сенсоров и акселерометра установок № 4 и 5 за 52 ч. Существенных флуктуаций в показаниях температурных сенсоров и акселерометра замечено не было

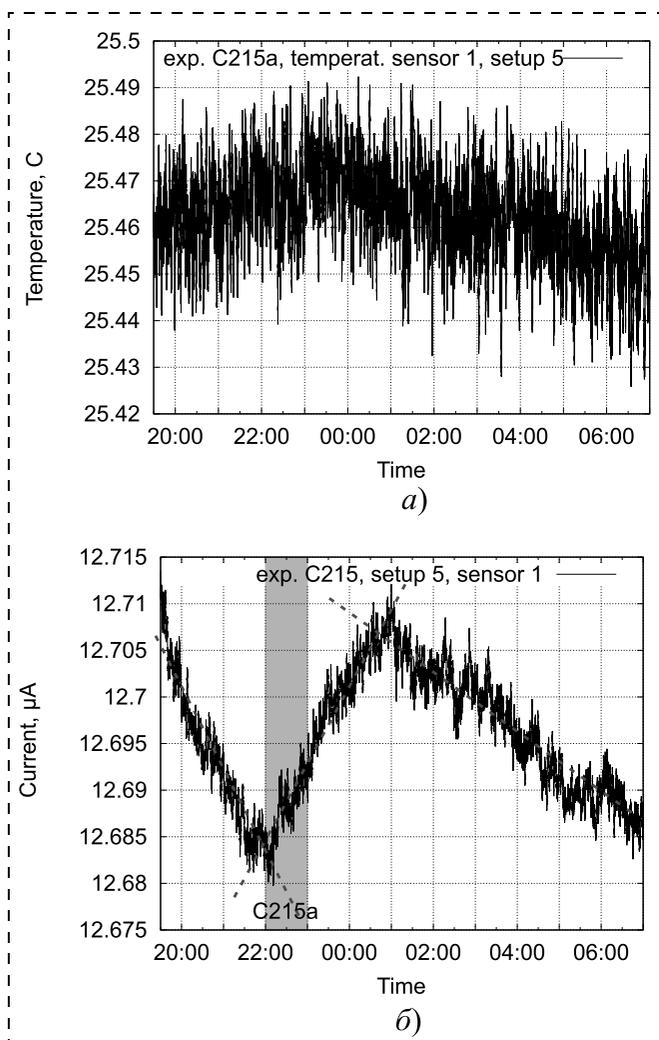


Рис. 3. Эксперимент C215а, расстояние  $3,3 \pm 0,15$  м через две железобетонные стены, показания:

а — температурного сенсора; б — токового сенсора установки № 5 за 11,5 ч. Существенных флюктуаций в показаниях температурных сенсоров и акселерометра замечено не было

рез сенсор, следует медленному изменению температуры без существенных флюктуаций.

**Замеры на расстоянии 1...5 метров одним светодиодным генератором.** Замеры были проведены в короткое время в следующие друг за другом несколько дней. Было сделано по четыре эксперимента (24 замера каждый) на расстоянии 1, 2, 3 и 5 м — эксперименты C213, C212, C210 и C218 соответственно (см. ниже таблицу). При этом использовались установки № 4, 5, каждая включает в себя три токовых сенсора.

Температурные датчики и акселерометр не регистрировали существенных флюктуаций или аномалий по время экспериментов C210—C213 (рис. 2). В целом мы наблюдаем увеличение числа сенсоров, имеющих реакцию на воздействие с уменьшением расстояния между генератором и светодиодами. Токовые сенсоры на расстоянии  $3,3 \pm 0,15$  и  $2,3 \pm 0,15$  м отреагировали на все воздействия в основном реакцией T2, т. е. изменением тренда.

На расстоянии  $1,3 \pm 0,15$  м мы отмечаем в основном наличие реакции T1, т. е. характерного изгиба в токовой кривой почти всех сенсоров. Сравнивая результаты на расстоянии  $0,5 \pm 0,15$  и  $1,3 \pm 0,15$  м, можно отметить большое качественное сходство в поведении — в основном тип реакции T1. Результаты на расстоянии  $2,3 \pm 0,15$  и  $3,3 \pm 0,15$  м также качественно сходны между собой — тип реакции T2.

**Измерения на расстоянии 3,5, 5,5, 7,5 и 10 м через железобетонные стены.** Задача этого эксперимента заключается в сравнении интенсивности взаимодействия с препятствиями (две несущих железобетонных стены толщиной в 35 см) и без препятствий. Расстояние между детекторами и светодиодными генераторами  $3,5 \pm 0,15$  (C215) и  $5,5 \pm 0,15$  м (C219) соответствует экспериментам C210 и C217. В целом не было замечено существенных отличий в показаниях сенсоров в экспериментах без и с препятствиями.

Показательным является замер C215а, показанный на рис. 3. Второй генератор был включен с 22.00 до 23.00, один из токовых сенсоров установки № 5 отреагировал изменением тренда в 22.10, т. е. тип T2. В районе 23.00—24.00 изменился тренд температуры (речь идет об изменении в  $0,01$  °C за 4 ч). Поскольку за ночь не происходило никаких изменений в окружающих лабораториях, это позволило проследить долговременную динамику этого сенсора. Как видно из рис. 3, б, токовая динамика еще раз изменила тренд в 1.00. Мы не наблюдаем плавных изменений тока и появлений характерного плавного пика, как в типе T1. Это добавляет еще один аргумент в пользу той гипотезы, что изменения T1 и T2 являются качественно разными типами динамики токового сенсора.

**Эксперименты с двумя генераторами.** Цель экспериментов с двумя генераторами (рис. 4) заключалась в выяснении степени влияния второго генератора на интенсивность взаимодействия. Тестировали те условия, которые позволяли лаборатории В и С: углы между генераторами  $0^\circ$  и  $90^\circ$ , расстояния  $3,3(3,5) \pm 0,15$  и  $5,0(5,5) \pm 0,15$  м. Как показали эти выборочные эксперименты, заметных изменений показаний сенсоров при углах  $0^\circ$  и  $90^\circ$  не наблюдается. Наличие второго генератора несколько улучшает показания сенсоров за счет биения частот. При калибровке генератора было отмечено улучшение показаний сенсоров при наличии вторичной модуляции сигнала генератора. Возможно, что это биение создает в своем роде "третьичную" модуляцию и именно этот эффект ведет к улучшению показаний. Использование лазерного генератора совместно со светодиодными генераторами также ведет к улучшению реакции сенсоров.

**Эксперименты на расстоянии 15, 20 и 50 м.** Расстояние в 15 м соответствует положению светодиодного генератора в конце лаборатории С; 20 м — ге-

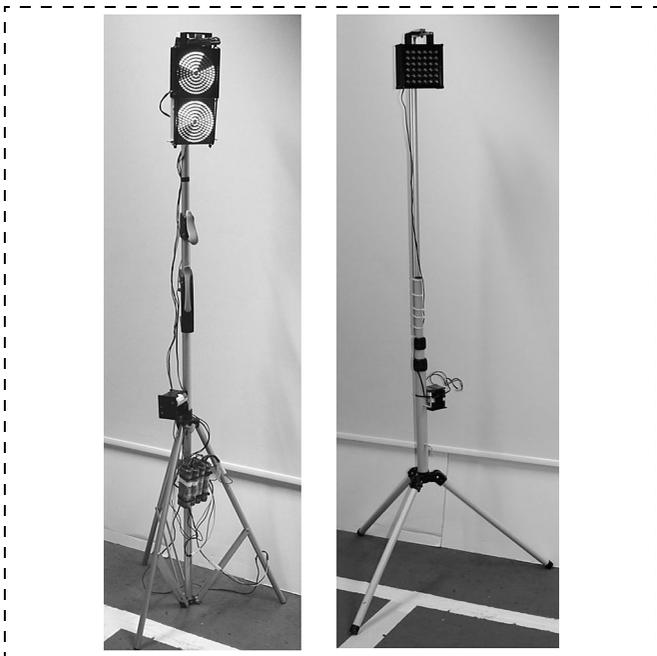


Рис. 4. Два светодиодных и лазерный генераторы, укрепленные на штативах

нератор установлен в коридоре за лабораторией С, т. е. между ними находится еще одна железобетонная стенка. Расстояние 50 м является максимально возможным расстоянием в подвале нашего здания. В этом случае между светодиодными генераторами и сенсорами находятся множественные стены, железные двери и прочие препятствия.

В этих экспериментах электроника сенсоров была доработана для уменьшения шума. Это включало перевод напряжения питания PSoC-чипа на 3,3 В, дополнительные фильтры на питание аналоговой части и установку блока фильтрующих конденсаторов на токовые электроды. В результате шум был уменьшен до уровня 10...30 нА, хотя это и наложило ограничение на максимальное значение тока через электроды. На 15 м было проведено 12 замеров с одним генератором, 36 замеров с двумя генераторами, установленными друг за другом, а не параллельно друг другу, как в предыдущих экспериментах. На расстоянии 20 м было также проведено по четыре эксперимента, во всех 36 замерах участвовали все девять сенсоров.

На расстоянии 50 м было проведено семь независимых экспериментов с 63 замерами. Интересным является эксперимент С228, который был сделан днем во время ощутимых перепадов температуры, как показано на рис. 5. Каждое изменение градиента (речь идет об изменении градиента в 0,05 °С/ч) приносит свое отклонение в динамику токового сенсора. Однако несмотря на это, изменения, вносимые включением и выключением генератора, отчетливо видны. Более того, амплитуда колебаний значительно увеличивается. Этот эф-

фект можно использовать для увеличения чувствительности сенсора.

В экспериментах на расстоянии 15, 20 и 50 м были включены только девять светодиодных полей из 16, т. е. они светили в половину мощности. Сравнивая результаты с одним и с двумя генераторами (16 полей и 9 полей), мы можем снова убедиться в том, что мощность оптического излучения не играет основной роли в наблюдаемом феномене.

**Оценка диаграммы направленности светодиодного генератора.** Во всех предыдущих экспериментах генератор был поднят на штативе на ту же самую высоту, что и сенсоры. В вертикальной плоскости ось излучения генератора была также направлена на сенсоры, однако точность установки колебалась около 5...7° в обе стороны. Особенно в эксперименте на расстоянии 50 м, в силу множественных поворотов в коридорах здания, погреш-

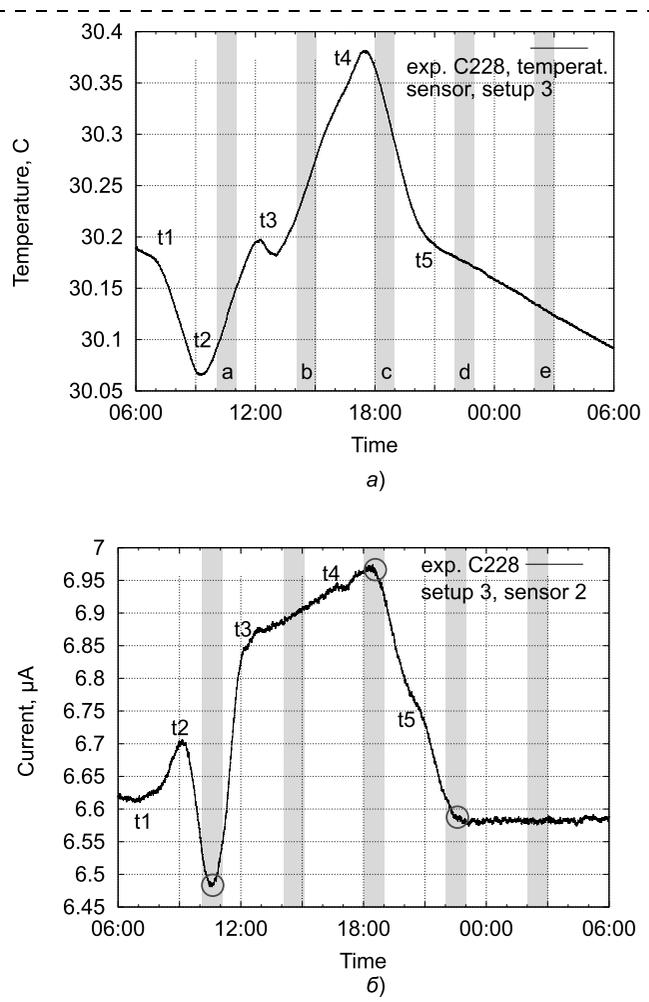


Рис. 5. Эксперимент С228, расстояние 50 м через множественные железобетонные стены, показания:

*a* — температурного сенсора; *b* — токового сенсора установки № 3. Все изменения температуры помечены маркерами *t*, отмечены также соответствующие изменения в динамике тока. Видно, что сенсор реагирует не только на изменения температуры, но и на включение и выключение светодиодных генераторов (после значительного изменения амплитуды сенсор теряет на некоторое время чувствительность)

ность в ориентации генератора на сенсоры достигала  $\pm 20...25^\circ$ . Для качественной оценки диаграммы направленности генераторы в той же конфигурации, как и в предыдущих опытах, были установлены на дистанции 10 м и повернуты на углы в  $45, 90$  и  $180^\circ$ . Как видно из результатов экспериментов, число откликнувшихся сенсоров уменьшается при развороте излучателя: если при  $0...45^\circ$  число откликов составляет  $40...45\%$  в большом числе замеров, то при  $90$  и  $180^\circ$  — только  $10...15\%$ . Таким образом, можно обобщить, что основной излучающей стороной является фронтальная часть внутри угла разворота  $\pm 45^\circ$ . Для установления более точной диаграммы направленности используемая методика оценки результатов в силу своего только качественного характера, к сожалению, не подходит (необходимо также исследовать зависимость от расстояния). Эта качественная диаграмма направленности в какой-то мере совпадает с результатами, полученными А. В. Бобровым для своего светодиодного излучателя, — при замерах на дистанции 1 м с биологическими сенсорами, основная излучающая сторона находилась во фронтальной части в пределах  $\pm 22,5^\circ$ , и также было фиксировано излучение задней частью прибора. Поскольку угол, на который приходится  $50\%$  излучения применяемых светодиодов LC503FBL1-15Q-A3 составляет только  $15^\circ$ , то можно заключить, что оптическая и неЭМ диаграммы направленности имеют разные формы.

## 2. Увеличение расстояния и введение нового генератора

**Полевые эксперименты со светодиодным генератором.** Поскольку замеры на расстоянии 50 м все еще давали хорошее соотношение сигнала к шуму, было принято решение о проведении серии полевых экспериментов. Для этого оба генератора были перевезены на расстояние 1,65 км и установлены в подвале другого здания. Горизонтальный азимут на сенсоры выставляли с помощью карты и цифрового компаса, вертикальный азимут сохранялся посредством вычисления разницы в высоте местности. Были проведены четыре серии экспериментов: сразу после переноса генераторов на новое место (С232), через 24 ч после переноса (С236); 144 ч после переноса (С241); 552 ч после переноса (С254), всего 10 независимых экспериментов с 90 замерами. В первых экспериментах мы наблюдали реакции сенсоров на работу генераторов на уровне предыдущих экспериментов. Однако виден также эффект уменьшения такого влияния с течением времени. Если сразу после переноса генераторов реакцию показывали  $45...50\%$  сенсоров, 144 ч спустя наблюдали реакции только порядка  $30\%$  сенсоров, 552 ч спустя — только  $15\%$ . Также уменьшается угол изменения тренда. Согласно выбранной методологии, эксперимент С254 считается отрицательным, т. е., принятый сигнал не является статистически значимым.

## Эксперименты с генератором на лазерных диодах.

Эксперименты со светодиодными генераторами проводили раньше лазерных. К этому моменту уже были получены данные на расстоянии в 1,65 км и проведены некоторые эксперименты из работы [17] на дальних расстояниях. На основе этих работ и данных из литературы было известно об определенных сложностях в работе приемо-передающих пар. Поэтому основной задачей экспериментов с лазерным излучением было: а) установление факта его высокопроникающей способности и сравнение со светодиодным излучением; б) проведение экспериментов с "быстрой" временной динамикой, т. е., когда пара приемник—передатчик не работали долгое время вместе. Был распечатан на 3D-принтере корпус для генератора и создан еще один комплект управляющей электроники, т. е., лазерный генератор был сделан заново в течение короткого времени. Расстояние было выбрано сначала 0,5 и 5 м с железобетонными препятствиями и без них, т. е. были повторены эксперименты С205, С217, С219, но теперь с полупроводниковыми лазерами. Как показали эксперименты С247, С223 и С243а, количество и интенсивность отклика сенсоров являются сходными в этих экспериментах. Иными словами в излучении лазеров также присутствует высокопроникающая компонента и ожидаются все те же эффекты, которые были описаны для светодиодных генераторов. В дальнейшем было запланировано провести замеры на расстоянии до 5 м — для выяснения дальности связи для ранее не взаимодействующих приемо-передающих пар. Однако уже на 10 м интенсивность реакции начала существенно падать. На этой дистанции были применены различные частоты модуляции: 0 Гц (без модуляции), 10, 15, 50 Гц, 1 и 333 кГц. Как показали результаты, наиболее оптимальными частотами являются низкие частоты до 50 Гц. Дальнейшее увеличение расстояния выше 10 м в лаборатории С с лазерным генератором не проводилось.

Мы собрали эксперименты С232, С236, 241, С254, С247, С223, С243 и С241 в один раздел, поскольку они указывают на временную "десинхронизацию" приемо-передающих пар — режим совместной работы компонентов коммуникационной системы в какой-то мере влияет на параметры связи. В качестве рабочей гипотезы можно сослаться на публикации [8], [9], [14] и т. д., которые предлагают введение специальных элементов в конструкцию приемо-передающих элементов, призванных стабилизировать связь при увеличении расстояний.

## 3. Выводы из экспериментов

В первую очередь нужно заметить, что эксперименты в данной работе проводили в тех же условиях, что и в работах [10] и [17], т. е., с тем же уровнем изоляции от ЭМ, температурных, акустических, механических помех. Особое внимание было уделено измерению ЭМ полей для рассмотрения гипотезы о неЭМ характере высокопроникающего

**Результаты экспериментов**  
(запись — 90°, ген. 1 в В, ген. 2 в С — означает 90° между генераторами, расположенными в лабораториях В и С)

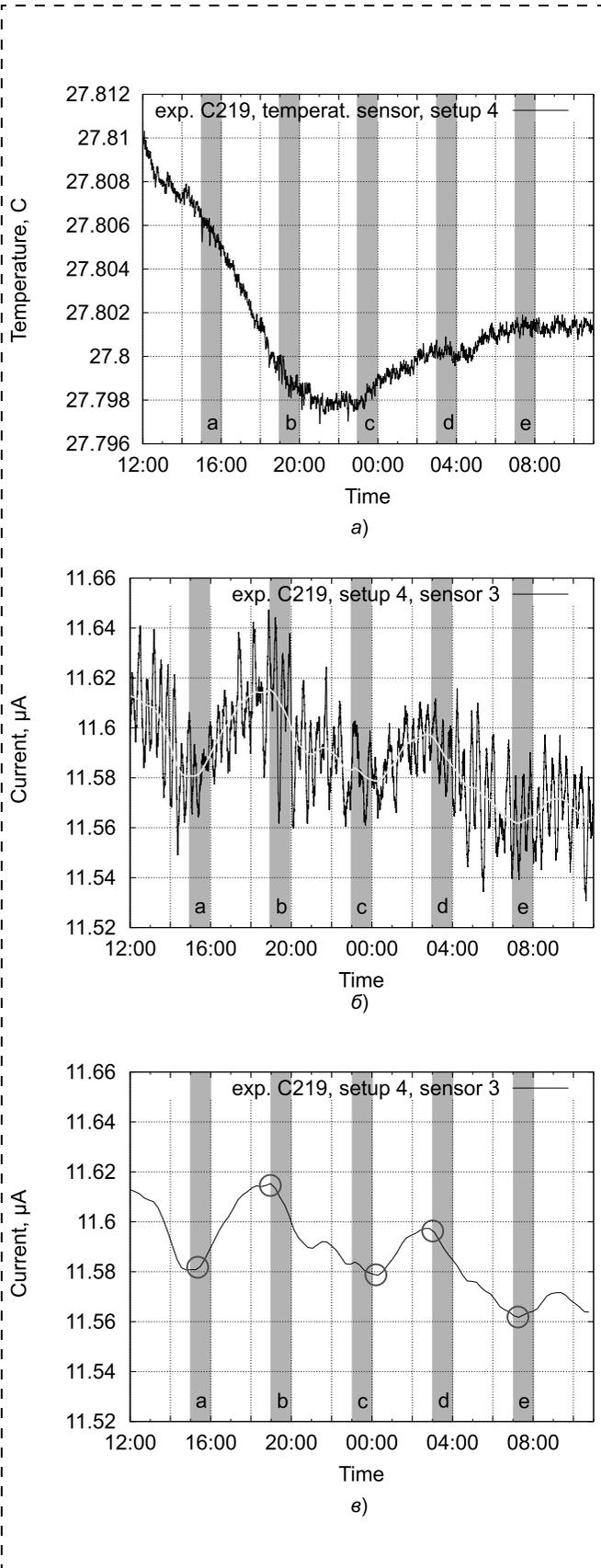
$d_2$ , м	$d_1$ , м	$N$	Всего экспериментов	Всего сенсоров	Всего реакции Т1	Всего реакции Т2	Отсутствующие реакции	Примечания
<b>Лабораторные эксперименты со светодиодным генератором</b>								
—	0,25	C148-C157	5	30	28	0	2	В рамках работы [10]
—	0,3	C166, C167, A165, A168	4	4	3	1	0	В рамках работы [10]
—	0,35	C130	1	3	2	1	0	В рамках работы [10]
—	0,5 ± 0,15	C205, C208	2	18	11	4	3	В рамках калибровки ген.
—	0,76	C166, C167	2	2	2	0	0	В рамках работы [10]
—	1,3 ± 0,15	C213	3	18	9	2	7	Ген. 1 в лаб. В
—	2,3 ± 0,15	C212	4	24	0	14	10	Ген. 1 в лаб. В
—	3,3 ± 0,15	C210	4	24	2	9	13	Ген. 1 в лаб. В
3,5 ± 0,15	—	C215	4	24	0	15	9	Ген. 2 в лаб. С
3,5 ± 0,15	3,5 ± 0,15	C216	4	24	0	15	9	90°, ген. 1 в В, ген. 2 в С
—	5,0 ± 0,15	C218	4	24	1	14	9	Ген. 1 в лаб. В
5,0 ± 0,15	5,0 ± 0,15	C217	4	24	1	16	7	0°, ген. 1 и 2 в лаб. В
5,5 ± 0,15	5,5 ± 0,15	C219	5	30	0	24	6	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
7,5 ± 0,15	7,5 ± 0,15	C220	4	24	0	13	11	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
10,0 ± 0,15	10,0 ± 0,15	C221	4	20	0	11	9	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
—	15,0 ± 0,15	C224	2	12	0	6	6	Ген. 1 в лаб. С
15,0 ± 0,15	15,0 ± 0,15	C225	4	36	0	18	18	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
20,0 ± 0,15	20,0 ± 0,15	C226	4	36	0	19	17	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
50,0 ± 0,15	50,0 ± 0,15	C227	2	18	0	8	10	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
50,0 ± 0,15	50,0 ± 0,15	C228	5	45	0	21	24	0°, ген. 1 и 2 в лаб. С
<b>Полевые эксперименты со светодиодным генератором</b>								
1,65 км	—	C232	1	9	0	4	5	Сразу после переноса
1,65 км	—	C236	2	18	0	8	10	24 ч после переноса
1,65 км	—	C241	4	36	0	12	24	144 ч после переноса
1,65 км	—	C254	3	27	0	4	23	552 ч после переноса
<b>Лабораторные эксперименты с диаграммой направленности светодиодного генератора</b>								
10,0 ± 0,15	10,0 ± 0,15	C231	4	36	0	15	21	Ген. повернуты на 45° по отношению к сенсорам
10,0 ± 0,15	10,0 ± 0,15	C229	2	18	0	2	16	Ген. повернуты на 90° по отношению к сенсорам
10,0 ± 0,15	10,0 ± 0,15	C230	3	27	0	4	23	Ген. повернуты на 180° по отношению к сенсорам
<b>Лабораторные эксперименты с лазерным генератором</b>								
—	0,5 ± 0,15	C247	1	9	4	4	1	Лазер, 15 Гц, лаб. В
—	5,0 ± 0,15	C223	1	9	0	4	5	Лазер, 50 Гц, лаб. В
5,5 ± 0,15	—	C243a	1	9	0	4	5	Лазер, 15 Гц, лаб. С
10,0 ± 0,15	—	C243b	1	9	0	3	6	Лазер, 15 Гц, лаб. С
10,0 ± 0,15	—	C241	3	27	0	6	21	Лазер, 1 кГц, лаб. С
10,0 ± 0,15	—	C241e	1	9	0	1	8	Лазер, 333 кГц, лаб. С
10,0 ± 0,15	—	C241g	1	9	0	3	6	Лазер, 10 Гц, лаб. С
10,0 ± 0,15	—	C241f	1	9	0	2	7	Лазер, 0 Гц, лаб. С
		<b>Всего</b>	<b>100</b>	<b>701</b>				

излучения. Колебания температуры и механических воздействий указаны для всех экспериментов. На основании этих данных мы можем сделать вывод, что указанные факторы хоть и влияют на результаты экспериментов, однако не могут выступать в качестве основных факторов взаимодействия.

Результаты экспериментов собраны в таблице. Было проведено 100 независимых экспериментов с 701 замерами. В виду большого количества данных использовалась следующая полуавтоматическая методика анализа: для всех данных автоматически проводилась интерполяция методом кубических сплайнов, см. светлую кривую на рис. 6, б. Программа генерировала все графики. Анализ воздействия выполняли вручную путем сравнения данных температурного сенсора, поведения исходных данных и поведения тренда. Если

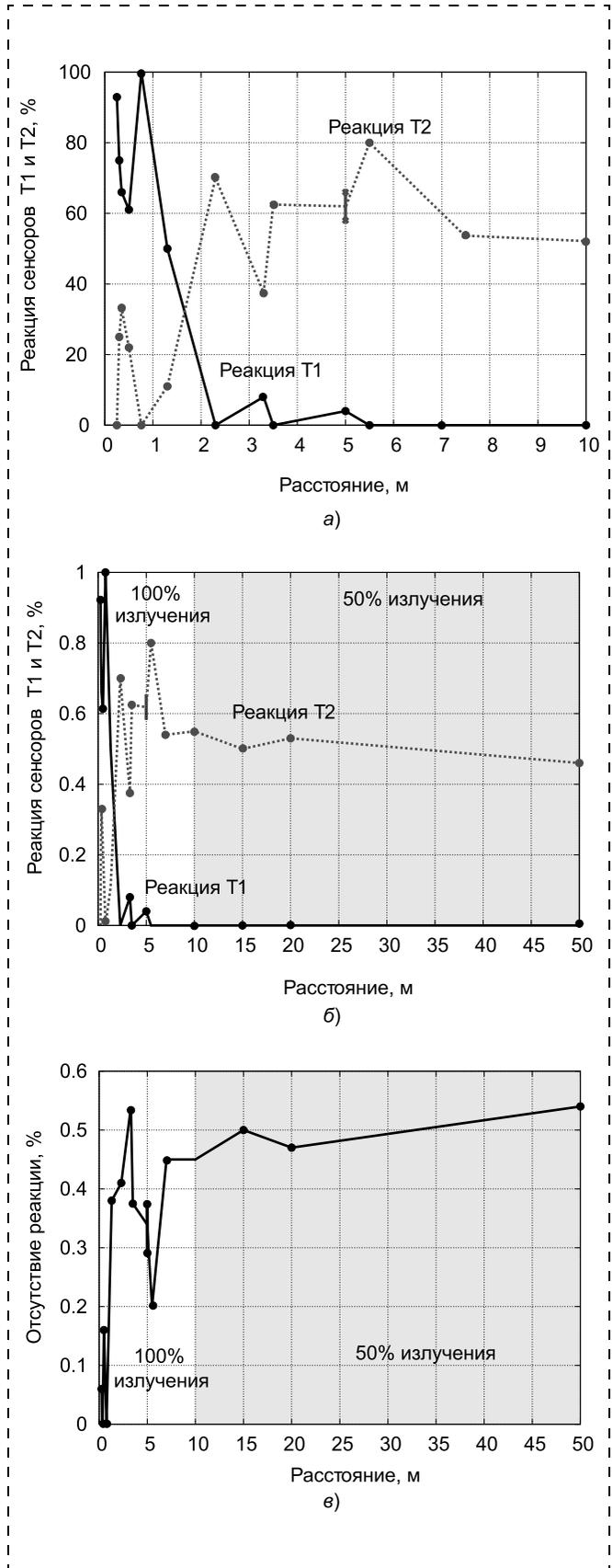
колебания температуры во время одного замера не превышали 0,01 °С, отсутствовали периодические колебания и тренд показывал явно видимое изменение наклона, то на этом месте ставили метку (рис. 6, в). В периодических колебаниях обращали внимание на те фрагменты, когда период фазы приходился точно на время включения и выключения генератора. В заключение подсчитывали число меток. В дальнейшем планируется автоматизировать и этот шаг путем расчета первой и второй производной для тренда, а также проведения кросс-корреляционного анализа для нескольких трендов.

Процентное соотношение реакции Т1 и Т2 и сенсоров, не показавших реакцию в зависимости от расстояния между светодиодным генератором и детекторами, показано на рис. 7.



**Рис. 6.** Эксперимент C219, расстояние  $5,5 \pm 0,15$  м, включены два генератора в лаборатории С (через две железобетонные стены), показания:

*a* — температурного сенсора; *б* — токового сенсора установки № 4 за все время эксперимента; *в* — анализ тренда



**Рис. 7.** Процентное соотношение в зависимости от расстояния между светодиодным генератором и детекторами:

*a, б* — реакции T1 и T2 на расстоянии до 10 и до 50 м; *в* — сенсоров, не показавших реакцию. В экспериментах на расстоянии в 15, 20 и 50 м работали только восемь светодиодных полей из 16, т. е. только 50 % излучения

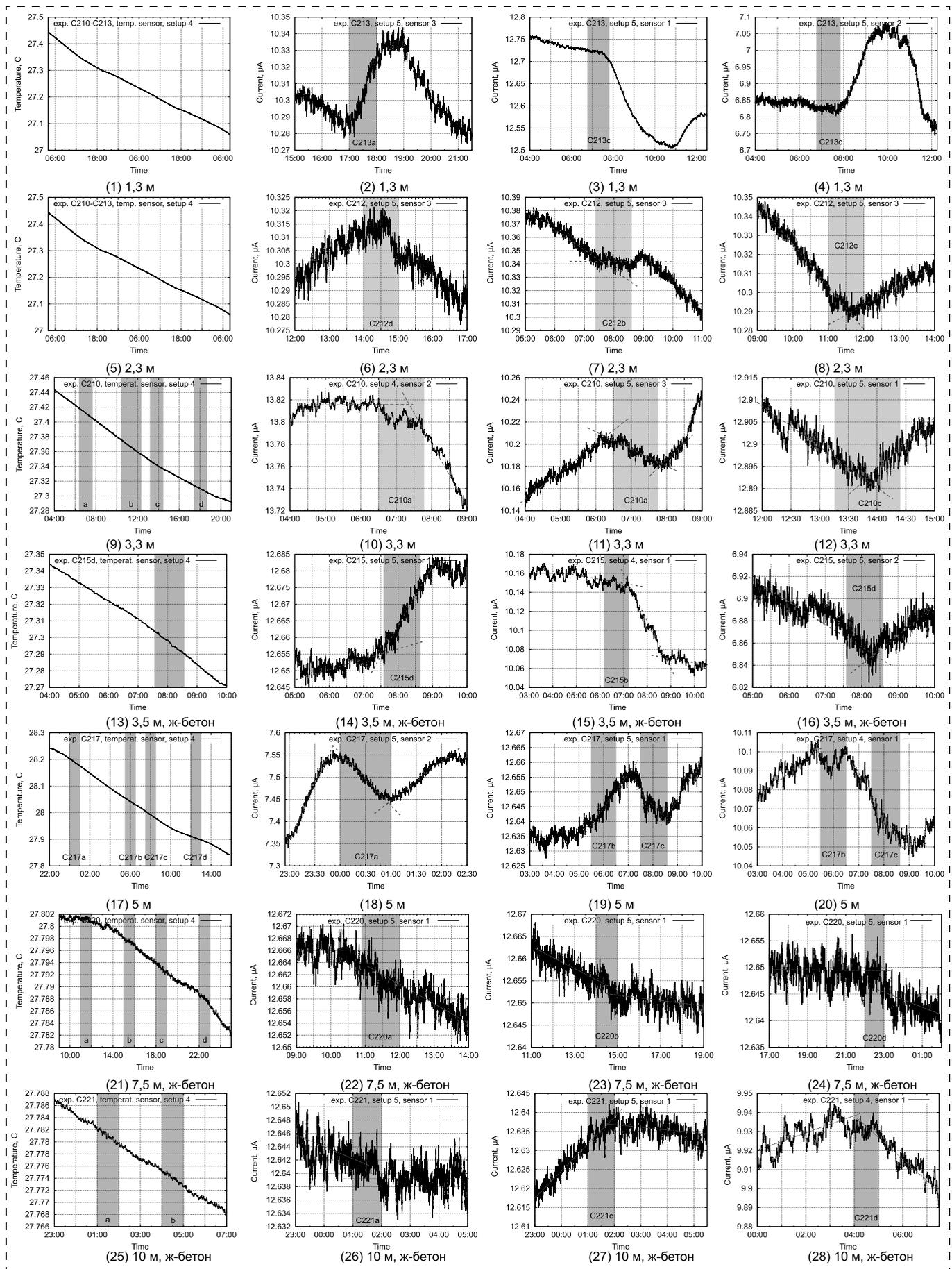


Рис. 8. Три лучших показания сенсоров в разных экспериментах при расстоянии 1,3–10 м

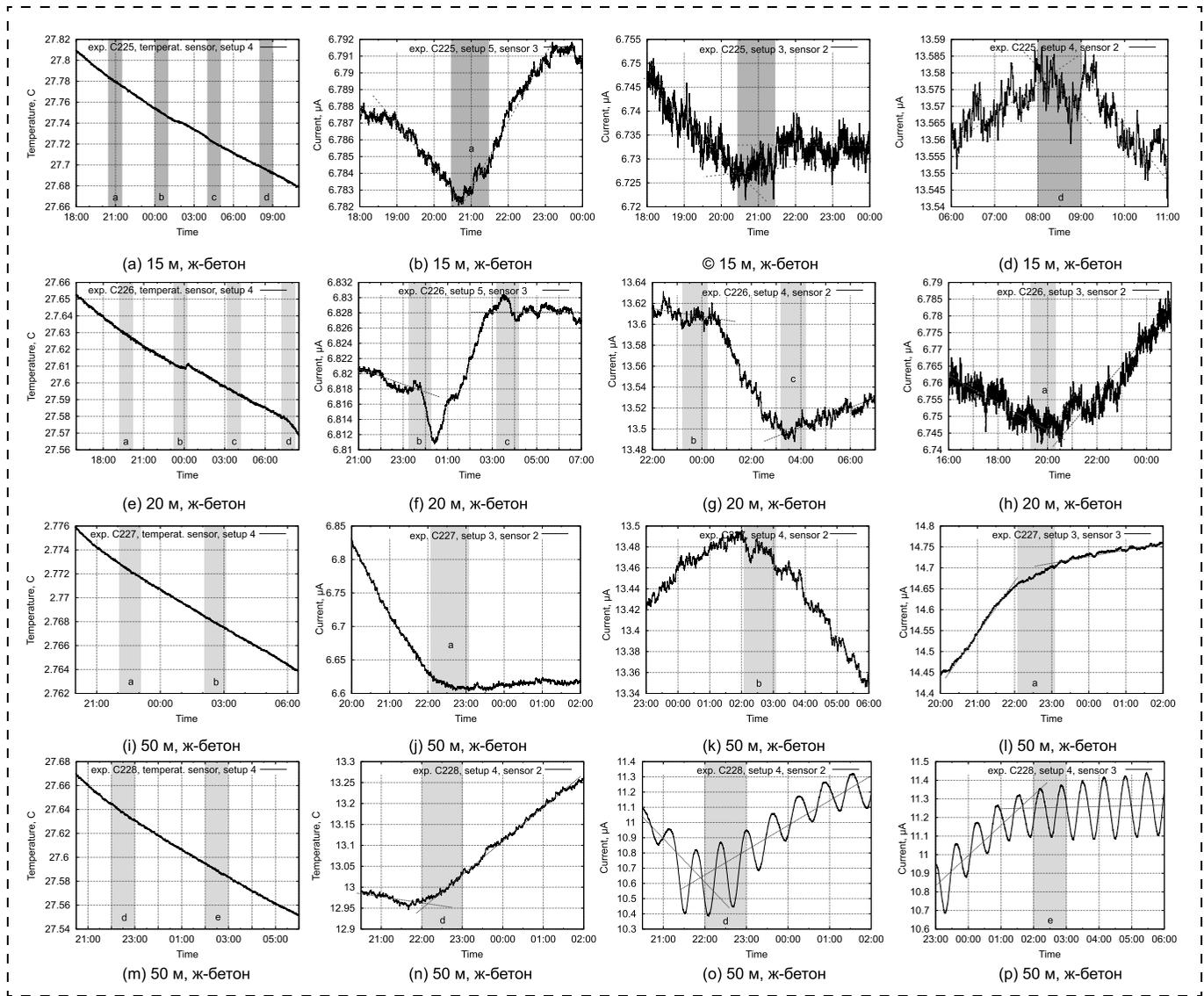


Рис. 9. Три лучших показания сенсоров в разных экспериментах при расстоянии 15, 20 и 50 м

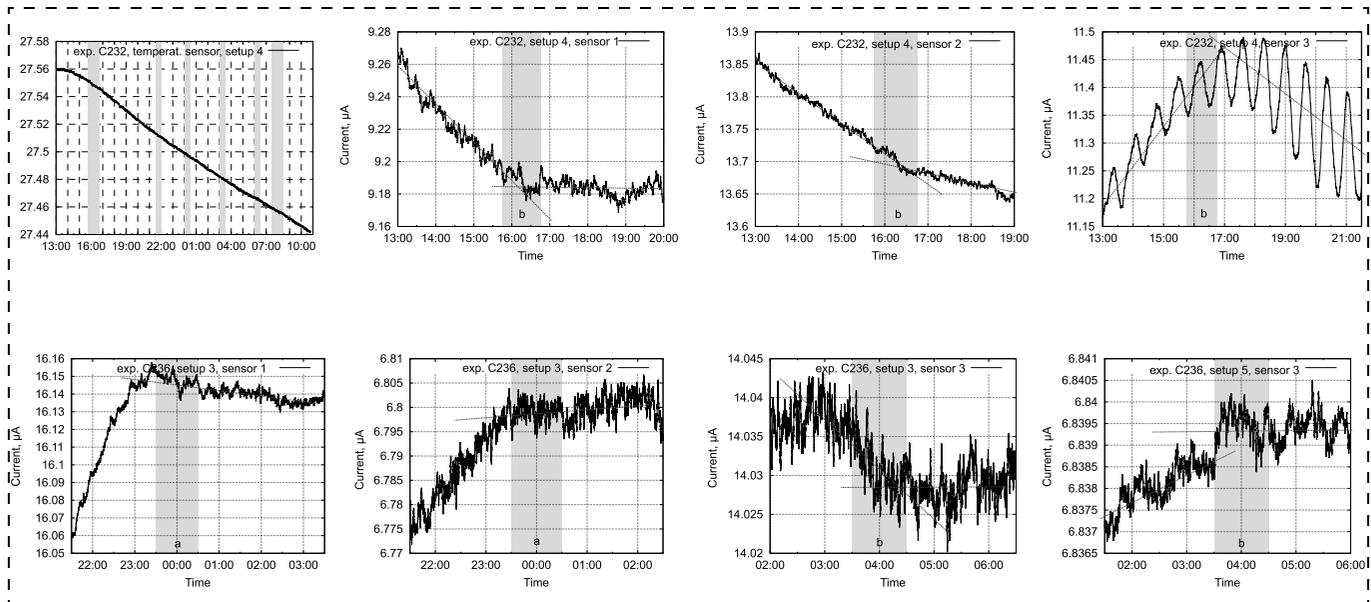


Рис. 10. Результаты некоторых замеров в экспериментах C232 и C236 на расстоянии 1,65 км между генераторами и сенсорами

Три лучших показания сенсоров для экспериментов на разных расстояниях показаны на рис. 8, 9 и 10.

Анализируя полученные данные, можно выделить несколько ключевых тенденций.

1. Сравнивая три лучших показания сенсоров на расстояниях 2,3...1650 м из рис. 8, 9 и 10, можно увидеть их сходный характер относительно амплитуд и углов наклона трендов. По всей видимости, расстояние как в 50 м, так и в 1,65 км не является предельным (если принять во внимание временную "десинхронизацию" приемо-передающих пар).

2. Анализируя данные всех экспериментов, мы наблюдаем некоторое ухудшение соотношения "сигнал—шум" и уменьшение угла изменения тренда с увеличением расстояния между генератором и сенсорами. Однако данные изменения не являются качественными для таких расстояний, и поскольку происходит детекция изменения тренда по принципу "да"—"нет", то максимальная чувствительность подобного двоичного сенсора зависит от способности выделить изменения тренда на фоне шума.

3. С увеличением расстояния преобладает тип реакции T2. После расстояния в  $2,3 \pm 0,15$  м мы почти не обнаруживаем реакции T1. Точно так же и на малых расстояниях в 0,25 м мы почти не обнаруживаем реакции T2. Мы разделили результаты лабораторных экспериментов со светодиодным генератором на две группы  $< 1,3$  и  $> 2,3$  м и провели статистический U-тест Манна—Уитни для той нуль-гипотезы, что функция распределения является одинаковой для обеих групп. На основании полученного результата  $z = -3,820$  (для реакции T1) и  $z = -3,180$  (для реакции T2) мы отвергаем нуль-гипотезу с уровнем значимости  $\alpha < 0,001$  и  $\alpha = 0,001$  соответственно.

4. Сравнивая результаты экспериментов без препятствий и с препятствиями (железобетонные стены), мы не можем найти качественную разницу между ними. Поскольку ЭМ поля, температурные, акустические и механические воздействия практически исключены из этих экспериментов, то такие результаты могут служить аргументом в пользу гипотезы о "высокопроникающем" характере "неЭМ компоненты" излучения светодиодного генератора. Необходимы дальнейшие эксперименты для выяснения характера и степени поглощения различных материалов.

5. Эксперименты из раздела 2 указывают на некоторые дальнейшие свойства "высокопроникающей компоненты" излучения, такие как временная "ресинхронизация" приемо-передающих пар при увеличении расстояния.

Анализируя результаты экспериментов этой работы, работы [10, 17] и основополагающих работ [6, 5, 7], мы отмечаем нетипичность полученных результатов относительно следующих факторов:

а) уменьшение энергии излучения (выключение 50 % светодиодов на расстоянии в 15, 20 и 50 м) не ведет к ухудшению основных показателей сенсоров для реакции T2; б) использование препятствий в виде множественных железобетонных стен также не ведет к существенному ухудшению основных показателей сенсоров; в) увеличение расстояния с 50 до 1650 м не ведет к заметному ухудшению реакции сенсоров; г) способности "запоминать" светодиодное излучение некоторыми материалами, в частности водой [10]; г) "странная" временная динамика приемо-передающих пар, описанная в разделе 2. На основании этих экспериментальных данных, мы пока не можем отвергнуть гипотезу о "неэлектромагнитной компоненте" излучения.

Как уже указывалось в работе [10], эти эксперименты были проведены в условиях нормальной лаборатории микроэлектроники и мехатроники, т. е. не в специальной физической лаборатории. Для более тщательного исследования наблюдаемого феномена, эти работы должны быть повторены в физической лаборатории, где могут быть измерены сверхслабые сигналы различной природы. Было зафиксировано несколько случаев, когда отдельные сенсоры показывали значительные показания без видимых для этого причин. Стандартные критерии доверия к показаниям сенсоров соблюдались: одновременная регистрация несколькими (но не всеми) сенсорами, ночные часы, константные изменения температуры и т. д. Можно предположить, что используемые генераторы представляет собой не единственный источник высокопроникающего излучения.

## Заключение

К сожалению, на данный момент методика оценки воздействия различных факторов на токовые сенсоры еще не полностью разработана. Отсутствует общепризнанная модель, которая позволила бы, во-первых, понять наблюдаемые эффекты, во-вторых, прогнозировать влияние тех или иных факторов. Эксперименты в этой области представляют собой пока более метод случайного поиска, чем систематический подход. Это касается в особенности "странных" пространственных или временных эффектов, которые наблюдаются в экспериментах, но которым невозможно дать однозначную оценку. Поэтому наша позиция заключается в возможно полном описании наблюдаемых феноменов, например для последующей перепроверки, без попыток дать им то или иное объяснение. Для тех, кто заинтересован в возможных гипотезах, мы ссылаемся на работы А. В. Боброва [5], Г. И. Шилова [11], С. В. Зенина [12, 13], L. Hunter и группы соавторов [15], V. Vedral [16] и других авторов.

С точки зрения микросистемотехники интерес представляет собой факт низкой потребляемой

энергии генераторов для передачи сообщений и возможность значительной миниатюризации ДЭС-сенсора. Оценивая частоту модуляции и потребляемый ток, получили, что потребляемая электрическая мощность светодиодного генератора равна около нескольких десятков милливольт. Однако данная система не оптимизирована как в плане быстродействия, так и в плане потребляемой мощности для подобных экспериментов. Например, в экспериментах [17] показано, что даже при оптической мощности одного лазерного диода в 1 мВт уже возможно добиться устойчивой передачи сообщений на больших расстояниях (при специальной конструкции генератора). Таким образом, здесь существует определенный потенциал, который может быть развит дальше как в плане возможных расстояний и емкости канала связи, так и плане микросхемотехники, например для систем аварийной связи [14] глубоководных АНПА.

Для будущих работ, в особенности для дальнейшего изучения этого феномена, представляется возможным, что сочетание разнообразных технических и биологических сенсоров, например [18–21] позволит сделать экспериментальную базу более точной и перевести результаты из качественных в количественные.

*Автор хотел бы высказать признательность за ценные советы в процессе подготовки и анализа экспериментов, а также понимания общей природы наблюдаемого феномена А. В. Боброву, С. А. Васильеву, В. Т. Шкатову, Ю. П. Кравченко, В. А. Жигалову и А. Савсуненко.*

#### Список литературы

1. **Stenschke H.** Polarization of water in the metal/electrolyte interface // *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*. 1985. 196 (2). P. 261–274.
2. **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.* 1983. V. 2, N 79. P. 225–242.
3. **Belaya M. L., Feigelman M. V., Levadnyii V. G.** Structural forces as a result of nonlocal water polarizability // *Langmuir*. 1987. N 3 (5). P. 648–654.
4. **Kernbach S.** On High-Penetrating LEDs Emission on Short and Middle Ranges // *Proc. of the Int. Conf. Torsion fields and Information Interactions*. Moscow. 2012. P. 98–114.
5. **Бобров А. В.** Модельное исследование полевой концепции механизма сознания (A. V. Bobrov. Investigating a field concept of consciousness). Орел: Изд. ОрелГТУ, 2006.
6. **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. P. 76–86.
7. **Бобров А. В.** Реакция двойных электрических слоев на воздействии торсионного поля (V. Bobrov, Reaction of double electrical layer on torsion field). ВИНТИ N 1055-B97, 1997.
8. **Маслоброд С. Н.** Эффект дальней связи между прорастающими семенами, возникающий при их контакте в период набухания // *Электронная обработка материалов*. 2012. № 48 (6). P. 99–113.
9. **Maslobrod S. N.** The Distant Effect of Water on Seeds Outside a Closed Reservoir // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2011. N 47 (4). P. 378–383.
10. **Kernbach S.** Replication Attempt: Measuring Water Conductivity with Polarized Electrodes // *Journal of Scientific Exploration*. 2013. N 27 (1). P. 69–105.
11. **Шипов Г. И.** Теория физического вакуума. М.: НТ-центр, 1993.
12. **Зенин С. В.** Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем. М.: РГБ, 2005.
13. **Зенин С. В.** Научные основы и прикладные проблемы энергоинформационных взаимодействий в природе и обществе. М.: ВИУ, 2000.
14. **Замша В. В., Шкатов В. Т.** О возможном способе сверхдальней передачи аварийного сигнала в экстремальных и чрезвычайных ситуациях // *Сборник УГАТУ. Безопасность*, 2012. P. 128.
15. **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. N 339 (6122). P. 928–932.
16. **Vedral V.** Quantifying entanglement in macroscopic systems // *Nature*. 2008. N 453 (7198). P. 1004–1007.
17. **Кернбах С., Замша В., Кравченко Ю.** Дальние и сверхдальние приборные взаимодействия // *Журнал формирующихся направлений науки*. 2013. № 1 (1). С. 24–42.
18. **Mabeck J., Malliaras G.** Chemical and biological sensors based on organic thin-film transistors // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2006. N 384. P. 343–353.
19. **Nylander C.** Chemical and biological sensors // *Journal of Physics E: Scientific Instruments*. 1985. N 18 (9). P. 736.
20. **Macaya D. J., Nikolou M., Takamatsu S., Mabeck J. T., Owens M., Malliaras G. G.** Simple glucose sensors with micromolar sensitivity based on organic electrochemical transistors // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2007. N 123 (1). P. 374–378.
21. **Мигунов С. А., Сидоров Е. П., Творогова А. В.** Рефлексогенный механизм действия спектрального облучателя СПЕКТО-Р на иммобилизованные ферментные системы // *Рефлексотерапия*. 2006. № 1 (1). С. 14–17.