

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

КОНЦЕПЦИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ И ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ В ПЕРИОД ВЫРАЩИВАНИЯ

Белокрылов М.Е., Константинов Ю.А.

*Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
г. Пермь*

THE CONCEPT OF AN OPTOELECTRONIC DEVICE FOR STUDYING THE SYNERGISTIC EFFECT OF PRE-SOWING TREATMENT OF PLANT SEEDS AND VIBRATION IMPACT ON THEM DURING THE GROWING PERIOD

Belokrylov M.E., Konstantinov Yu.A.

*Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Perm*

[DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.1.61.313](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.61.313)

АННОТАЦИЯ

Изложена основная концепция оптоэлектронного устройства для изучения синергетического эффекта предпосевной обработки семян растений и вибрационного воздействия на них в период выращивания. Дано обоснование методов и принципов действия как излучающего, так и сенсорного модуля системы

ABSTRACT

The basic concept of an optoelectronic device for studying the synergistic effect of pre-sowing treatment of plant seeds and vibration impact on them during the growing period is stated. The substantiation of the methods and principles of operation of both the emitting and the sensor module of the system is given.

Введение

Одним из главных вызовов современного человечества является необходимость обеспечения продовольствием растущее население Земли, прибегая ко всем возможным и разумным мерам по повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Обеспечивая всестороннее выполнение условий созревания их плодов, зачастую агрономы забывают о факторе, который присутствует почти везде и всегда – это вибрации (колебания, связанные с деятельностью человека, созданных им устройств и объектов, животных, геофизическими процессами). До недавнего времени было принято считать, что данный фактор либо не оказывает существенного воздействия на флору, либо дает незначительный негативный эффект. Однако существуют исследования, описывающие как отрицательное влияние вибраций на растения, так и дающие положительный эффект (увеличение урожайности на 30-40%) [1]. Отмечено, что возможно сформировать плоскую форму корневой системы у рассады в процессе ее роста с преимущественным развитием обрастающих корней за счет воздействия механической вибрации. При этом наверняка не выяснено, каким образом прикладывают вибрации, в каком спектре и т.д., и как избежать негативного влияния последних, которое наблюдается при воздействии, например, оживленной трассы. Для того, чтобы объяснить с фундаментальной точки зрения те или иные процессы в растениях, подверженных вибрационным воздействиям, как в лабораторных, так и полевых условиях, необходима разработка гибкого малоинвазивного инструмента, позволяющего регистрировать полную

акустическую картину в зоне высадки растений. Вторым важным стимулирующим фактором, обеспечивающим активное развитие корневой системы, является предпосевная обработка семян. Скажем, для семян льна интересна длина волны облучения чуть выше 1 мкм, обработка которой позволяет стимулировать оболочки семян, что дает им возможность сразу после посадки активнее впитывать влагу. Оба описанных метода стимуляции научно доказаны, однако, общий синергетический эффект от их внедрения пока не описан. Чтобы подготовиться к таким исследованиям, необходимо изложить основную концепцию лабораторного стенда, который будет включать в себя а) небольшой объем почвы с интегрированным генератором шумов интересующего диапазона; б) систему предпосевной обработки на основе волоконного источника, работающего в импульсном режиме; в) систему распределенной регистрации акустических частот сверхчувствительного типа.

Концепция метода

Авторы настоящей работы предлагают использовать метод DAS [2], но с применением повышенной поляризационной чувствительности, причем применять данную методику в отношении семян, ранее обработанных на предпосевной стадии итербиевым лазером. Предполагается, что благодаря поляризационной чувствительности снизится порог амплитуд колебаний акустических частот, регистрируемых системой. В основе метода быстрого распределенного анализа поляризационных свойств оптических волокон лежит автоматизированная схема зондирования волоконных световодов высококогерентными

импульсами в разных состояниях поляризации (Рис.1).

На рисунке 1: диод накачки с центральной длиной волны излучения 976 нм мощностью 50 Вт с внешним активным охлаждением, двухэлементное волокно, легированное активными ионами иттербия, длиной 25 м, поглощение на длине волны накачки (976нм) 0.4дБ/м из оболочки и 80дБ/м из сердцевины. В качестве пассивного затвора можно использовать гольмиевое длиной 12 м, потери поглощения на длине волны 1125 нм должны быть около 16.14 дБ/м, на длине волны 1151 нм – 35.7 дБ/м. Также в схеме пассивного затвора должны быть использованы три волоконные брэгговские решетки с коэффициентом отражения 100%: две из них на длину волны 2050 нм. Предполагается, что лазерный резонатор состоит из двух решеток на 1081 нм: HR с широким спектром отражения с центром в 1079 нм и 30% решетка с пиковым отражением на длине волны 1080нм, шириной спектра ~ 2 нм. Оптический поляризационно-нечувствительный трехплечевой используется на данной схеме для перенаправления излучения на обрабатываемые семена. Считывание обратно-рассеянного сигнала позволит также качественно оценивать отражательную

способность обрабатываемых семян. В качестве регистратора можно использовать фотоприемник с частотой регистрации сигнала не менее 200 МГц (Детектор 1). Второй детектор (Детектор 2) с частотой регистрации сигнала не менее 150 МГц целесообразно применять для получения синхронизирующего сигнала. В качестве устройства АЦП, ЦОС и визуализации можно использовать лабораторный осциллограф с разрядностью 8 бит и частотой дискретизации 1 ГГц. Излучающее устройство на том же принципе авторы уже создавали ранее [11]. Также на схеме – LS – лазерный диод с узкой полосой излучения, PD – фотоприемник 1ГГц, G – генератор сигнала, D1 и D2 – драйверы модуляторов Маха-Цендера, MZM1 и MZM2 – модуляторы Маха-Цендера, A, P1 и P2 – поляризаторы, C – делитель оптического сигнала; PMC – делитель оптического сигнала, сохраняющий состояние поляризации вводимого излучения, PMCIR1 и PMCIR2 – циркуляторы, сохраняющие состояние поляризации вводимого излучения, FBG – волоконная брэгговская решетка. Цифрами 1 и 2 обозначены оптические эрбиевые усилители; FUT – волокно, сохраняющее состояние поляризации вводимого излучения и используемое в качестве сенсора.

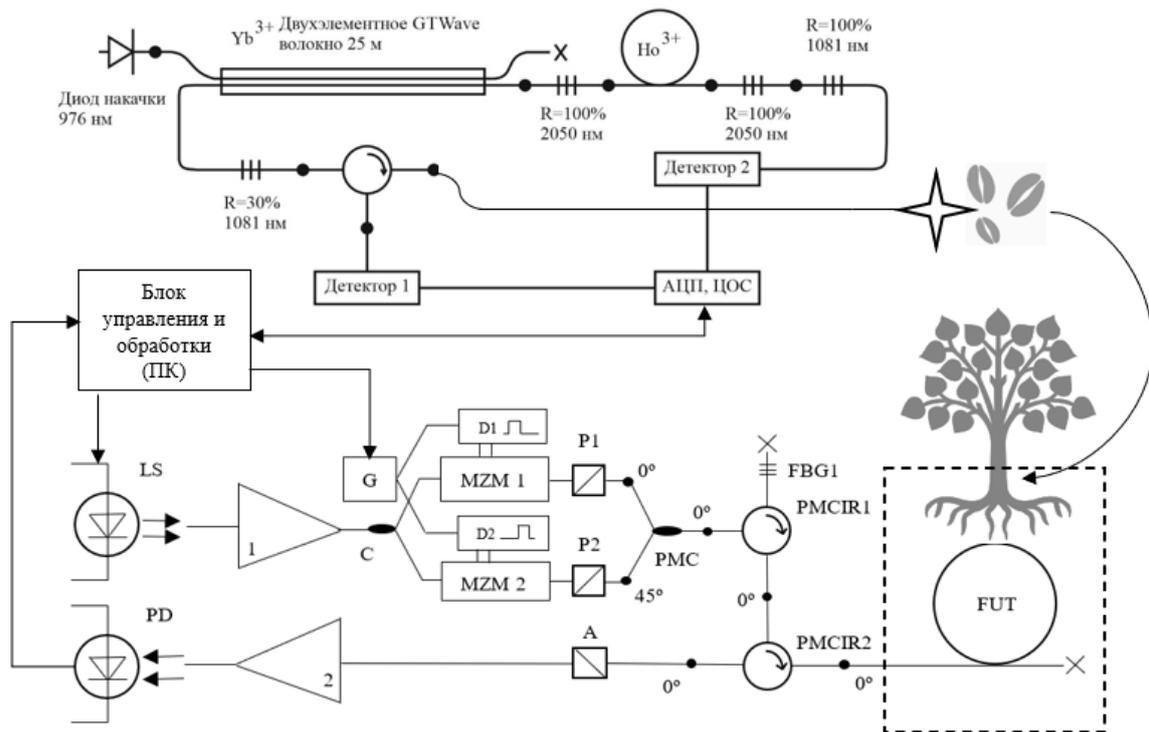


Рис.1 Упрощенная конфигурация системы.

Совместная обработка откликов рассеяния в анизотропном волоконном световоде от импульсов из разных плеч позволит получить функцию, линейно связанную с коэффициентом взаимодействия мод в заданной точке волокна. Принципиальную возможность такого подхода была продемонстрирована членами коллектива в работе [3]. В данный момент интересна схема, в которой высококогерентное излучение источника делится на две равные по мощности части и в

каждой из ветвей делителя проходит амплитудную модуляцию и линейно поляризуется с высоким коэффициентом поляризационной экстинкции. Далее сигналы снова объединяются сохраняющим поляризацию объединителем, но таким образом, что из одного плеча излучение вводится по медленной оси, а из другого – строго между поляризационными осями. Импульсы заданной формы и скважности формируются в плечах делителя строго попеременно и через сохраняющий

состояние поляризации вводимого излучения циркуляторы посылаются в исследуемый световод. Экспериментально установлено [3], что импульсы, введенные под 45 градусов к медленной оси, в меньшей степени подвержены изменению общей мощности на дефектах анизотропии, в то время как импульсы, вводимые строго в медленную ось, описывают перекачку более выражено [4]. Очевидно, что искомым величиной в таком случае станет разность рефлектограмм, полученных по двум последовательно идущим импульсам.

Практический опыт

Предыдущие реализации таких схем, выполненные авторами ранее, требовали

длительного накопления данных – по обоим типам импульсов. Возможны также вариации с углами ввода – эти работы были начаты также в [4] и требуют продолжения в связи с появлением новых рефлектометрических методик. В частности, предполагается, что сужением спектра источника удастся повысить скорость работы, перейдя к когерентной рефлектометрии. На данном же этапе проведены исследования на низкокогерентном источнике – чтобы проанализировать отдельно влияние поляризационной чувствительности. Рефлектограммы, полученные при зондировании под углами 0 и 45 градусов к медленной оси, представлены на рис. 2.

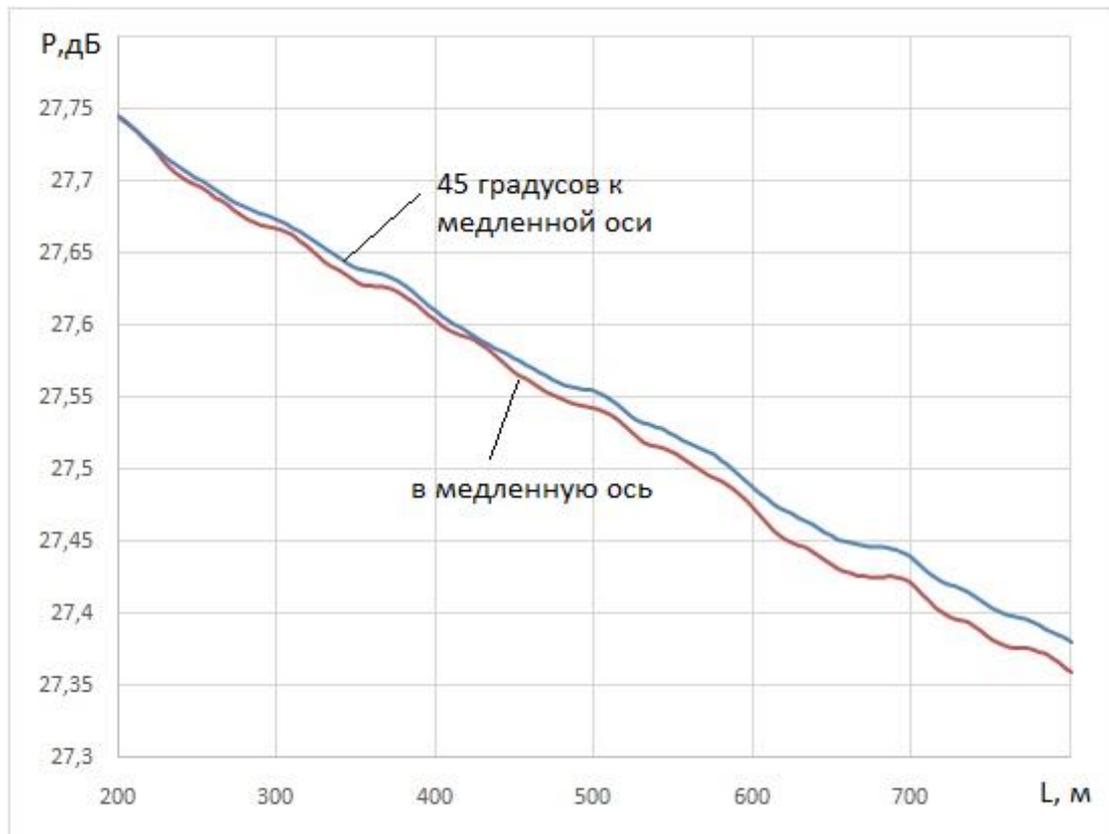


Рис.2 Рефлектограммы, полученные при зондировании под углами 0 и 45 градусов к медленной оси на «некогерентной» версии макета.

Математическая разница рефлектограмм, представленных на рисунке (которая, как видно из полученных зависимостей, достаточно адекватно регистрируется), характеризует перекачку мод и, как следствие, становится некоторым образом чувствительной к температурам и деформациям. Этот факт частично подтверждает гипотезу о том, что чувствительность DAS к вибрации после применения такой модификации возрастет. Точнее, снизится порог амплитуд колебаний акустических частот, регистрируемых системой. Известно также, что растения чувствительны не только в частоте, но и форме сигнала. Скажем, сигналы, представляющие собой искаженные (срезанные) гармонические функции, свойственные экстремальным музыкальным стилям, по

некоторым данным оказывают на растение негативные эффекты, что требует всестороннего исследования. Для изучения таких сигналов, необходимо высокое разрешение как по частоте, так и самой измеряемой величине, что является великолепным вызовом для современной агробиофотоники и достойным продолжением работ по только начинающему развитию направлению «Вибрационная экология» [5-8]. Подробнее эти работы описаны авторами в [9]. В [10] представлена упрощенная версия распределенной сенсорной системы, успешно регистрировавшей кратковременные статичные деформации. Переход к высококогерентному излучению позволит регистрировать акустические частоты в интересующих диапазонах.



Рис.3 Некогерентная версия распределенного сенсора.

Выводы и будущие работы

В данной работе было показано, что не существует крупных видимых преград для реализации оптоэлектронного устройства для изучения синергетического эффекта предпосевной обработки семян растений и вибрационного воздействия на них в период выращивания, поскольку отдельные его элементы либо уже создавались авторами работы, либо их коллегами из других организаций. Авторы надеются, что в будущем сам эффект можно будет оценить вариацией мощностных параметров обработки, управлением импульсными режимами, а также эффективным сбором данных с сенсора.

Литература

1. <http://www.findpatent.ru/patent/260/2603589.html>
2. X. Liu, C. Wang, Y. Shang / Distributed acoustic sensing with Michelson interferometer demodulation / Photonic Sensors 2016 DOI: 10.1007/s13320-017-0363-y.
3. Burdin, V V et al., A technique for detecting and locating polarisation nonuniformities in an anisotropic optical fibre, Quantum Electronics(2013),43(6):531, <http://dx.doi.org/10.1070/QE2013v043n06ABEH014995>
4. Konstantinov, Yu. A. et al. Quantum Electronics(2009),39(11):1068 <http://dx.doi.org/10.1070/QE2009v039n11ABEH014171>
5. М. В. Нецветов / Вибрационная экология леса / Экологія та ноосферологія. 2008. Т. 19, № 3–4, сс. 40-50.
6. Нецветов М. В., Суслова Е. П., Вибрации деревьев, индуцированные движением трамвая (Netsvetov M.V., Suslova O.P. TREES VIBRATIONS INDUCED BY TRAM TRAFFIC / Donetsk botanical garden of the National Academy of Sciences of

Ukraine), Вісник Запорізького національного університету № 2, 2008, сс. 152-157

7. Lacusic S. Impact of tram traffic on noise and vibrations // Electronic Journal «Technical Acoustics». <<http://www.ejta.org>> – 2006, 13.

8. Беркович Ю.А., Большакова Л.С., Давыдова Н.В., Делоне Н.Л., Зимина Н.В., Смолянина С.О., Соловьёв А.А./ Стимуляция роста у пшеницы под воздействием вибрации / Доклады Академии наук / 2010 / <http://naukarus.com/stimulyatsiya-rosta-u-pshenitsy-pod-vozdeystviem-vibratsii>

9. Ременникова М. В., Бочкова С. Д., Константинов Ю. А. Оптический метод исследования вибрационных воздействий на развитие системы обрастающих корней растений // Фотон-экспресс. 2019. №ВКВО. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opticheskiy-metod-issledovaniya-vibratsionnyh-vozdeystviy-na-razvitiye-sistemy-obrastayuschih-korney-rasteniy> (дата обращения: 15.11.2020).

10. НАБЛЮДЕНИЕ "ОТРАЖАЮЩИХ СОБЫТИЙ" НА УЧАСТКАХ МИКРОИЗГИБНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОДНОМОДОВОГО СВЕТОВОДА ПРИ ПОМОЩИ СПЕЦИАЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ РЭЛЕЕВСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА Кривошеев А.И., Носова Е.А., Лобач И.А., Клод Д., Константинов Ю.А., Барков Ф.Л.

В книге: Оптическая рефлектометрия – 2018. Тезисы II Всероссийской конференции. 2018. С. 30-33.

11. РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ АКТИВНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Белокрылов М.Е., Константинов Ю.А., Латкин К.П., Клод Д., Селезнев Д.А., Стёпин А.А., Конин Ю.А., Щербакова В.А., Кашина Р.Р.В книге: Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика - 2020. Сборник тезисов докладов. 2020. С. 29-30.