

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ

В.В. КОТЕЛЬНИКОВ, Ю.П. МАЧЕХИН, А.С. ГНАТЕНКО

В данной статье рассмотрены теоретические основы, механизмы и особенности взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями. Экспериментальным способом выявлены параметры и режимы работы лазера, необходимые для эффективной передачи тепла на хитиновый покров насекомых. Предложена конструкция экспериментальной установки для уничтожения вредителей в воздухе.

Ключевые слова: лазерное излучение, хитиновая ткань, меланин, вредные насекомые, тепловое воздействие.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эффективная борьба с вредными насекомыми является одним из ключевых факторов развития сельского хозяйства. Существующие методы с применением вредных пестицидов давно устарели и требуют новых идей и решений. К таковым следует отнести внедрение лазерных технологий, которые при определенных параметрах эксплуатации удовлетворяют поставленные задачи.

Известно, что в покрове подавляющего большинства насекомых содержится пигмент меланин. Максимум его поглощения находится в ультрафиолетовой области спектра [1]. Использование лазеров с длиной волны до 400 нм обеспечивает тепловое воздействие на поверхность тела и органы насекомого, что в конечном итоге приводит к гибели вредителя. Ранее были проведены эксперименты с эксимерными лазерами 248 нм и 308 нм на ряде насекомых отряда жесткокрылых [2]. Данная работа освещает частный случай применения лазерного излучения для борьбы с вредными насекомыми на примере личинки зофобуса (*Zophobas morio*) и бананового сверчка (*Gryllus assimilis*) в лабораторных условиях. Как продолжение данной исследовательской работы, предложена экспериментальная модель для воздействия на насекомых в воздухе.

Суть эксперимента и цель работы заключалась в поочередном облучении отдельных особей вышеуказанных насекомых с различным временем воздействия для нахождения оптимальных параметров эксплуатации лазерной установки. Время воздействия задавалось программно. Теоретическая база и математическая модель процессов были рассмотрены ранее [3].

2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения экспериментов был выбран ультрафиолетовый Series 3500 UV Laser, длиной волны 350 нм, с заявленной мощностью в 3 Вт, однако во время для выполнения работы мощность не превышала 1 Вт. Т.к. по своему назначению данная лазерная установка относится к маркираторам, была вы-

брана рабочая область 5 x 5 мм. В пределах данной области производилось воздействие на поверхность испытуемых насекомых. Воздействие производилось в свободном пространстве без применения дополнительных оптических систем. Общий вид установки представлен на рисунке 1.1.

Перед непосредственным проведением эксперимента стояла задача снизить подвижность объектов. Для этого контейнеры были помещены в камеру с температурой воздуха около нуля градусов по Цельсию на 10 минут. Чрезмерная подвижность могла привести к неравномерному облучению хитинового покрова, что в конечном итоге искажало бы результаты. Насекомые фиксировались при помощи пинцета так, чтобы большая часть поверхности находилась в рабочей области маркиратора.



Рис. 1. – Общий вид лазерной установки

В таблице 1 представлены результаты наблюдений внешних изменений покрова тел вредных насекомых под воздействием лазерного излучения для зофобаса (*Zophobas morio*) в зависимости от времени воздействия.

Таблица 1 Результаты наблюдений (зофобас)

Время воздействия, с	Наблюдения
0,04	Видимых изменений не наблюдается;
0,07	Видимых изменений не наблюдается;
0,1	Видимых изменений не наблюдается;
0,25	Слабое повреждение внешнего хитинового покрова;
0,5	Среднее повреждение внешнего хитинового покрова;
0,9	Значительное повреждение внешнего хитинового покрова;
2,5	Значительное повреждение внешнего хитинового покрова, обугливание покрова, выделение внутренних жидкостей.

Начиная со значения времени воздействия, равному 0,25 с, на поверхности тела личинки зофобаса наблюдается частичное обесцвечивание пигмента. Это говорит о том, что ультрафиолетовое излучение уже поглощается хитином, но переданной энергии не хватает для ожидаемого результата. Увеличение времени в два раза до 0,5 с дало схожий результат, однако видимых повреждений не наблюдалось. Время воздействия 0,9 с оказалось наиболее эффективным. Значительное повреждение хитинового покрова личинки в дальнейшем привело к гибели насекомого.

Для оценки максимальной мощности, личинку подвергли воздействию УФ излучения 2,5 с, что привело к значительному повреждению внешнего покрова, частичному обугливанию, образованию трещин и выделению внутренних жидкостей (рисунок 2).



Рис. 2. Результаты эксперимента для зофобаса

В случае с банановым сверчком (*Gryllus assimilis*) (таблица 2) для получения ожидаемого результата, понадобилось большее время воздействия (1,7 с). Это связано с тем, что испытуемый объект являлся уже взрослой особью и обладал более крепким хитиновым покровом тела. Однако, начиная с 0,9 с наблюдалось частичное обугливание и повреждение усиков и покровных волосков.

Таблица 2 Результаты наблюдений (сверчок)

Время воздействия, с	Наблюдения
0,04	Видимых изменений не наблюдается;
0,06	Видимых изменений не наблюдается;
0,1	Видимых изменений не наблюдается;
0,2	Слабое повреждение внешнего хитинового покрова, небольшой дым;
0,9	Среднее повреждение внешнего хитинового покрова;
1,7	Значительное повреждение внешнего хитинового покрова, повреждение усиков, обугливание мелких и крупных покровных волосков;
2,5	Обугливание покровных волосков, обширное тепловое повреждение, характерный запах и дым.

При 1,7 с насекомые погибают практически мгновенно в большинстве образцов в результате вызванного нагреванием повреждения, о чем свидетель-

ствуют ожоги, обугленные мелкие покровные волоски.



Рис. 3. Результаты эксперимента для сверчка

Время воздействия 2,5 с, как показал эксперимент, является наиболее эффективным с точки зрения скорости умерщвления и передачи тепловой энергии на покров тела и органов насекомых. Наблюдается обширные тепловые изменения тканей исследуемого объекта.

3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УНИЧТОЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ НАСЕКОМЫХ

Результаты вышеописанных экспериментов дают повод для разработки комплексов по борьбе с вредными насекомыми. Важно учитывать тот факт, что большинство насекомых перемещаются с помощью крыльев (перелетные стаи саранчи). Поэтому актуальной является постановка задачи для умерщвления, либо частичного повреждения крыльев вредителей прямо в воздухе.

В последние годы беспилотные летательные устройства применяют для различных целей. От военной разведки до съемки любительского видео. Сами дроны отличаются как габаритами, так и техническими характеристиками. Идея заключается в использовании квадрокоптера для подъема полупроводникового лазера на высоту, достаточную для обнаружения и воздействия на вредных насекомых. Для будущего эксперимента была выбрана модель Syma X5SC. Общий вид аппарата представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Общий вид Syma X5SC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важно отметить, что данный тип квадрокоптера оснащен камерой, с возможностью передачи и захвата видео смартфоном, в свою очередь, это дает возможность детектировать и направлять лазерное излучение в требуемую область (скопление насекомых). Строение летательного аппарата и самого лазера, позволяют закрепить излучатель параллельно камере. Радиус действия пульта управления составляет 50 метров, этого расстояния достаточно для работы в полевых условиях.

Для воздействия на насекомых планируется использование фиолетового диодного лазера мощностью 700 мВт и длиной волны 400 нм. Общий вид лазера представлен на рисунке 5. При выборе излучателя, помимо необходимой длины волны, внимание акцентировалось на размеры и вес устройства. Для эксперимента решено упростить конструкцию за счет снятия радиатора (воздушные потоки обеспечат необходимое охлаждение).



Рис. 5. Общий вид лазера

Учитывая то, что многие летающие насекомые довольно подвижны, стоит рассмотреть иные режимы работы лазера. Использование импульсного режима позволит реализовать более эффективную передачу энергии по сравнению с непрерывным. И, если в экспериментах с непрерывным режимом для видимых изменений требовалось около 0,9 с времени воздействия, то в импульсном режиме работы, это время можно будет значительно сократить. Сокращение времени воздействия, в свою очередь, повышает эффективность использования всей установки. Увеличение передачи энергии в хитиновый слой можно достигнуть за счет увеличения плотности мощности или увеличением импульса, характер нагрева тела насекомого, а так же его внутренних органов будет различным.

Сложность технического оснащения эксперимента заключается в осуществлении питания лазера. Объем аккумулятора квадрокоптера недостаточен, а для поднятия дополнительного, съемного аккумулятора, не хватит мощности. Поэтому, для первых экспериментов решено использовать проводное питание с земли. Применение летательных аппаратов с большей грузоподъемностью, даст возможность закреплять питание лазера прямо на борт. Также рассматривается использование солнечных батарей как альтернативный источник энергии.

По итогам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы. Применение лазерных технологий для борьбы с вредителями и является актуальным и новым способом нехимического воздействия. Ультрафиолетовый спектр излучения можно считать наиболее подходящим для этих целей. На примере личинки зофобоса и бананового сверчка было показана продуктивность применения УФ лазера для наиболее эффективной передачи тепла на поверхность, внутренние органы и конечности насекомых. Многочисленные белые следы (обесцвеченный пигмент меланин) говорят о том, что лазерное излучение было равномерно поглощено хитином.

В 90% насекомые погибали в течении 10 минут после воздействия. Столь высокая летальность говорит о целесообразности использования рассматриваемого метода и дает повод для дальнейших экспериментов с использованием более компактных лазеров с меньшей мощностью. Это позволит сделать данный метод менее затратным и более адаптивным для конкретных задач.

Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов), с прикрепленным на них лазером, является инновационным способом борьбы с вредителями (в том числе в воздухе). Дальнейшие исследования и разработки в этой области смогут обеспечить такую большую отрасль как сельское хозяйство высокотехнологичным методом нехимической дезинсекции.

Литература.

- [1] Щербаков И.А. Твердотельный лазер. Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 5. - 891 с.
- [2] Лэгунэс-Соулэ Мануэль К., Попеленский Н.К. Способ контролирования насекомых и клещей пульсирующим ультрафиолетовым облучением. пат. USA: 5364645 – №000227: заявл.10.06.1996; опублик. 24.12.1998, Бюл. № 5 – 7 с.
- [3] Особенности воздействия лазерного излучения на биологические ткани / В.В. Котельников, Ю.П. Мачехин // Прикладная радиоэлектроника: научн.- техн. журнал. — 2016. — Том 15, No 4. — С. 366 – 369.



Котельников Владислав Валерьевич, аспирант факультета электронной техники, кафедры физических основ электронной техники, Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: лазерная и оптоэлектронная техника.

Gnatenko // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2017. — Vol. . — № 1. — P. 00-00.

The article presents considerations for the theoretical foundations, mechanisms and peculiarities of the interaction of laser radiation and biological tissues. On the basis of experiments, the parameters of laser radiation required for effective heat transfer to the chitinous cover of insects have been revealed.

Keywords: laser radiation, chitin tissue, melanin, pests, heat exposure.

Tab.: 02. Fig.: 05. Ref.: 03 items.



Мачехин Юрий Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физических основ электронной техники, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники. Научные интересы: лазерные прецизионные устройства, технология изготовления лазеров, технология применения лазеров.



Гнатенко Александр Сергеевич, ассистент кафедры физических основ электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: лазерная и оптоэлектронная техника, волоконные лазеры, лазеры сверхкоротких импульсов, твердотельные и полупроводниковые лазеры.

УДК 681.7.069.24:366.643

Экспериментальное исследование воздействия лазерного излучения на биологические ткани / В.В. Котельников, Ю.П. Мачехин, А.С. Гнатенко // Прикладная радиоэлектроника: науч.-техн. журнал. — 2017. — Том . — № 1. — С. 00–00.

В данной статье рассмотрены теоретические основы, механизмы и особенности взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями. Экспериментальным способом выявлены параметры лазерного излучения, необходимого для эффективной передачи тепла на хитиновый покров насекомых.

Ключевые слова: лазерное излучение, хитиновая ткань, меланин, вредные насекомые, тепловое воздействие.

Табл.: 02. Ил.: 05. Библиогр.: 03 назв.

УДК 681.7.069.24:366.643

Експериментальне дослідження впливу лазерного випромінювання на біологічні тканини / В.В. Котельников, Ю.П. Мачехін, А.С. Гнатенко // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2014. — Том . — № 1. — С. 00-00.

У даній статті розглянуті теоретичні основи, механізми та особливості взаємодії лазерного випромінювання з біологічними тканинами. Експериментальним способом виявлені параметри лазерного випромінювання, необхідного для ефективної передачі тепла на хітиновий покрив комах.

Ключові слова: лазерне випромінювання, хітинова тканина, меланін, шкідливі комахи, тепловий вплив.

Табл.: 02. Іл.: 05. Бібліогр.: 03 найм.

UDC 681.7.069.24:366.643

Experimental research of the effect of laser radiation on biological tissues/ V.V. Kotelnikov, Y.P. Machekhin, A.S.