

## О ВОЗДЕЙСТВИИ ЗВУКОВЫХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

<sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара  
<sup>2</sup>Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»

Рассмотрено специфическое влияние низкочастотных акустических колебаний на живые организмы, обоснованное тем, что резонансная частота наиболее важных органов человека находится в диапазоне колебаний 0,5–20 Гц. Определена резонансная частота и жесткость тела вредителя растений – колорадского жука. В условиях лабораторного бокса зафиксирована гибель жука под воздействием вибрационных и акустических колебаний.

*Ключевые слова:* влияние, низкочастотные акустические колебания, резонансная частота и жесткость тела, гибель жука.

Г. І. Сокол<sup>1</sup>, О. М. Дупліщева<sup>2</sup>, Т. А. Рибалка<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара  
<sup>2</sup>Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне»

## ПРО ВПЛИВ ЗВУКОВИХ ТА ІНФРАЗВУКОВИХ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

Розглянуто специфічний вплив низькочастотних акустичних коливань на живі організми, обґрунтований тим, що резонансна частота найважливіших органів людини знаходиться у діапазоні коливань 0,5–20 Гц. Визначено резонансну частоту і жорсткість тіла шкідника рослин – колорадського жука. В умовах лабораторного боксу зафіксовано загибель жука під впливом вібраційних та акустичних коливань.

*Ключові слова:* вплив, низькочастотні акустичні коливання, резонансна частота і жорсткість тіла, загибель жука.

G. I. Sokol<sup>1</sup>, O. M. Duplischeva<sup>2</sup>, T. A. Rybalka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>O. Gonchar Dnipropetrovsk National University  
<sup>2</sup>«Yuzhnoye» State Design Office

## INFLUENCE OF THE SOUND AND INFRASONIC ACOUSTIC VIBRATIONS ON THE LIVING ORGANISMS

A specific influence of low-frequency acoustic vibrations on the living organisms is examined. It is based on the fact that the resonance frequency of essential human organs is in the range of 0,5–20 Hz. The resonance frequency and the hardness of plant pests (Colorado potato beetle) are defined. In laboratory conditions the acoustic vibrations prove to cause the death of beetles.

*Key words:* influence, low-frequency acoustic vibrations, resonance frequency and hardness of body, death of a beetle.

В ХХ ст. остро встала проблема охраны окружающей среды, что неразрывно связано с исследованием и ликвидацией ряда факторов, неблагоприятно влияющих на организм человека. К ним относятся влияние низкочастотных акустических колебаний и, в частности, инфразвука (ИЗ), инфразвукового шума (ИЗ-шума). В работах Pimonov, V. Gavro, Э. Н. Мальшева, М. А. Исаковича, А. В. Римского-Корсакова, В. Темпеста, Е. И. Андреевой-Галаниной, Н. И. Карповой (Сокол, 2000) приведены данные о вредном действии на организм обслуживающего персонала промышленных и транспортных объектов, научных лабораторий низкочастотных акустических колебаний. В связи с этим разработаны и введены к исполнению нормы безопасности при работе людей в условиях воздействия на их организмы инфразвуковых колебаний – «Санитарные нормы инфразвука на рабочих местах» № 2274-80 (Гигиена праці, 1993). Обычно (Санітарні норми, 1999) характеристикой, по которой производят оценку действия акустических колебаний на живые организмы, принимают величину звуко-

вого давления  $p$  или уровень звукового давления, выраженный в дБ (УЗД). Согласно разработанным нормам при уровне звукового давления 100 дБ и выше следует ограничивать время пребывания людей в зоне распространения инфразвуковых волн (ИЗ-волн). На рис. 1 приведен график, на котором указаны уровни болевого порога и слухового восприятия (Новоградский, 1989). Ряд исследований, проведенных в различных странах мира – Франции, СССР, США, Германии, Англии, Японии, Китае (Мясников, 1963; Андреева-Галанина, 1970; Сокол, 2000) – и показавших специфическое влияние ИЗ-волн на организм человека, вызвал широкий интерес к изучению ИЗ. Рассмотрим, какой низкочастотный фон в окружающей человека среде создают природные и промышленные источники акустических колебаний. Можно привести многочисленные примеры (Римонов, 1976; Бринза, 1992; Сокол, 2000), в которых описаны и исследованы ИЗ-волны высокой интенсивности от природных и промышленных источников. Например, микросейсмические колебания земной поверхности с частотой 1–0,1 Гц создают постоянный ИЗ-фон над всей континентальной поверхностью планеты (Новоградский, 1989) ИЗ от шторма имеет интенсивность от 50 до 90 дБ. Явление рождения ИЗ в результате срыва потока воздуха с гребней волн моря, которое возникает с тыльной стороны волн минивихрей, было обнаружено академиком В. В. Шулейкиным и названо «голосом моря». При обтекании ветром сильнонеровной поверхности, в частности горных массивов, генерируются ИЗ-волны. Явление такого рода названо «горными волнами». ИЗ-волны присутствуют в атмосфере среди любого вида построек. В работах J. Bahannon, K. Davies, T. Georges представлено, что ИЗ в атмосфере генерируется при действии грозových разрядов. ИЗ от полярных сияний представлен у Chimonas J. и в работах других авторов (Сокол, 2000). ИЗ от выстрелов описал L. Rimonov (1976). Экспериментально исследован ИЗ на рабочих местах возле строительных машин. W. L. Balachandran, N. K. Imaichi и другие авторы (Сокол, 2000) провели теоретический расчет, а также экспериментальное исследование излучения ИЗ-волн при вибрациях шоссейных мостов.

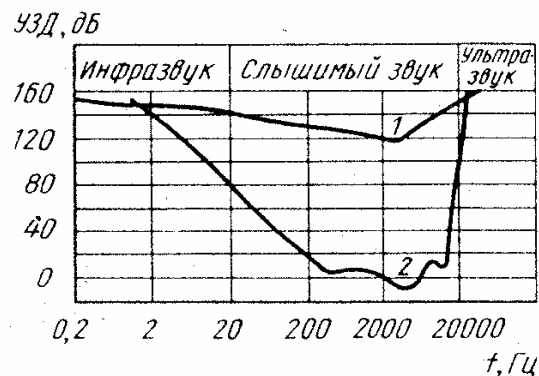


Рис. 1. График кривых слухового восприятия звуков:  
1 – болевого порога; 2 – порога слухового восприятия

Измерены уровни интенсивности инфразвуковых составляющих в спектре для следующих промышленных источников (Новоградский, 1989):

– газотурбинные установки	(2–6) Гц,	120–133 дБ,
– поршневые компрессоры	(4–20) Гц,	112–123 дБ,
– тепловозы (выхлоп)	(2–32) Гц,	123–131 дБ,
– грузовые автомашины (выхлоп)	(2–32) Гц	117–128 дБ,
– вибростенды, грохоты	(2–25) Гц	113–127 дБ,
– промышленные воздуходувки	(3–12) Гц	110–130 дБ,
– газотурбинные установки	(2–6) Гц,	120–133 дБ,
– поршневые компрессоры	(4–20) Гц,	112–123 дБ,
– тепловозы (выхлоп)	(2–32) Гц,	123–131 дБ.

На производстве часто встречаются случаи, когда общий уровень шума промышленной установки не превышает допустимый уровень, однако уровень ИЗ составляющей превышает его (Малышев, 1972). Так, измерение интенсивности ИЗ около воздухозаборных шахт поршневых компрессоров с производительностью 10 м<sup>3</sup>/мин и давлением, превышающим 0,6 МПа, позволило выявить уровень 108–110 дБ, хотя общий уровень шума не превысил 97 дБ.

Рассмотрим, как исследована реакция живых организмов на влияние низкочастотных акустических колебаний. В представленных докладах на IX Международном конгрессе, прошедшем в г. Мадриде (Сокол, 2000) по биоакустике, физиологической акустике и смежным направлениям, показано, что современные биоакустические исследования направлены в основном на изучение вредного действия шумов, в частности низкочастотного шума и вибраций на организм человека. Y. Tokita рассматривает ИЗ как загрязнитель окружающей среды. N. Broner, R. T. Alfredson, T. T. Triggs предложили систему тестов, позволяющих проанализировать воздействие шумовых воздействий на человека. Те же авторы на основании списка библиографии из 23 наименований разработали критерии для прогнозирования мешающего действия ИЗ-шума высокого уровня.

Экспериментально удалось установить, что домашние животные слышат ИЗ частотой 8–12 Гц (Новогрудский, 1989). Ученые Корнельского университета в США доказали, что домашние голуби (Новогрудский, 1989) слышат ИЗ-колебания частотой ниже 1 Гц. Высказано предположение, что таким образом птицы ориентируются в пространстве при дальних перелетах и далеко обходят зоны штормов и извержений вулканов.

Несколько лет назад выяснено (Новогрудский, 1989), что слоны общаются между собой на расстоянии 50–100 км с помощью ИЗ-сигналов, частота которых составляет 14–24 Гц. Есть предположение о генерировании ИЗ-волн мембраной, расположенной на голове слона в месте соединения хобота с черепом.

Хотя механизмы улавливания ИЗ-волн выяснены еще не у всех особей животного мира, тем не менее те факты, что обитатели морей заблаговременно «знают» о приближении шторма, а животный мир Земли чувствует приближение землетрясений и извержений вулканов, свидетельствует о наличии у животных, рыб, птиц органов, их улавливающих. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что аномальное поведение животного мира начинается за некоторое время до начала стихийных явлений. ИЗ от появления микротрещин в земной коре вполне может служить сигналом о предстоящей стихии. Японцам рекомендуется дома иметь аквариум со специальной белой рыбкой, которая за несколько часов до начала землетрясения начинает беспокойно себя вести (Новогрудский, 1989).

В настоящее время выяснено, как улавливает ИЗ медуза. Она имеет маленький пузырек – колбочку, заполненную студенистой массой и висющую на стебельке тела медузы. Внутри колбочки в ее центре имеется маленький известковый шарик. Колебания воды вызывают изменение положение тела медузы, шарик смещается и соприкасается со стенкой колбочки, раздражая имеющиеся там нервные окончания. Улавливая ИЗ задолго до начала шторма, медуза уплывает в глубины моря, спасаясь от бури шторма.

При полете саранчи возникают звуки с частотой 17–20 Гц, которые имеют важное значение для поведения насекомых. Если проиграть эти звуки, записанные на магнитную ленту, стая саранчи взлетает. Насекомые с поврежденными органами слуха не способны подняться в воздух при действии такого звука. А это значит, что сам звук полета стаи является мощнейшим акустическим раздражителем, определяющим поведение каждого насекомого в отдельности и стаи в целом.

Проводились различного рода исследования по выявлению влияния ИЗ на организмы людей. Отмечено, что низкочастотные волны могут вызывать сильную боль в ушах, нарушение работы органов равновесия. Действие ИЗ сопровождается ощущением вращения, раскачивания, непровольным поворотом глазных яблок, чувством неудобства, тревоги, иногда страха (Сокол, 2000).

В одном из экспериментов (Новогрудский, 1989; Сокол, 2000) воздействие на органы слуха через наушники осуществляли в обычной комнате. Появилась головная боль, тошнота, головокружение. Наушники представляли собой два 15-ваттных микрофона диаметром около 30 см. Испытуемые ощущали отрицательное воздействие ИЗ. Эксперименты подтвердили потерю равновесия при действии ИЗ на организм.

Серией экспериментов над десятками людей установлено (Мясников, 1963; Андреева-Галанина, 1970; Малышев, 1972; Бринза, 1992), что воздействие колебаний частотой 2–15 Гц и интенсивностью 95–105 дБ вызывает замедление зрительной реакции, увеличивает число ошибок слежения за измерительными приборами, нарушает функции вестибулярного аппарата.

Наиболее общими физическими эффектами, наблюдаемыми при воздействии инфразвука на организм, являются изменение ритмов дыхания и биений сердца, расстройство желудка и центральной нервной системы, головные боли. Инфразвук больших уровней (более 140 дБ) при кратковременном воздействии вызывает тошноту, боли в желудке, головные боли, головокружение, чувство беспокойства. При интеллектуальном труде в тихом помещении едва заметный на слух инфразвук вызывает тошноту и утомление через 2 часа (Мясников, 1963; Андреева-Галанина, 1970; Малышев, 1972; Бринза, 1992; Сокол, 2000).

Сейчас известны собственные резонансные частоты колебаний органов человека (Новогрудский 1989; Малышев, 1972; Сокол, 2000; Гринченко, 2007). Голова: 20–30 Гц, глаза: 40–100 Гц, вестибулярный аппарат: 0,5–13 Гц, сердце: 4–6 Гц, позвоночник: 4–6 Гц, желудок: 2–3 Гц, кишечник: 2–4 Гц, почки: 6–8 Гц, руки: 2–5 Гц.

Плохое самочувствие у людей под действием ИЗ высокого уровня интенсивности зафиксировано в обычных жилых помещениях (Новогрудский, 1989). Получены данные о высоком уровне ИЗ на верхних этажах высотных зданий (до 130 дБ). Под воздействием ветра и шумных перемещений групп людей зафиксирована вибрация с частотой 0,1–10 Гц. Этим обусловлено отсутствие чувства полного комфорта у людей, живущих на верхних этажах.

Динамика клеточных реакций при действии на клетки инфразвуком представлена в работах Н. И. Карповой и ее соавторов (Pimov, 1976). Акустические шумы в ветвях органов дыхания изучались В. Г. Гринченко (1999), И. В. Вовк (2000).

Для выяснения полной картины влияния ИЗ-волн на живые организмы была проведена серия экспериментов над крысами, собаками, овцами (Новогрудский, 1989; Сокол, 2000). Частота колебаний составила 6–8 Гц. При повышении интенсивности воздействия сначала у животных появилось учащенное сердцебиение, а затем произошла остановка сердца. Вскрытие показало наличие разрыва кровеносных сосудов. В экспериментах, где фаза воздействующего ИЗ была противоположна фазе сердечных сокращений, у животных зафиксирована полная остановка сердца.

Приведенные данные свидетельствуют об опасности для здоровья при воздействии интенсивных ИЗ-волн на организмы животных и людей, особенно при совпадении резонансных частот отдельных органов или всего тела в целом любого биологического объекта с частотой акустических колебаний (Мясников, 1963; Андреева-Галанина, 1970; Малышев, 1972; Pimov, 1976; Бринза, 1992; Сокол, 2000). В настоящее время ведется активный поиск всевозможных путей защиты от вредного воздействия ИЗ- и НЧ-вибраций. После многочисленных дискуссий по проблеме борьбы с вредным действием ИЗ специалисты пришли к выводу (Сокол, 2000), что в данном случае традиционные средства и меры борьбы малоэффективны или вообще непригодны. Определены основные направления работ по снижению уровней интенсивности ИЗ и НЧ вибраций: ослабление ИЗ в источнике, создание глушителей и звукопоглощающих материалов, создание индивидуальных средств защиты, медицинская профилактика.

Однако имеются данные и о полезном действии ИЗ на организмы людей. В офтальмологии применяли ИЗ с очень высоким уровнем интенсивности до 170 дБ для массажа тканей глаза после операции. Замечено, что такой массаж способствует заживлению без последующего отслоения прооперированных тканей. Причем процент больных, на которых сказалось положительное действие массажа инфразвуком, очень высок.

Согласно рекомендациям медиков-гигиенистов лица, поступающие на работу с оборудованием, генерирующим инфразвук и шум, должны подвергаться предварительному и периодическим медицинским осмотрам (Сокол, 2000). Противопоказанием к приему на работу являются различные нарушения вестибулярной и слуховой функций, выраженные неврозы, вегетативная дисфункция, органические заболевания центральной нервной системы, психические заболевания, заболевания сердечно-сосудистой системы, органов пищеварения.

При проведении периодических медицинских осмотров большое внимание должно уделяться субъективным жалобам рабочих (утомление, головная боль, головокружение, тошнота, страх, нарушение сна).

Целью и задачами исследований являлись использование вибрационных технологий для определения жесткости и резонансной частоты тела вредителя растений, в частности колорадского жука, определение целостности тела и выживаемости жуков после воздействия на них вибрационных колебаний в лабораторных условиях; разработка способа, оказывающего губительное воздействие на тело колорадского жука на основе воздействия акустическими волнами; проведение исследований по воздействию акустических колебаний на тело вредного насекомого.

### **Губительное действие акустических колебаний на вредителей растений. Теоретические предпосылки создания способа**

Описанные эффекты являются предпосылкой для создания акустического способа, предназначенного для смертельного действия на организмы вредных насекомых. В качестве испытуемого был использован колорадский картофельный жук, который является опаснейшим вредителем культуры картофеля и других растений (Дуплищева, 1999; Сокол, 1999). По сравнению с известными механическими, химическими, биологическими и другими способами акустический способ обеспечивает снижение трудоемкости работ по уничтожению вредного насекомого с одновременным снятием эффекта токсичности.

Акустический способ уничтожения колорадского жука заключается в механическом воздействии на тело и ткани органов жука давлением с последующим их разрывом. Способ от разработанных ранее отличается тем, что механическое воздействие производят акустическими колебаниями с амплитудой звукового давления в воздухе, равной отношению силы разрыва соединительных тканей и органов жука к их площади сечения, с частотой, равной собственной частоте тела жука или собственной частоте одного из его жизненно важных органов, например резонансной частоте легких или печени.

Вид и характер уравнений, описывающих колебательные движения тела биологического объекта или отдельных его частей, определяются принятыми аппроксимациями и допущениями, границы применимости которых должны выводиться из основных законов физики изучаемых явлений. Принято механику биологических конструкций рассматривать в основном на уровне органов. Под биологическими материалами в большинстве случаев подразумевают ткани. Условно выделяют конструкции, состоящие из твердых биологических материалов (кости) или мягких (мышцы, сосуды, легкие, сердце и т.п.) тканей. Для построения математической модели биологического объекта необходимы экспериментальные исследования его физико-механических и структурных характеристик.

Если поведение упругого тела промоделировать с помощью пружины, а вязкого тела - с помощью поршня в цилиндре, то поведение реальной механической системы можно математически представить и описать с помощью моделей из различных вязких и упругих элементов. Уравнение движения тела вредителя растений как вязкоупругой колебательной системы имеет вид (Сокол, 2007)

$$\delta'' + (C_{\delta} / m_{жс}) \delta' + (k_{жс} / m_{жс}) \delta = a(t),$$

где  $m_{жс}$  – масса;  $C_{\delta}$  – коэффициент демпфирования;  $k_{жс}$  – коэффициент жесткости;  $\delta$  – деформация;  $a$  – заданное ускорение.

Резонансная частота колебаний  $f_{жс}$  вязкоупругого тела определяется как

$$f_{жс} = 1 / 2 \pi \sqrt{k_{жс} / m_{жс}}$$

Поэтому развить способ разрыва тел, органов или тканей аналогичного объекта можно, лишь применив воздействие колебательного характера. То есть уничтожение колорадского жука как биологического объекта, являющегося вязкоупругой системой, возможно воздействием на него вибрационных или акустических колебаний. При этом возникает вопрос о полосе частот воздействия, уточнении массы тела жука и жесткости его тела. На рис. 2 представлена схема запатентованного устройства (Сокол, 1998).

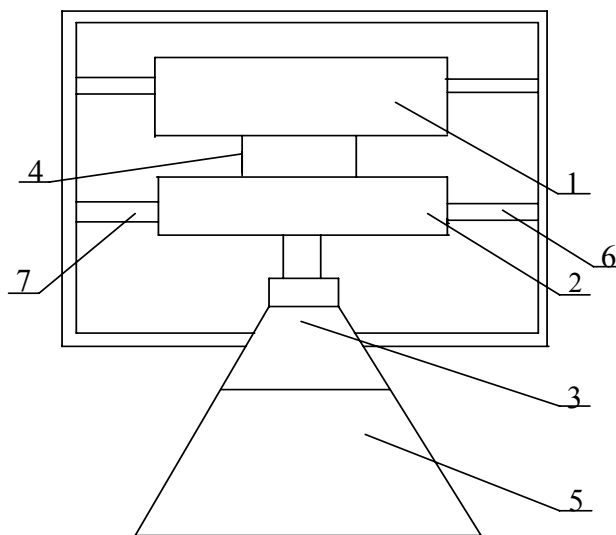


Рис. 2. Схема запатентованного устройства

Устройство работает следующим образом. Генератор сигналов 1, смонтированный посредством стоек 7 на раме 6, вырабатывает электрические сигналы определенной амплитуды и частоты, которые усиливаются усилителем 2, и передаваемые кабельной сетью 4, возбуждают динамик 3. Динамик 3 излучает в воздушную среду акустические волны той же амплитуды и частоты, которые задаются генератором сигналов 1 и усилены усилителем 2. Далее акустические волны распространяются внутри жесткого концентратора 5, в малом доньшке которого установлен динамик 3. Жесткие стенки концентратора не позволяют рассеиваться акустической энергии за пределы внутреннего пространства концентратора, сохраняя ее внутри пространства, ограниченного жесткими стенками. Концентратор 5 накрывает куст картофеля и сидящих на нем вредных насекомых. Акустические волны действуют на тело и органы жука с силой избыточного давления. Это приводит к разрыву тканей тела жука или отдельных его органов, а в дальнейшем и к гибели жука. Волны распространяются до поверхности почвы, действуют на насекомых, упавших на почву, и разрывают их ткани.

Устройство имеет примерно на 80 % конструктивных элементов меньше, чем уже известные и уничтожающие жука механическим способом. Исключается ряд операций, а именно: сбор насекомых в специальные контейнеры, изготовление ряда приспособлений в виде вентиляторов, вибраторов для сдува или встряхивания насекомых в контейнеры. Исключается возможность выживания жука при его падении на поверхность почвы. Операция сбора жука с земли не нужна. Акустические волны распространяются на поверхность почвы, убивая упавших с кустов картофеля жуков. Для детальной разработки акустического способа уничтожения вредного насекомого необходимо иметь три основные величины: массу тела вредного насекомого, жесткость и резонансную частоту тела.

## Экспериментальное определение массы, жесткости и резонансной частоты тела вредного насекомого

Тело жука рассматриваем как систему из механических элементов, обладающих инерционными, упругими, демпфирующими свойствами. В этом случае система имеет собственную резонансную частоту  $f_{ж}$ . Тогда уничтожение вредного насекомого как биологического объекта, являющегося вязкоупругой системой, возможно воздействием на него вибрационных или акустических колебаний на резонансной частоте. Это приведет к разрыву тела, органов или тканей жука (Sokol, 1999; Сокол, 2000, 2007; Вибрации в технике, 1981).

Интерес представляют имеющиеся в литературе данные о механических характеристиках биологических тканей (кожа, мышцы, ткани внутренних органов, костей, хрящей и т. д.). В работе Т. Н. Пашовкина и А. П. Сарвазяна (Сокол, 2007) высказано положение, что высокая информативность механических характеристик обусловлена наличием и качеством контактов между элементами, составляющими ткань. Было предложено оценки механических характеристик биологических тканей проводить по динамическому модулю сдвига, динамической вязкости. Предложен был также волновой метод, основанный на измерении скорости поверхностных волн от времени пробега акустического импульса между излучающим и приемным пьезопреобразователем. Приведены данные о вязкоупругих свойствах мягких тканей (почек, печени, сердца, кишечника, селезенки, кожи, мозга) кроликов, лягушек, кур и кожного покрова человека. Результаты работы могут быть использованы как предпосылки в обосновании акустического и вибрационного губительного воздействия на живые ткани вредителей растений, так как предложенный метод позволяет определить степень выраженности патологического процесса при изменении скорости поверхностных волн. Механические характеристики ткани вредителей растений в работе не исследовались.

Экспериментальное определение частотных характеристик тела человека с применением гармонической вибрации представлено в справочнике «Вибрации в технике» (1981). Определено, что основные резонансные частоты головы лежат в области 4–6 Гц. В целом резонансные свойства тела человека проявляются в области частот, лежащих ниже 60 Гц. Частотный диапазон резонансных частот отдельных органов человека: голова – 20–100 Гц, вестибулярный аппарат – от 0,5 до 13 Гц, сердце – от 4 до 6 Гц.

Этот принцип был положен в основу экспериментальных исследований (Сокол, 1998; Вибрации в технике, 1981). Жесткость тела  $k_{ж}$  колорадского жука определялась расчетным путем после определения массы тела  $m_{ж}$  и резонансной частоты  $f_{ж}$ . При испытаниях использовались вибростенд УВЭ – 100 / 5-3000, прибор ИШВ – 1 и весы (рис. 3).

Предварительно каждое из испытуемых насекомых было взвешено с точностью  $\pm 0,005$  г и маркировано красной краской. Каждое испытуемое насекомое находилось в марлевом мешочке, который крепился к столу вибростенда. Испытанию подвергались 8 жуков массой 100 ÷ 200 мг. После воздействия вибраций каждое насекомое было осмотрено и разложено по емкостям с другими, еще двумя, не подвергавшимися испытаниям, насекомыми. Горлышки емкостей завязывались марлевой тканью. Фиксированная частота воздействующих колебаний для отдельных насекомых задавалась последовательно в пределах частотного диапазона 500–2500 Гц. Продолжительность воздействия вибраций на каждой из фиксированных частот составляла примерно 2 минуты.

При внешнем осмотре получено, что биологическая смерть зарегистрирована для жука массой 100 мг после воздействия на него частотой 1500 Гц через 4 часа после воздействия вибраций. Непосредственный осмотр этого насекомого сразу после воздействия вибраций показал, что все его органы движения были сильно травмированы.

Режимы испытаний приведены в *таблице*.

### Режимы воздействия вибрациями на особей жука

№, п/п	Частота воздействия, Гц	Реакция жуков	Масса жуков, мг
1	500	Ползает, активен	200
2	700	Шевелится	170
3	800	Ползает, активен	150
4	1000	Лапы судорожно дёргаются, отвалились усы	130
5	1200	Слабо шевелится, лапы вывернуты	120
6	1500	Поломаны лапы	100
7	2000	Активен, двигается	190
8	2000	Активен, ползает	145

По результатам проведенных экспериментов рассчитана жесткость тела колорадского жука, ее величина составила  $k_{жк} = 8,86 * 10^3 \text{ Н / м}$  (прикидочный расчет величины жесткости печени человека дал величину  $4 * 10^3 \text{ Н / м}$ ). Полученные результаты подтвердили возможность уничтожения вредных насекомых вибрационными колебаниями.

### Воздействие акустическими волнами на тела вредных насекомых в условиях лаборатории

Для лабораторного опробования акустического метода уничтожения вредного насекомого использовались вибростенд УВЭ-100/5-3000 и весы. Блок-схема испытательного стенда (Сокол, 2001) представлена на рис. 3.

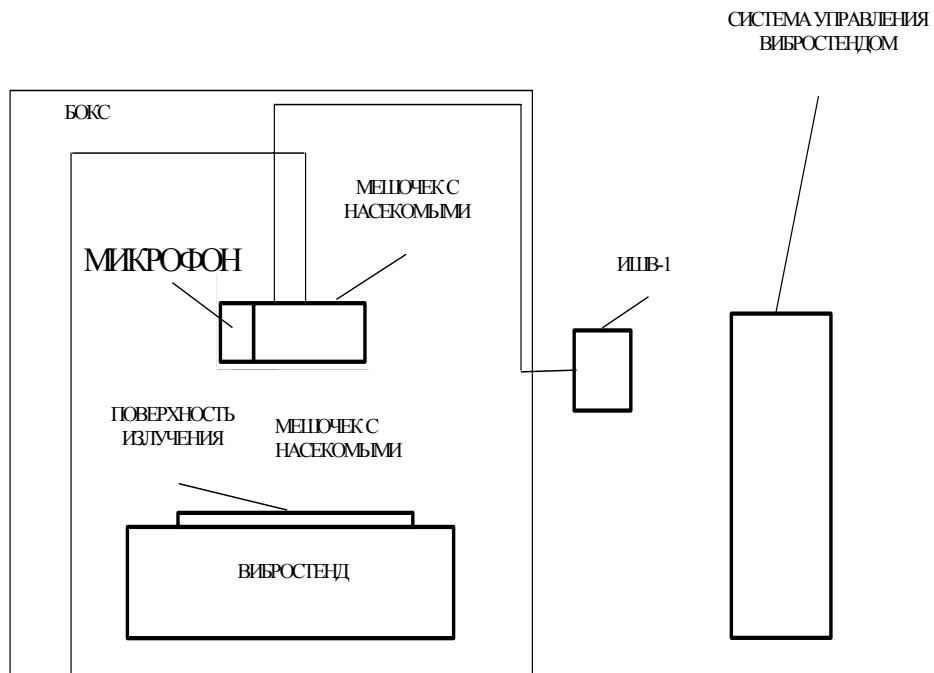


Рис. 3. Схема экспериментальной установки, расположенной внутри лабораторного бокса



Масса вредных насекомых, подвергнутых воздействию акустическими волнами, составляла 100–120 мг. Время воздействия было ограничено 2–3,5 мин. Воздействие проводилось на фиксированной частоте в диапазоне 900–1100 Гц. Насекомое подвешивалось в марлевом мешочке со стороны стола вибростенда на расстоянии от поверхности стола, равном 0,2–0,7 м. Уровень звукового давления измерялся микрофоном шумомера ИШВ-1. Микрофон находился рядом с телом вредного насекомого. Зафиксированный микрофоном уровень звукового давления составил 95–120 дБ.

Осмотр вредных насекомых непосредственно после воздействия показал, что без признаков жизни было вредное насекомое массой 110 мг, подвешенное на расстоянии 0,2 м от стола вибростенда, подвергшееся воздействию акустических волн частотой 1000 Гц в течение 2 мин, уровень звукового давления составлял 120 дБ. Осмотр вредного насекомого через 6 ч показал, что действительно наступила биологическая смерть указанного вредного насекомого. Проведенный осмотр вредных насекомых через 24 ч выявил, что наступила биологическая смерть всех вредных насекомых, подвергшихся акустическим воздействиям. Полученные результаты подтвердили возможность уничтожения вредных насекомых акустическими волнами. Акустический способ уничтожения колорадского жука заключается в механическом воздействии на тело и ткани органов жука давлением с последующим их разрывом.

### Экспериментальное исследование действия акустических волн на тело вредителей сельскохозяйственных растений в полевых условиях

Для проведения экспериментальных исследований с целью подтверждения предложенного способа (Сокол, 1998) осуществлено проектирование и изготовление действующего макета акустического генератора. Испытание воздействия акустических волн на вредных насекомых было проведено в полевых условиях дачного участка. Для проведения испытаний и осуществления необходимых измерений была собрана схема, состоящая из генератора и измерительных приборов, представленная на рис. 4. На схеме приняты обозначения: АГ – акустический генератор, НК – низкочастотный кабель, СУ – согласующее устройство, УМ – усилитель мощности, ГЗ – генератор задающий, МК – микрофон, БП – блок питания. Применением в схеме согласующего устройства СУ стало возможным поставить в схему усилитель DISCO 240E.

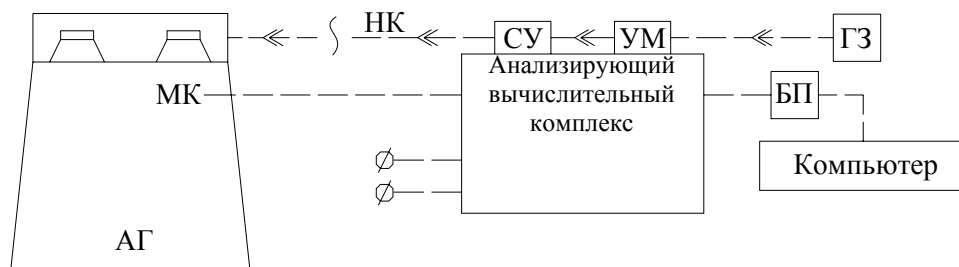


Рис. 4. Схема для измерений

Куст картофеля, на котором находились вредители, полностью накрывался концентратором акустической энергии, входящим в конструкцию АГ. Это позволяет использовать акустическую энергию, вырабатываемую АГ, наиболее рационально, а также дает выигрыш в весе и в габаритах АГ. Сечение НК выбрано достаточно большим, чтобы снизить электрические потери мощности. Задающий генератор ГЗ работает в диапазоне частот 20 Гц–200 кГц. Анализирующий и вычислительный комплекс состоял из блока питания БП, микрофона МК и запитывается от сети с напряжением 220В. На рис. 5 представлена осциллограмма зафиксированного в процессе экспериментов звукового давления и спектры акустических сигналов. На рис. 6 представлен спектр акустического сигнала.

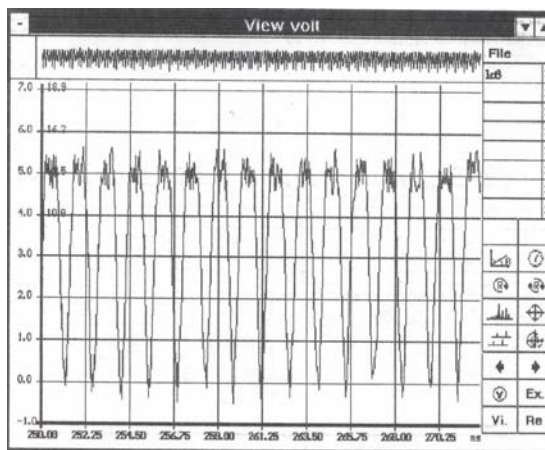


Рис. 5. Осциллограмма звукового давления

Анализ осциллограммы показал, что зафиксированный уровень звукового давления в процессе облучения насекомых составил 110 дБ. Измеренная электрическая мощность, потребляемая акустическим излучателем, оказалась в 3,5 раза меньше ожидаемой и составила 5Вт. Внешний осмотр вредных насекомых непосредственно после облучения акустическими волнами, а также через 2, 5, 12 ч показал, что все вредные насекомые остались живы. Следует отметить вялость вредных насекомых, подвергнутых акустическому воздействию.

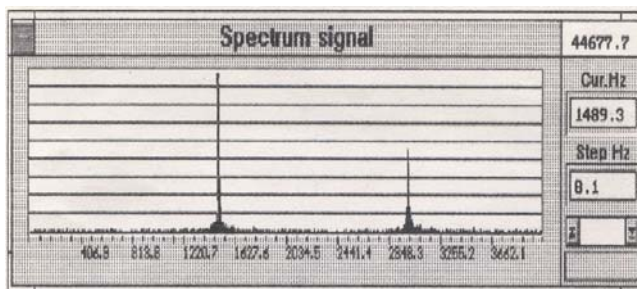


Рис. 6. Спектр акустического сигнала

Никакого влияния акустических волн на картофель при непосредственном осмотре, а также по истечении времени до момента уборки урожая не обнаружено.

## ВЫВОДЫ

1. Основываясь на знании о негативном воздействии акустических колебаний на живые организмы, определен принцип, положенный в основу разработки теории уничтожения вредного насекомого как биологического объекта: вредное насекомое может быть уничтожено воздействием на него вибрационных или акустических колебаний на частоте, равной собственной резонансной частоте  $f_{жс}$  тела биологического объекта как вязкоупругой механической системы или его жизненно важного органа. Это приведет к разрыву тканей тела или органов.

2. Разработаны научно-технические основы создания нового акустического способа уничтожения вредителя растений – колорадского жука. Получен патент на предполагаемое изобретение «Акустический способ уничтожения колорадского жука и устройство для его осуществления».

3. Создана методика определения динамических характеристик тела отдельных особей вредителя растений – колорадского жука: масса, жесткость и резонансная частота, что позволило на основе экспериментов получить значение жесткости тела колорадского жука ( $8,86 \cdot 10^3$  н/м).

Опробовано губительное действие акустических волн на колорадского жука в лабораторных условиях. Получен эффект гибели жука при воздействии на него акустическими волнами в условиях лабораторного бокса.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева-Галанина Е. Ц.** К вопросу о действии ИЗ на человеческий организм / Е. Ц. Андреева-Галанина, А. П. Пронин, Т. Е. Скородумов, Э. Н. Малышев // VII Всесоюз. акуст. конф.: Тез. докл., 1970. – С. 15-17.
- Бринза В. Н.** Защита от инфразвука на предприятиях черной металлургии / В. Н. Бринза, М. Н. Подлевских, Т. М. Слободяник. – М.: Металлургия, 1992. – 65 с.
- Вибрации в технике:** Справочник: В 6 т. / Под ред. К. В. Фролова. – Т. 6. Защита от вибраций и ударов. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
- Вовк И. В.** Шумы дыхания человека: объективизация аускультативных признаков / И. В. Вовк, В. Т. Гринченко, С. Л. Дахнов, В. В. Крижановский, В. Н. Олейник // Акустичний вісник. – 1999. – 2, № 3. – С. 11-32.
- Вовк И. В.** Распространение звука в бронхиальном дереве человека / И. В. Вовк, М. И. Вовк // Акустичний вісник. – 2000. – 3, № 2. – С. 19-31.
- Гринченко В. Т.** Действие низкочастотного звука и вибраций на человека / В. Т. Гринченко // Акустический симпозиум «Консонанс-2007», Київ, 25–27 вересня 2007: 36. праць. – К., 2007. – С. 3-20.
- Гігієна праці.** Підручник / За ред. проф. А. М. Шевченка. – К.: Вища шк., 1993. – 583 с.
- Дуплищева О. М.** Определение жесткости и резонансной частоты тела колорадского жука / О. М. Дуплищева, С. А. Летучая, О. С. Московцев, Г. И. Сокол // 2-га Міжнар. конф. «Наука і освіта-99», (тези). – Д.: Наука і освіта, 1999. – Т. 8. – С. 24.
- Новогрудский Е. Е.** Инфразвук: враг или друг? / Е. Е. Новогрудский, А. И. Шульгин, А. А. Валиулин. – М.: Машиностроение, 1989. – 64 с.
- Малышев Э. Н.** Исследование инфразвука как вредного фактора и пути снижения его интенсивности на предприятиях железнодорожного транспорта: Дис. ... канд. техн. наук: 01.04.06. / Э. Н. Малышев. – Л., 1972. – 176 с.
- Мясников Л. Л.** Неслышимый звук / Л. Л. Мясников – Л.: Изд. судостроит. пром-ти, 1963. – 70 с.
- Санітарні норми виробничого шуму, ультразвук та інфразвук ДСН 3.36.037-99.** – К.: Міністерство охорони здоров'я України, Головне санітарно-епідеміологічне управління, 1999. – 9 с.
- Сокол А. В.** О влиянии низкочастотных акустических колебаний на живые организмы / А. В. Сокол, Г. И. Сокол // Акустичний вісник. – 2001. – Т. 4, № 3. – С. 67-69.
- Сокол Г. І.** Акустичний спосіб знищення колорадського жука і пристрій для його здійснення / Г. І. Сокол, А. В. Сокол, Т. В. Сокол // Патент на винахід № 25548 А Україна, А01М 1 / 4,1 / 08. – 1998.
- Сокол Г. И.** Обоснование создания акустического способа уничтожения колорадского жука / Г. И. Сокол // 2-га Міжнар. конф. «Наука і освіта-99», 15 січня–10 лютого 1999 р. Дніпропетровськ – Київ – Харків – Луганськ – Кривий Ріг – Дніпродзержинськ – Черкаси: Тези доп. – Д.: Наука і освіта, 1999. – Т. 15. – С. 31.
- Сокол Г. И.** Особенности инфразвуковых процессов в инфразвуковом диапазоне частот / Г. И. Сокол – Д.: Промінь, 2000. – 136 с.
- Сокол Г. И.** Определение резонансных частот тел биологических объектов / Г. И. Сокол, А. В. Сокол // 3-тя Міжнар. молод. наук.-практ. конф. «Людина і космос», присв. 40-річчю першого польоту людини в космос. – Д.: НЦАОМУ, 2000. – С. 276.
- Сокол Г. И.** Вибрационные технологии в определении жесткости и резонансной частоты тел насекомых / Г. И. Сокол, О. М. Дуплищева // Вібрації в техніці та технологіях. – 2007. – № 1 (46). – С. 20-24.
- Pimonov L.** Les infra-sons / L. Pimonov – Paris: CNRS, 1976. – P. 277
- Sokol A.** The Acoustic Method for the Destruction of the Colorado Beetle / A. Sokol, G. Sokol // GAMM, 99, Annual Meeting Metz, April 12–16, 1999. Book of Abstracts – Metz: Universite de Metz., 1999 – P. 148.

*Надійшла до редколегії 05.11.08*