

МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАТОРОВ МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ В МЕДИЦИНЕ»



МАТВЕЕВ Владимир Иванович

Канд. техн. наук,
ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва

16–18 октября 2017г. лаборатория дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана провела Международную школу для молодых ученых «Применение радиолокаторов малой дальности в медицине». Ведущие ученые из России, Швеции, Мальты, Чехии, Португалии, Италии и Сербии прочитали лекции по актуальным проблемам применения радиолокации в медицине. Тематика международной школы направлена на развитие фундаментальных и прикладных вопросов использования радиолокационных методов в медицине.

Целями организации и проведения международной школы являются определение основных перспективных направлений и формализация научно-прикладных проблем, связанных с разработкой теоретических и инженерных основ в области применения электро-

магнитного излучения микроволнового диапазона в медицине, а также консолидация усилий молодых ученых, аспирантов, студентов, инженеров и специалистов, чьи интересы лежат в области методов, средств, технологий, систем обработки сигналов биомедицинских сигналов. В рамках международной школы состоялись пленарные выступления известных зарубежных ученых, а также представление молодыми учеными устных докладов, касающихся различных аспектов разработки научно-технических основ применения радиолокаторов малой дальности в медицине.

Проведение Международной школы для молодых ученых «Применение радиолокаторов малой дальности в медицине» осуществляется при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №15-19-30012 «Разработка новых методов регистрации, обработки и представления радиолокационных сигналов и изображений в подповерхностной мультимедийной радиолокации».

Председателем *организационного комитета* является Владимир Николаевич Зимин, д-р техн.наук, профессор, первый проректор – проректор по научной работе МГТУ им Н.Э. Баумана, сопредседателем *организационного комитета* – Александр Степанович Бугаев, д-р физ.-мат.наук, профессор, академик РАН.

Сопредседатели *программного комитета*: Сергей Иванович

Ивашов, канд. техн. наук, начальник лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана; Леся Николаевна Анищенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им.Н.Э. Баумана.

В соответствии с программой международной школы [1] было заслушано и обсуждено 17 докладов. Во вступительном слове председатель организационного комитета проф. В.Н. Зимин подчеркнул значимость нового направления в медицине, развиваемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана.



Вступительное слово профессора В.Н. Зимина

В первом докладе «Microwave imaging for medical diagnosis, monitoring and follow-up» («Микроволны для медицинской диагностики, мониторинга и наблюдения») Dr. Lorenzo Crocco (Institute for the Electromagnetic Sensing of the Environment, Italy) рассказал об исследованиях в области применения электромагнитных полей в клинической диагностике и терапии, разработке новых

инструментов морфологического скрининга и мониторинга (рака молочной железы, мозгового инсульта), разработке новых инструментов мониторинга лечения (микроволновой абляции, гипертермии в совокупности с химиотерапией), разработке новых подходов к изучению характеристик тканей, биорадарах для мониторинга и наблюдения.



Выступление Dr. L. Crocco, Италия

При обработке рассеянных электромагнитных полей возможно создание изображений, характеризующих свойства тестируемого объекта, следовательно, созданные изображения человеческих тканей определяют их физико-патологическое состояние. Экспериментальные исследования проводились в частотном диапазоне $\leq 1,5$ ГГц, достижимое пространственное разрешение составляет порядка 7–15 мм.

Микроволновое исследование может быть допустимым и безвредным для биомедицинско-

го мониторинга. В некоторых случаях оно может выполнять задачи, которые невозможно решить с помощью других современных методов [2, 3].

Однако требуются разработки соответствующих приложений для надежного решения задачи нелинейного восстановления изображений. Открытыми вопросами являются: развитие и создание специальных процедур инверсии, моделирование процессов рассеяния в комплексе с окружающей средой, ограниченные визуализации жизнеспособных органов.

В следующем докладе «Электромагнитная квазистатическая томография для медицины» д-р физ.-мат. наук Александр Владимирович Корженевский (Институт радиотехники и электроники РАН) подчеркнул, что электромагнитные свойства сред являются важнейшим источником информации, позволяющие судить о структуре, состоянии, функциях и других свойствах ис-



Выступление д-ра физ.-мат. наук А.В. Корженевского, ИРЭ РАН

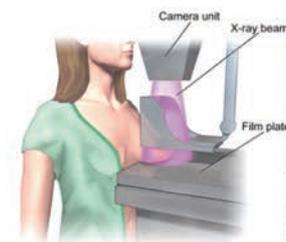
следуемых объектов. Рентген, КТ, ЯМР, УЗИ дают информацию в основном о механических свойствах.

Компьютерные томографические методы позволяют реконструировать пространственное распределение свойств в сечении или объеме объекта. До последнего времени не существовало томографических методов, обеспечивающих получение информации об электрических свойствах электропроводящих объектов, при этом даже интегральные электроимпедансные методы диагностики весьма информативны.

Путь, обеспечивающий визуализацию электрической структуры электропроводящих сред, — использование квазистатических электромагнитных полей для зондирования. Он открывает возможность исследования таких недоступных для традиционного радиозондирования сред, как влажный грунт, водная среда, биологические объекты и т.п.

Реконструирование трехмерного распределения электропроводности производится обратными проекциями вдоль эквипотенциалей. Практическая реализация системы для 3D-визуализации молочной железы показана ниже на рисунке. Эксперименты проводились на частотах 10 и 50 кГц.

В докладе «Microwave brain imaging» («Микроволновое изображение мозга») Dr. Andreas Fhager (Department of Signals and Systems, Chalmers University



Рентгеновская маммография



МРТ томография



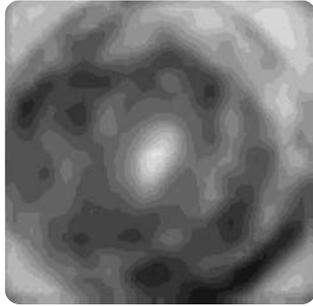
Микроволновая томография



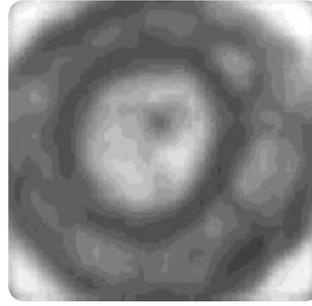
Преобразователь с 256 электродами



Проведение измерений



Нормальная молочная железа

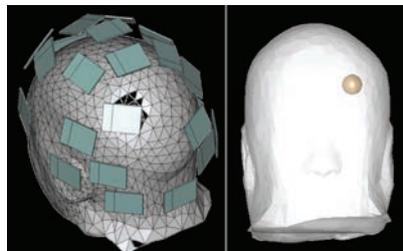


Лактирующая молочная железа

of Technology, Gothenburg, Sweden) рассказал о возможностях с помощью микроволн определения состояния мозга человека после полученных травм, возникновения гематом и наблюдения их развития. Мониторинг наблюдения в постострой стадии физиологического состояния улучшает скорость восстановления и снижает вытекающие последствия. Восстановление и лечение зависят от тесного клинического наблюдения, особенно в первые несколько часов после начала инсульта. Доступные методы (КТ, МРТ) не подходят для непрерывного наблюдения, поскольку яв-

ляются трудоемкими, непортативными и экономически неэффективными процессами.

В микроволновой инспекции пространственное разрешение зависит от рабочей частоты и соответствующих свойств среды. Исследования проводили на рабочей частоте 1,5 ГГц. Достижимое пространственное разрешение в моделировании 7–15 мм. При использовании 24 антенн удалось получить изображение гематомы (или опухоли), как показано на рисунке (справа).



Антенный шлем и изображение аномалии части мозга

К открытым вопросам относятся развитие специальных процедур инверсии и прямого моделирования для рассеяния аномалий в комплексе с окружающей

средой, а также создание измерительных приборов для лишения визуализации жизнеспособных органов.

В своем докладе «Радиосистемы в медицине» канд. техн. наук Денис Александрович Охотников (кафедра «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы» Московского авиационного института) проанализировал возможности сверхширокополосных систем в направлениях: радиолокации в медицине, построении изображений, селекции движущихся целей, акушерских системах, лечении с помощью электромагнитных волн. Положительные результаты получены в анализе кардиоинтервалограмм, алгоритмы которых позволяют оценить психофизическое состояние человека в виде численных значений по данным, полученным от радара.



Выступление канд. техн. наук Д.А. Охотникова, МАИ, Москва

Дистанционное и бесконтактное измерение дыхания и пульса по движениям сердца и грудной клетки позволили создать измеритель дыхания и частоты сердечных сокращений при работе в диапазоне 5,5–7,0 ГГц с импульсной мощностью 10 мВт и средней мощностью 0,08 мВт. Максимальная дальность 5 м. Диапазон измеряемых значений от 0,05 до 5,0 Гц.

Докладчик также отметил перспективы лечения ряда за-



Выступление Dr. A. Fhager, Швеция



Клинические испытания радара в больнице № 86, Москва, и в Детском госпитале Чунг Чанг (Тайбей, Тайвань) по предотвращению остановки дыхания у преждевременно родившихся детей (радар – черный ящик)

болеваний электромагнитным полем.

В докладе «Bioradar for vital signs detection and characterization» («Биорадар для обнаружения и характеристики жизненно важных признаков») Dr. Francesco Soldovieri (Institute for the Electromagnetic Sensing of the Environment, Italy) охарактеризовал проблему и ее решение путем использования радарного датчика



Выступление Dr. F. Soldovieri, Италия

для бесконтактного обнаружения малых физиологических движений, вызванных кардиореспираторной активностью.

Докладчик также привел сравнение биорадарных систем на разных частотах. Мониторинг дыхательной активности людей и животных он проводил в рабочих диапазонах частот 3,6–4,0 ГГц (длина волны ~8 см), а также 13,8–14,2 ГГц (длина волны ~2 см).

В докладе «Особенности применения многоканальных СВЧ-радиотермографов для функциональных исследований головного мозга» д-р техн. наук, проф. Владимир Семенович Кубланов (Научно-исследовательский медико-биологический инженерный центр высоких технологий Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета, Екатеринбург) рассказал об использовании собственных физических полей человека, которые параметрически модулируются биохимическими



Выступление д-ра техн. наук, проф. В.С. Кубланова, Уральский федеральный университет им. Б. Ельцина, Екатеринбург

и биофизическими процессами организма: инфракрасного теплового, радиотеплового, акустотеплового излучений, электрического и магнитного полей. С физической точки зрения собственное электромагнитное излучение является следствием флуктуаций микрочарядов и микротоков, порождающих случайные электромагнитные поля.

Еще в 1980 г., отметил докладчик, Госкомитет СССР по науке и технике и президиум АН СССР поручили Институту радиотехники и электроники АН в качестве головной организации выполнение программы работ по исследованию физических полей биологических объектов в целях создания принципиально новых методов медицинской диагностики. Это решение было принято благодаря активной поддержке академика Г.И. Марчука, бывшего в ту пору председателем Госкомитета по науке и технике, академиком В.А. Котельникова, возглавлявшего институт, и выдающегося радиофизика Ю.Б. Кобзарева. Следует также отметить поддержку тогдашнего президента АН СССР академика А.П. Александрова.

Далее докладчик, математически анализируя составляющую радиотеплового излучения и структурно-функциональную схему обеспечения функционирования мозгового кровообращения, представил СВЧ-радиотермограф МРТ40-2, работающий в диапазоне длин волн 35–45 см.

С помощью данной аппаратуры в специальной экранированной кабине проводились экспериментальные измерения



Радиотермограф МРТ40-2

электромагнитного излучения теменной зоны левого и правого полушарий мозга пациента при функциональном покое, интеллектуальной нагрузке, пробах (например, приеме глюкозы) и т.п.

Излучение не является «белым» шумом, а его флуктуации с периодами более 5 с имеют физиологическую природу, но не являются прямым отражением колебаний интенсивности мозгового кровоснабжения. Наибольший энергетический вклад в этих процессах принадлежит флуктуациям с периодами от 20 до 70 с. Спектральные оценки параметров излучения показали, что свойства головного мозга изменяются под действием опыта и появляется возможность наблюдать за изменениями функционирования мозга в период реабилитации и лечения.

Свой доклад «Dielectric properties of biological tissue» («Диэлектрические свойства биологических тканей») Prof. Charles V. Sammut (Head of the Department of Physics, Dean of the Faculty of Science and Head of the Electromagnetics Research Group, the University of Malta, Malta) посвятил измерениям комплексной диэлектрической проницаемости биологических тканей на частотах 10 МГц – 67 ГГц для



Выступление Prof. Charles V. Sammut, Мальта

анализа результатов и оценки применения медицинского оборудования при томографии и гипертермии. Измерения в открытом пространстве проводили в специальной безэховой камере размером 2,5×2,5×2,5 м, рассчитанной на диапазон 800 МГц – 8 ГГц, а также в закрытых ячейках коаксиального и волноводного исполнения для работы в диапазоне 10 МГц – 90 ГГц. Исследовали также дисперсию диэлектрических свойств биологических тканей. Дополнительно изучались диэлектрические свойства на образцах крови человека.

Использование результатов обеспечивает лучшее качество томографических исследований и оптимальный выбор режимов лечения гипертермией.

Доклад «Физические методы контроля психофизиологического состояния человека-оператора» сделал д-р физ.-мат. наук С.В. Герус (Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ЗАО «НЕЙРОКОМ»). В России в 2015 г. зарегистрировано 184 000 ДТП, погибло более 23 000 человек. Поэтому предложена методика психофизиологического отбора водителей, машинистов, операторов, основанная на применении: психологических тестов, психодиагностических комплексов, автоматизированных систем экспертного определения состояния здоровья, а также телемеханических систем контроля бодрствования машиниста, систем поддержания работоспособности водителя, автономных браслетов кожно-гальванической реакции и т.п. Например, система VIGITON осуществляет непрерывный контроль физиологического состояния водителя, предупреждая его о переходе из активного состояния в состояние психофизиологической релаксации или дремотную ста-

дию сна. В случае приближения водителя к неработоспособному состоянию, потере сознания система выдает команды для включения исполнительных устройств безопасности.



Выступление д-ра физ.-мат. наук С.В. Геруса (ИРЭ РАН, ЗАО «НЕЙРОКОМ», Москва)

Доклад на тему «Биорадиолокация и области ее применения» сделал канд. техн. наук Сергей Иванович Ивашов, на-



Выступление канд. техн. наук С.И. Ивашова, лаборатория дистанционного зондирования, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; биорадар (внизу)

чальник лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана. Он рассказал о возможностях современной биорадиолокации [4] в медицине для оценки психофизиологического состояния человека, дистанционного анализа сердцебиения, дыхания, произвольных движений, структуры сна. На рисунке показан биорадар, имеющий 16 рабочих частот в диапазоне 3,6–4,0 ГГц. Радар может одновременно измерять расстояние до человека и имеет улучшенные способности для фильтрации шума и фоновых отражений.

Биорадиолокационный метод наблюдения за сном оказался репрезентативным средством, позволяющим выявлять движение пациента во время сна и наблюдать за дыханием и пульсом. Получаемая картина является объективным параметром, отражающим дисфункцию сна, а также состояние сна и бодрствования. Периоды тревожного сна могут быть отмечены большим количеством движущихся артефактов. Для выявления таких артефактов, как кашель, чихание и опрокидывание, необходима более детальная обработка данных. Этот ме-

тод может характеризовать уровень психоэмоционального напряжения испытуемого во время сна.

В докладе «Детекция падений пожилых людей при помощи метода биорадиолокации» канд. техн. наук Леся Николаевна Анищенко, ст. науч. сотрудник лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана, остановилась на возможностях применения биорадаров для наблюдения поведения пожилых людей в зонах их нахождения с регистрацией критических случаев, в том числе произвольного падения. На волонтерах изучался тип падения: вперед, назад, с поворотом на 90 и 180°, из положений стоя и сидя. Результаты исследования доказали, что метод биорадиолокации может быть использован для фиксации случаев падения пожилых людей.

В докладе «Применение радаров ближнего действия при обнаружении людей за преградами и для дистанционного мониторинга их дыхательной и сердечной деятельности» канд. техн. наук Анатолий Серафимович Бажанов (ФГУП СКБ ИРЭ РАН, г. Фрязино) отметил перспективы применения радаров для дис-



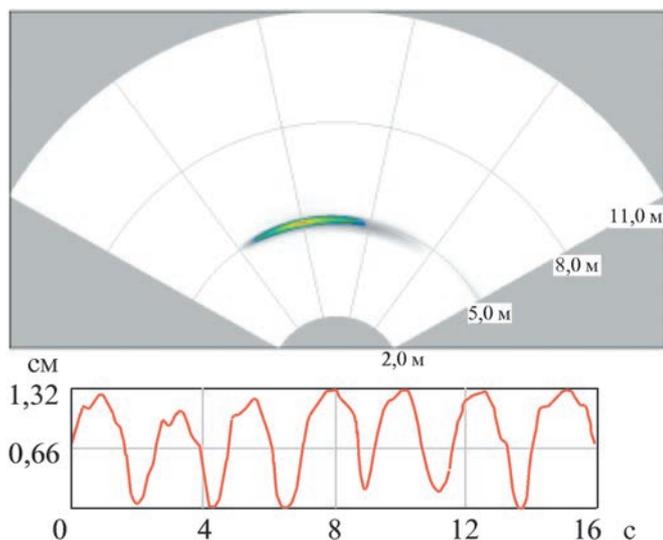
Выступление канд. техн. наук Л.Н. Анищенко, ст. науч. сотрудника лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

танционного исследования поведения людей и их физического состояния [5].

Радары делятся на георадары, радары для обнаружения людей и радары для измерения параметров движения (измерения вибраций и измерения параметров пульса, дыхания) [6]. Радар «Данник» работает на частоте 3500 МГц с длительностью радиоимпульса 2 нс при частоте повторения 4 МГц. Радар обнаруживает людей за стеной из кирпича толщиной 0,4 м, бетона – 0,2 м, каменной кладки – 0,4 м, дерева – 0,4 м на расстоянии до 10 м.



Выступление канд. техн. наук А.С. Бажанова, СКБ ИРЭ РАН, г. Фрязино; отображение на экране присутствия человека, неподвижно стоящего за стеной, и радарограмма ритма его дыхания (справа, внизу)



Докладчик отметил еще одно направление — КВЧ-терапию (КВЧ — крайне высокочастотная) — медицинскую практику, использующую облучение живых организмов и их частей электромагнитным излучением низкой интенсивности в миллиметровом диапазоне (1–10 мм) в качестве лечебного воздействия.

Основоположники КВЧ-терапии (академик Н.Д. Девятков с сотрудниками) объясняли «высокую эффективность» воздействия волн 5,6 или 7,1 мм на организм человека тем, что именно на этих дискретных «резонансных» частотах осуществляется согласованное управление клеток и органов организма. КВЧ-сигналы генерируются клеточными мембранами, эти сигналы ускоряют те или иные биохимические реакции. Положительный эффект лечения наблюдался при следующих заболеваниях: хронические воспалительные заболевания нервной системы, хронические заболевания внутренних органов (язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки), пневмония, ишемическая болезнь сердца, стенокардия, вялотекущие раны, трофические язвы, заболевания кожи, переломы костей.

Свой доклад «Sparse Microwave Imaging Applied for Breast



Выступление Dr. M. Stevanovic, Associate Professor University of Belgrade, Serbia

and Brain Monitoring» («Разреженная микроволновая визуализация, применяемая для мониторинга груди и мозга») Dr. Marija Stevanovic (Associate Professor, University of Belgrade, Serbia) посвятила исследованию объектов на различных моделях путем использования функций Грина и восстановления изображений с помощью нелинейной обратной задачи.

Измерение физиологических параметров головного мозга после приступа может уменьшить последствия инсульта. Критический период длится первые часы после начала инсульта. КТ и МРТ являются трудоемкими, немобильными и неэффективными с точки зрения затрат. Исследования показали значительный контраст между электромагнитными параметрами здорового мозга и инсульта в микроволновой области. Поэтому была предложена и опробована дифференциальная микроволновая визуализация, заключающаяся в том, чтобы найти небольшие изменения (например, из-за инсульта) в параметрах ткани между последовательными измерениями. Если изменения небольшие, то можно линеаризовать уравнения рассеяния и ускорить обработку и получение результата. Исследовались два вида инсульта — геморрагический и ишемический.

Поляризация электромагнитного поля влияет на производительность алгоритма микроволнового воспроизведения. Предварительный численный анализ подтвердил потенциал дифференциальной микроволновой томографии с ограниченным объемом информации. Эксперименты проводились в диапазоне 1 ГГц. Использовались 60 диполей длиной 2 см при обнаружении опухоли диаметром 5 мм.

В докладе «Оценка структуры сна на основе биорадиолокации» канд. техн. наук Александр Бид-

зинович Татаридзе, мл. науч. сотрудник лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана, рассказал о перспективах практического использования биорадаров в структуре полисомнографии, включающей регистрацию электроэнцефалограммы, электроокулограммы, электромиограммы, электрокардиограммы, дыхательных движений грудной клетки и живота, храпа, движений ноги т.п.



Выступление канд. техн. наук А.Б. Татаридзе, мл. науч. сотрудника лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

В докладе «Методика построения микроволновых изображений молочной железы» Ирина Львовна Алборова, мл. науч. сотрудник лаборатории дистан-



Выступление И. Л. Алборовой, мл. науч. сотрудника лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва



Коллективная фотография участников школы



Dr. L. Crocco, канд. техн. наук
С.И. Ивашов и Dr. F. Soldovieri

ционного зондирования МГТУ им. Н.Э.Баумана рассказала о возможностях с помощью радиолокационных средств раннего обнаружения рака молочной железы. Для этого проводились математическое и физическое моделирование.

Экспериментальные исследования осуществлялись на моделях с помощью голографического радара «РАСКАН 4» на трех частотах: 4, 7 и 15 ГГц. На частоте 7 ГГц было получено четкое изображение локальной аномалии диаметром 5 мм на глубине 7 мм.

Заключение

1. Общий анализ содержания докладов показывает устойчивое целенаправленное развитие специализированных радаров применительно к решению актуальных медицинских задач на современном уровне.
2. Наибольший прогресс достигнут в дистанционном контроле психофизиологического состояния пациентов по дыханию и сердцебиению.
3. В области микроволновой диагностики мозга продолжается поиск оптимального алгоритма восстановления изображения по нелинейным проекциям рассеяния электромагнитных волн.
4. В отдельных случаях созданы приборы, успешно внедряемые в практику лечения и диагностики.

Библиографический список

1. **Международная школа** для молодых ученых «Применение радиолокаторов малой дальности

- сти в медицине» / Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 16 – 18 октября 2017 г. М., 2017. URL: school.rslab.ru
2. **Искандер М.Ф., Дерни К.Х.** Электромагнитные методы медицинской диагностики: обзор // ТИИЭР. 1980. Т. 68. № 1.
3. **Staderini E.** Uwb radars in medicine // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2002. V. 17. Is. 1. P. 13 – 18.
4. **Биорадиолокация** / под ред. А.С. Бугаева, С.И. Ивашова, И.Я. Иммореева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 396 с.
5. **Godik E.E., Gulyaev Y.V.** Functional imaging of human body // IEEE Engineering in Medicine and Biology. 1991. V. 10. N 4. P. 21 – 29.
6. **Матвеев В.И.** Радиоволновой контроль: учеб. пособие / под общ. ред. В.В. Ключева. М.: ИД «Спектр», 2011. 184 с.

Ответы на кроссворд, опубликованный в №4 (сентябрь – декабрь), 2017

По горизонтали: 1. Фронт. 4. Частота. 8. Лэмб. 10. Кратер. 11. Наплыв. 12. Специалист. 13. Твердомер. 14. Качество. 16. Усилитель. 18. Развертка. 20. Толщиномер. 22. Непер. 24. Вид. 25. Стрела. 26. Протектор.

По вертикали: 1. Фильтр. 2. Ориентация. 3. Давление. 5. Отбел. 6. Вогнутость. 7. Карта. 9. Достоверность. 15. Демпфер. 17. Ермолов. 19. Зона. 21. Надрыв. 23. Рыхлота. 25. Сбой.