

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



ПЕПЕЛЯЕВ Андрей Валентинович
Технический консультант
ООО «ТЕХКОН», Москва

Многоэлементные преобразователи — фазированные решетки (ПФР) широко применяются в УЗК уже более двадцати лет. В основе та же концепция, что и для одноканальных дефектоскопов: универсальный прибор комплектуется преобразователями под конкретные задачи контроля. Но разнообразие ПФР при этом намного больше. Кроме других характеристик, они существенно отличаются числом элементов, обычно от 8 до 128, а также расположением этих элементов — линейным, двумерным матричным, двумерным сегментно-кольцевым и так далее [1].

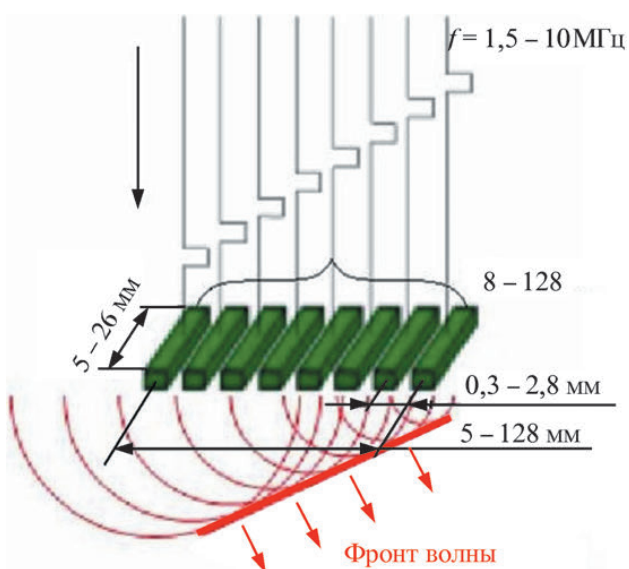


Рис. 1. Сводные характеристики линейных ПФР Olympus

Одним из первых портативных и универсальных дефектоскопов с большим ассортиментом ПФР стал OmniScan. Он выпускается с 2003 г. сначала под брендом R/D Tech, затем Olympus, который с 2022 г. во всем мире заменяется на Evident. Сводные характеристики самых массовых линейных ПФР показаны на рис. 1.

Но даже такой широкий модельный ряд ПФР не позволял решить некоторые задачи УЗК. Например, это контроль материалов с высоким затуханием ультразвука, таких как композиты, резина и т.п., на большую глубину. Подобный контроль обычно требуется проводить в режиме линейного сканирования с углом ввода 0°. Для этого нужны ПФР с низкой рабочей частотой и большой апертурой (размером излучателя-приемника).

С данной проблемой ООО «ТЕХКОН» столкну-



Рис. 2. УЗК сверхкрупногабаритных шин

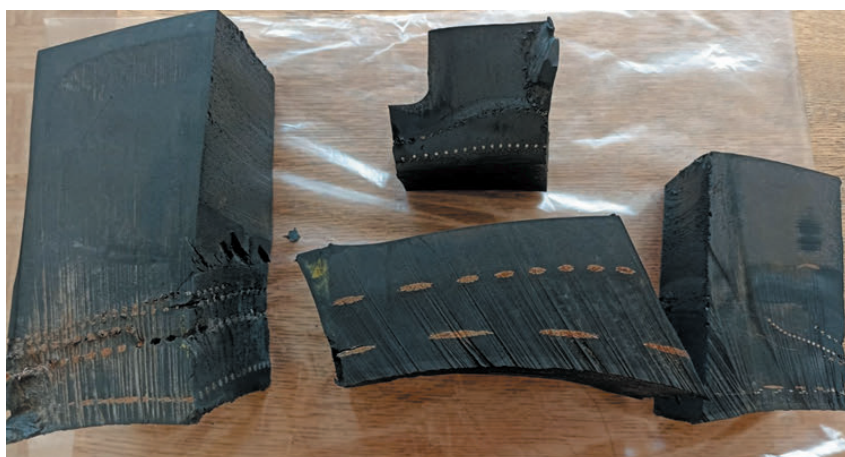


Рис. 3. Фрагменты шин с элементами металлокорда

лось при внедрении УЗК цельнометаллокордных сверхкрупногабаритных шин для карьерных самосвалов (рис. 2). Кроме выявления несплошностей в резине, нужно было контролировать глубину залегания и шаг элементов металлокорда. Металлокорд имеет сложную многослойную конструкцию, его элементы находятся на разной глубине и ориентированы в различных направлениях (рис. 3). Поэтому для повышения надежности, достоверности и производительности УЗК были использованы ПФР, с помощью которых формировались наглядные и информативные В-сканы объекта контроля (ОК) (рис. 4).

Контроль успешно выполнялся серийным ПФР линейного типа 2.25L64-A2 Olympus, имеющим 64 элемента, с рабочей частотой 2,25 МГц, апертурой (активная × пассивная) 48 × 12 мм и шагом элементов 0,75 мм. Размер активной группы составлял 8 элементов при контроле на глубину до 20 мм и 16 элементов для глубин до 100 мм.

Но нужно было обеспечить максимальную глубину контроля 250 мм. Из серийных ПФР для этой цели частично подходил 16-элементный 1.5L16-A3 с рабочей частотой 1,5 МГц, апертурой 44,8 × 26 мм и шагом 2,8 мм, который используют, например, для контроля сварных швов нержавеющей стали в режиме секторного сканирования. Но в данном случае и он не решал задачи, поскольку:

- для контроля резины на глубину до 250 мм требуется еще более низкая рабочая частота;
- 16 элементов не позволяют выполнять линейное сканирование с максимальной апертурой и получением достаточно протяженного В-скана.

Подходящий ПФР на тот момент найти не удалось, поэтому для контроля на глубину от 100 до 250 мм комплект дефектоскопа был дополнен прямым одноэлементным преобразователем M101-SB с рабочей частотой 0,5 МГц и диаметром 25,4 мм.

В компании Olympus была заявлена возможность изготовления ПФР по индивидуальному заказу с характеристиками, которые отличаются от

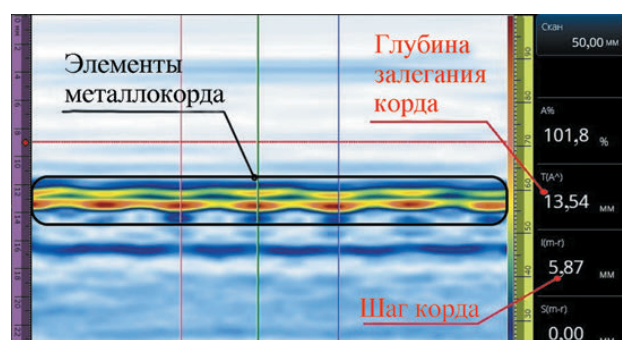


Рис. 4. В-скан с индикациями элементов металлокорда

серийных. Однако сложная процедура согласования, большие сроки изготовления и высокая стоимость сделали данную опцию невостребованной, по крайней мере в России. И это один из минусов, который появился после вхождения сравнительно небольшой и специализированной компании R/D Tech в состав такого гиганта, как Olympus.

Но Olympus задал своего рода стандарт для ПФР, на который стали ориентироваться другие производители. Среди них выделим компанию Eintik из КНР, которая сначала занялась производством аналогов наиболее востребованных ПФР и сканеров Olympus. Несомненным успехом стал выпуск роликового сканера R1 как замены RollerFORM. Данные сканеры применяют для контроля композитов [2], а также для коррозионного мониторинга с составлением карт коррозии трубопроводов и других металлоконструкций. В основе R1 иммерсионный 64-элементный ПФР, который является также осью качения сканера (рис. 5).

ООО «ТЕХКОН» и наши заказчики много раз проводили сравнительные испытания ПФР Eintik и Olympus. Кроме того, заказчики уже несколько лет эксплуатируют оборудование Eintik, в том числе и в полевых условиях. Опыт показал, что по всем характеристикам, включая надежность, ПФР Eintik не уступают аналогам Olympus. Например, заказ-



Рис. 5. Иммерсионный ПФР роликового сканера R1

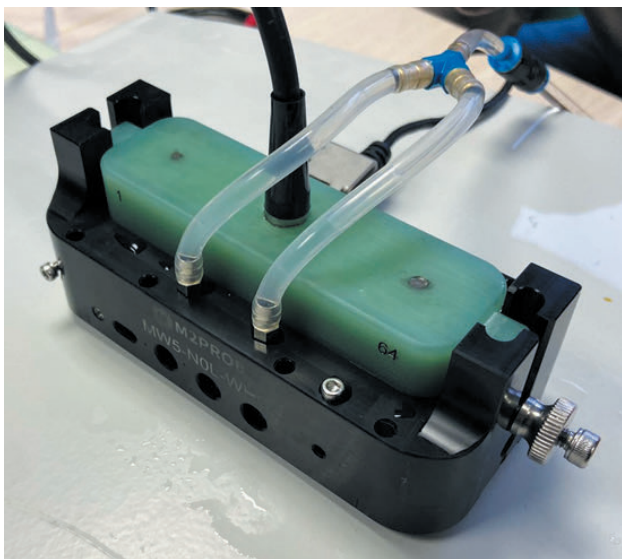


Рис. 6. ПФР MW5 с водяной призмой



Рис. 7. Фрагмент лопасти ветрогенератора с БЦО

чиков впечатлило, что при контроле попеременно сканерами RollerFORM и R1 при одной и той же настройке дефектоскопа были получены практически идентичные результаты по амплитуде эхосигнала и глубине залегания отражателей с одинаковым уровнем шумов.

Но компания Eintik не остановилась на достигнутом. Ее дальнейшим развитием стал выпуск собственных многоканальных дефектоскопов PHASEYE, а также ПФР и сканеров не только для типо-

вых, но и для специальных задач контроля. В их числе УЗК материалов с высоким затуханием ультразвука на большую глубину. В данном случае основной причиной разработки специализированных ПФР и сканеров стала необходимость контроля лопастей ветрогенераторов из стеклопластика.

Для этой цели был создан специализированный линейный ПФР MW5, состоящий из 64 элементов, с низкой рабочей частотой 0,5 или 1,0 МГц, большой апертурой 96×22 мм и шагом 1,5 мм (рис. 6).

По опыту применения данный ПФР позволяет проводить контроль изделий из стеклопластика на глубину до 100 мм. При отработке технологии УЗК лопастей ветрогенераторов в качестве контрольного отражателя чаще использовались боковые цилиндрические отверстия (БЦО), которые проще выполнить на фрагментах ОК. На рис. 7 показан образец с клеевым соединением тела лопасти и лонжерона, а также с БЦО в данной зоне. Сканы, полученные при выявлении БЦО $\varnothing 8$ мм, приведены на рис. 8. Они включают в себя сечения ОК по оси электронного и механического сканирования, которые расположены на рис. 8 соответственно сверху и внизу. Для стеклопластика большой толщины с его высоким уровнем структурных шумов выявление отражателя таких размеров можно считать хорошим результатом.

Одна из проблем применения крупноразмерных преобразователей — обеспечение их надежного акустического контакта с поверхностью ОК. Это особенно актуально для изделий из композитов, где часто имеются участки с переменным радиусом кривизны, а также локальные неровности. Для решения данной задачи MW5 применяется с локальной иммерсионной ванной (водяной призмой, см. рис. 6). Также могут быть использованы сменные водяные призмы с дополнительным радиусом изгиба в осевом направлении.

Кроме того, разработан сканер для композитов R32. В его основе 128-элементный ПФР, причем элементы сгруппированы по сегментам, каждый из которых имеет независимую пружинную подвеску (рис. 9). Такая конструкция при установке ПФР адаптирует его поверхность к поверхности ОК переменной кривизны и тем самым обеспечивает надежный акустический контакт через тонкий слой жидкости.

Для контроля лопастей ветрогенераторов создана установка автоматизированного УЗК (АУЗК). В ее состав входят универсальный дефектоскоп, представленные специализированные ПФР, а также

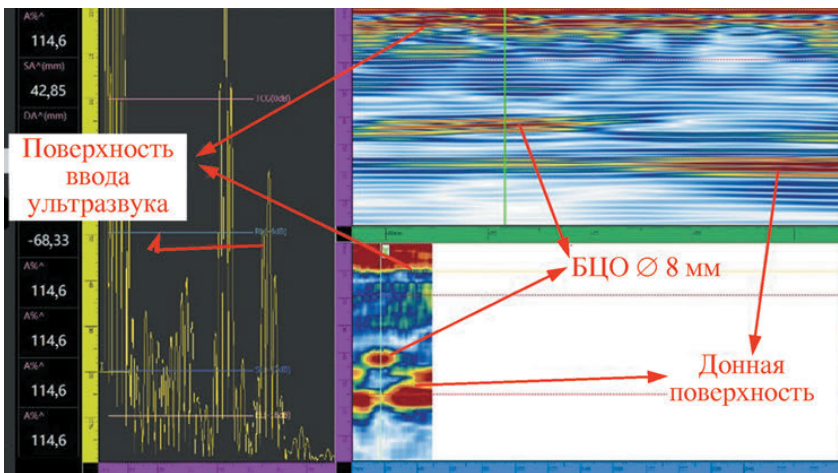


Рис. 8. Сканы лопасти ветрогенератора



Рис. 9. Сегментированный ПФР с независимой пружинной подвеской

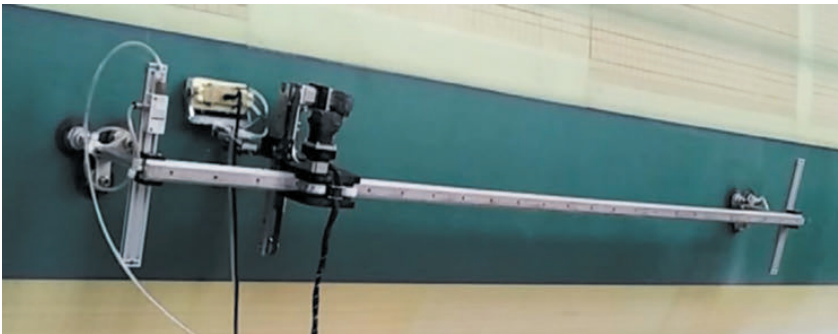


Рис. 10. Система АУЗК лопастей ветрогенераторов

моторизованный двухкоординатный сканер и система подачи контактной жидкости (рис. 10). Сканер фиксируется на поверхности ОК с помощью вакуумных держателей, размер зоны растрового сканирования составляет 2000×500 мм при скорости сканирования до 300 мм/с.

Автор выражает благодарность В.В. Панкову за предоставленный материал, который был использован в данной статье.

Продолжение следует.

Библиографический список

1. **Техническое руководство** по ультразвуковому контролю с применением фазированных решеток. Полезные формулы, диаграммы и примеры / R/D Tech. Corp., 2005.
2. Гуляев А.М., Хижняк С.А., Пепеляев А.В. УЗК деталей из композитов перспективным ультразвуковым дефектоскопом с фазированными решетками // Территория NDT. 2025. № 2. С. 46–49.