

Модернизация РЛС для управления воздушным движением летательных аппаратов, базирующихся на ТАКР «Адмирал Кузнецов»

Александр Брейгин, Исаак Москович,
Наиль Файзулин (office@niiit-rk.ru)

В статье приведены особенности и характеристики модернизированного диспетчерского радиолокатора диапазона L. Цель модернизации заключается в улучшении характеристик и снижении массогабаритных параметров радиолокатора за счёт использования достижений последних лет в области аппаратных и программных средств формирования и обработки сигналов.

ВВЕДЕНИЕ

ТАКР (тяжёлый авианесущий крейсер) «Адмирал Кузнецов» оборудован комплексом управления воздушным движением, навигации и посадки «Резистор-К42», разработанным и изготовленным НПО измерительной техники в 1988 году. В составе комплекса имеется первичный диспетчерский радиолокатор (ДРЛ) диапазона L. В настоящее время радиолокатор физически и морально устарел, в связи с чем АО «НИИИТ-РК» произвело его модернизацию. Развитие современной элементной базы позволяет внедрить активную фазированную решётку, цифровое формирование и обработку сигналов с одновременным уменьшением массогабаритных параметров систем.

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Дальность действия при ограниченной пиковой мощности обеспечивается сложным сигналом большой длительности. Применение быстродействующих ПЛИС позволяет формировать и производить согласованную фильтрацию (сжатие) сложных сигналов со ступенчатой фазовой функцией [1]. Такой сигнал позволяет получить низкий уровень боковых лепестков (УБЛ) при согласованной обработке во временной области без применения весового взвешивания. Фазовая функция используемого сигнала приведена на рисунке 1 и представляет собой параболу, «возмущённую» фазовыми скачками.

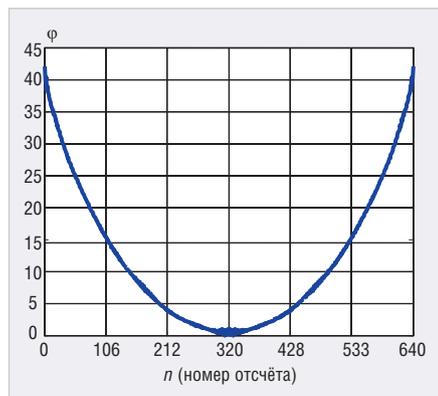


Рис. 1. Фазовая функция

пенчатой фазовой функцией [1]. Такой сигнал позволяет получить низкий уровень боковых лепестков (УБЛ) при согласованной обработке во временной области без применения весового взвешивания. Фазовая функция используемого сигнала приведена на рисунке 1 и представляет собой параболу, «возмущённую» фазовыми скачками.

На рисунке 2 для этого сигнала с $B=64$ показаны корреляционные функции, (КФ) соответствующие $f_q=0$ кГц и 4,8 кГц. Даже при $V_{rmax}=555$ м/с ($f_q=4,8$ кГц) УБЛ КФ не превышает -40 дБ. На всех рисунках ширина КФ по уровню -3 дБ составляет не более 1 мкс.

Внутриимпульсная обработка простых (моно – для ближней зоны) и сложных (случайные фазовые маски (СФМ) для дальней зоны) сигналов осуществляется согласованными фильтрами, которые представляют собой корреляторы на основе КИХ-фильтров. Алгоритм работы фильтра имеет вид:

$$Y_k = \sum_{i=0}^{N-1} X_i W_{k-i}, \quad (1)$$

где $W_q^{iq=60}$ – коэффициенты фильтра моно, $W_q^{iq=320}$ – коэффициенты фильтра СФМ.

Междупериодная обработка сигналов производится с помощью адаптивного обесцараживающего фильтра в соответствии с алгоритмом, сочетающим когерентный компенсатор помехи с некогерентным накоплением выходных сигналов компенсатора [2], предпороговая статистика при этом равна

$$\begin{aligned} \xi &= \sum_i \xi_i \\ \xi_i &= \hat{p}_i^* \times \hat{p}_i \\ p_i &= \{p_j\}_{j=1}^M = \hat{H}_i^* \times U_i \\ \hat{H}_i^* \times \hat{H}_i &= \hat{\Phi}_i^{-1} = \hat{\Psi}_i \end{aligned} \quad (2)$$

$\hat{\Phi}_i$ – оценка корреляционной матрицы помехи и шум на i -й частоте, U_i – аддитивная смесь сигнала, помехи и шума на i -й частоте, \hat{H}_i – корень $\hat{\Psi}_i$ матрицы на i -й частоте, * – символ эрмитового сопряжения.

Обработка в соответствии с алгоритмом (2) обеспечивает высокую эффективность адаптивного обнаружителя при малом объёме обучающей выборки при оценке корреляционной матрицы $\hat{\Phi}_i$ [3]. Для принятия решения об обнаружении сигнала используется процедура порогово-логической обработки. Последовательность результатов некогерентного накопления на одном угловом направлении сравнивается с пороговым уровнем, выбранным в соответствии с критерием минимума среднего риска. Нормированный порог I получен в результате решения уравнения:

$$F - \frac{\Gamma [n, \lambda (\mu \times 1)]}{\Gamma(n)} = 0 \quad (3)$$

где F – заданный уровень вероятности ложной тревоги, n – число накапливаемых импульсов, μ – оцениваемое отношение сигнал/шум+помеха, Γ – гамма функция, $\lambda = (1 + \mu^{-1}) \times \ln [1 + (1 + \mu)]$.

Обнаружение в соответствии с уравнением (3) позволяет получить выигрыш в характеристиках обнаружения относительно обнаружения по критерию Неймана-Пирсона на 2–4 дБ [4].

Обнаружение пачки, полученной при сканировании по азимуту, производится в окне с размером $M \times N$, где M – число азимутальных дискретов, N – число ячеек дальности. Решение об обнаружении пачки принимается по результатам критерийной обработки и производится измерение дальности и азимута цели в соответствии с алгоритмами [5]

$$\hat{r} = \delta r \left\{ i_0 + S^{-1} \times \sum_{i=1}^M [i \times \hat{Z}_{ri}] \right\}, \hat{\beta} = \delta \beta \times \left\{ j_0 + S^{-1} \times \sum_{j=2}^N [j \hat{Z}_{\beta j}] \right\},$$

$$S = \sum_{i=i_0-1}^{i_0+1} \sum_{j=j_0-2}^{j_0+2} Z_{ij}, \hat{Z}_{ri} = \sum_{j=j_0-2}^{j_0+2} Z_{ij}, \hat{Z}_{\beta j} = \sum_{i=i_0-1}^{i_0+1} Z_{ij} \quad (4)$$

где S – коэффициент, равный сумме отсчётов в окне, Z – промежуточные суммы отсчётов по дальности и азимуту, i_0, j_0 – номер дискрета дальности и

азимута, в котором принято решение об обнаружении максимального отсчёта, $\delta r, \delta \beta$ – дискретность дальности, азимута.

Оценивание азимута и дальности по выражениям (4) позволяет минимизировать ошибки с учётом инструментальных погрешностей за счёт дискретности огибающей сигнала по дальности и азимуту, а также при наличии внутрипачечных флуктуаций отражённого сигнала, имеющих место при радиолокационном наблюдении вертолётов.

В РЛС используется селекция радиолокационных отметок целей на фоне помех за несколько обзоров. Такая селекция основывается на различии пространственно-временных (траекторных) признаков целей и помех (МССДЦ). Метод МССДЦ с измерением-распознаванием подразумевает сопровождение всех объектов, обнаруженных в зоне обзора РЛС, и фильтрацию их параметров. По результатам измерения параметров движения сопровождаемого объекта оцениваются траекторные признаки распознавания (скорость и модель входного воздействия) и принимается решение о его классе (цель или помеха). Радиолокационные отметки, принадлежащие скоростным траекториям, выдаются потребителям РЛС всегда, а от метки, принадлежащие малоскоростным траекториям, потребителю могут не выдаваться.

В алгоритме межобзорного сопровождения и селекции движущихся целей с измерением-распознаванием в качестве составной части используется многогипотезный измеритель с межобзорной памятью гипотез (МИМПГ). Многогипотезные измерители с межобзорной памятью гипотез вводятся как более усложнённый вариант квазиоптимальной адаптивной байесовской фильтрации. В англоязычной литературе такие разновидности дискретных следящих измерителей называются IMM (Interactife Muiltiple Model) [6]. От предыдущего шага измерения на текущий для i -го класса траектории передаётся фиксированное число гипотез N_0 моделях входного воздействия с учётом вероятностей их взаимного перехода. Существенное снижение канальности измерителя обеспечивается также сочетанием фильтров, отличающихся видами моделей входного воздействия. Траекторное описание целей и помех включает в себя:

- распределение траекторий по высотам и скоростям движения (высотно-скоростные характеристики);

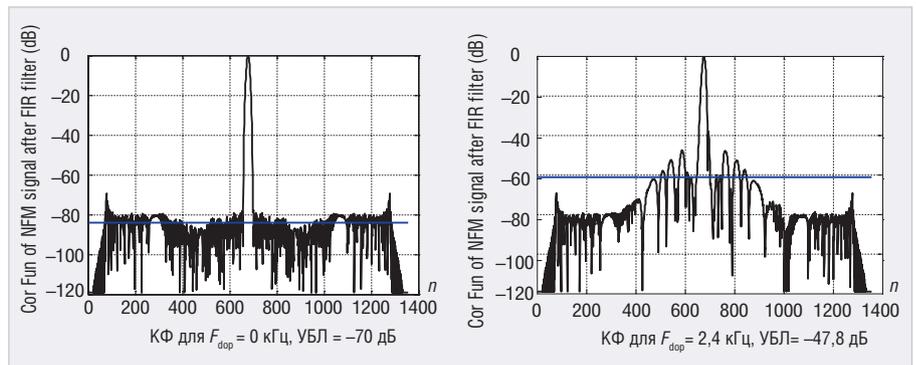


Рис. 2. Корреляционные функции

- вид и параметры задающего воздействия;
- характеристики возмущающего воздействия.

По высотно-скоростным характеристикам цели и помехи распределены следующим образом (для районов с континентальным климатом):

- цели могут летать на высотах от 0,05 до 25 км, помеха – от 0 до 12 км;
- диапазон скоростей цели лежит в пределах от 50...70 (на посадке) до 850 (и более) м/с, помеха от 0 до 35 м/с.

По параметрам моделей возмущающих воздействий цели отличаются от помехи наличием незначительного «шума» по измеряемым координатам. Им можно пренебречь для измерителей обзорных РЛС средней и большой дальности ввиду того, что разрешаемый объём РЛС намного превышает геометрические размеры целей, в то время как у помехи СКО «шумов» по измеряемым координатам значительны.

Задающие воздействия целей описываются моделями первого или второго порядков с некоррелированными приращениями или моделями первого порядка с коррелированными приращениями. Задающие воздействия помехи описываются моделями нулевого ИЛИ первого порядка с некоррелированными приращениями, или нулевого порядка с коррелированными приращениями.

Виды и порядки моделей задающего воздействия целей (кроме вертолётов) и ДМО оказываются различными, за исключением модели первого порядка с некоррелированными приращениями. Однако значения параметров возмущающего воздействия для перекрывающихся моделей оказываются различными: дисперсия случайного маневра целей лежит в диапазоне 0,001...0,5 м²/с⁴, а помеха – в диапазоне 0,01...0,1 м²/с⁴.

Диапазоны значений СКО «шумов» помехи по дальности и азимуту остат-

ков компенсации от облаков гидрометеоров лежат в пределах $\sigma_{р,ДМО} = 50...60$ м и $\sigma_{\beta,ДМО} = 0,2...0,72^\circ$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛОКАТОРА

Диспетчерский радиолокатор диапазона L обеспечивает выполнение следующих функций:

- обнаружение летательных аппаратов в неблагоприятных погодных условиях;
- выделение движущихся целей, оценка их координат (азимут и дальность) с использованием адаптивных фильтров;
- сопровождение целей и отображение радиолокационной информации.
- Техническими особенностями радиолокатора являются:
- кольцевая активная фазированная решетка с электронным сканированием луча;
- двухчастотный режим работы;
- использование двухимпульсного зондирования, импульсом малой длительности с моночастотным заполнением для малых дальностей и широким импульсом с нелинейной частотной модуляцией для больших дальностей;
- цифровое сжатие сигнала и адаптивная селекция движущихся целей;
- сопровождение целей с применением алгоритмов Калмановской фильтрации.

Структурная схема радиолокатора приведена на рисунке 3. Прибор ПРД-ПРМ формирует последовательность зондирующих импульсов, представляющих собой пачку из 16 импульсов на каждом угловом направлении антенны (через 0,45°). Пачка состоит из двух подпачек, включающих 8 зондирований на частоте f_1 и 8 зондирований на частоте f_2 . Каждое зондирование состоит из двух импульсов, длительностью $\tau_1 = 1$ мкс, $\tau_2 = 64$ мкс. Импульс

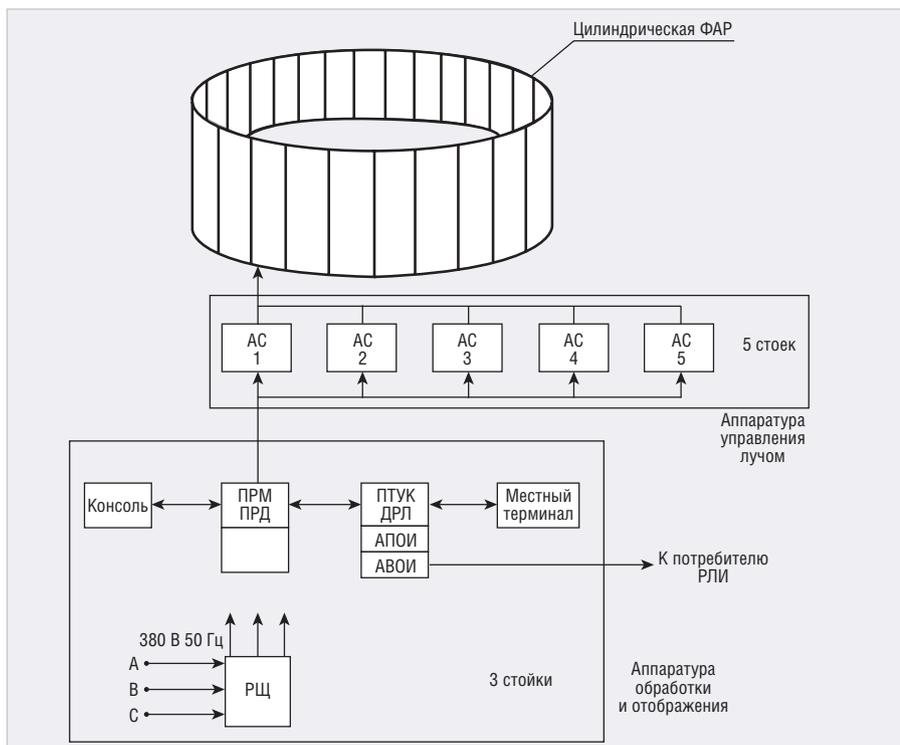


Рис. 3. Структурная схема ДРЛ

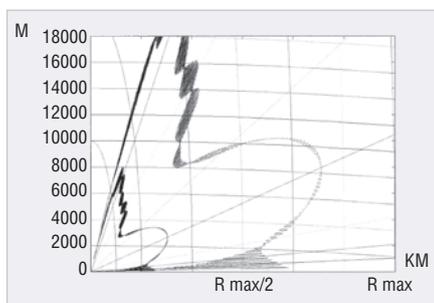


Рис. 4. Диаграмма зоны действия ДРЛ (размер цели 2 м², P=0,85)

τ_1 имеет моночастотное заполнение, импульс τ_2 нелинейно-частотно модулирован. Импульсы подпачек вобулируют со средним периодом повторения 760 мкс.

Приборы АС формируют требуемое амплитудно-фазовое распределение возбуждения излучаемой ФАР. Сканирование лучом в горизонтальной плоскости производится с шагом 0,45°. Входящие в состав приборов АС приёмно-передающие модули усиливают питающие сигналы до уровня мощности 250–300 Вт. Одновременно включены 40 излучателей, т.е. суммарная мощность излучаемого сигнала составляет 10–12 кВт. Отражённые от цели сигналы с выхода излучателей усиливаются малошумящими усилителями с коэффициентом шума $F < 1,3$ дБ, входящими в состав приёмно-передающего модуля, и далее поступают на прибор ПРД-ПРМ.

Сигналы промежуточной частоты в приборе ПТУК-ДРЛ подвергаются аналого-цифровому преобразованию и поступают на фильтр сжатия. Используемый закон нелинейной частотной модуляции и обработка в фильтре сжатия с 320 весовыми коэффициентами позволяет получить уровень боковых лепестков не более –52 дБ при $f_D=0$ и не более –40 дБ при $f_D=5$ кГц, при коэффициенте сжатия равном 64.

После сжатия производится адаптивная селекция движущихся целей, выполненная на основе решётчатого фильтра. Селекция движущихся целей обеспечивает следующие характеристики: коэффициент подавления ≥ 50 дБ; коэффициент подпомеховой видимости ≥ 40 дБ для нефлуктуирующей цели и ≥ 26 дБ для флуктуирующей цели. При используемом законе вобуляции неравномерность скоростной характеристики не превышает 5 дБ при скоростях до 2000 км/ч.

Межобзорная обработка производится с использованием многогипотезного дискретного следящего измерителя на основе сочетания фильтров Калмана, отличающихся видами моделей входного воздействия – ИММ-фильтра. Межобзорная обработка обеспечивает следующие характеристики: максимальное время принятия решения о траектории не превышает 4 обзора, максимальная скорость цели до 2000 км/ч, максимальное число целей до 50, количество ложных трасс

не более 5. Управление режимами работы, контроль технического состояния, техническое обслуживание радиолокатора производится с помощью местного терминала и консоли. Зона действия радиолокатора приведена на рисунке 4.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА И КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ

В системе применены следующие компоненты.

1. Фазированная антенная решётка – цилиндрическая ФАР, включающая в свой состав 160 излучателей с габаритными размерами: высота $h=2,2$ м, $d=0,150$ м, радиус цилиндра 4 м.
2. Приёмно-передающие модули (10 шт.):
 - усилители мощности на транзисторах BLL6H05 14-25, BLL6H1 214-500;
 - малошумящие усилители на микросхемах SPF-51227;
 - конструктивное исполнение в виде блока с габаритными размерами 124×315×218 мм.
3. Возбудители и приёмники – серийно выпускаемые модули 974ГВ02 К/М и 974ПП05М.
4. Аппаратура первичной обработки на основе модуля ЦОС АДДР201СР5 производства «Инструментальных систем» с использованием ПЛИС Xilinx XC4VSX35-10 и процессоров Analog Devices ADSP-TS201SA.
5. Аппаратура вторичной обработки – промышленная ЭВМ IPC-006 Advantix.
6. Местный терминал УМВК-18, консоль ПКМ-9268АВ производства ИСР.
7. Приборы АС, ПРД-ПРМ, ПТУК-ДРЛ, РЦ в стойках с габаритными размерами 1846×518×560 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Седлецкий Р.М. и др. Исследования сложных зондирующих сигналов с цифровым формированием для ДМРЛ. Цифровая обработка сигналов № 2. 2009.
2. Леховицкий Д.И. и др. СДЦ в импульсных РЛС. ПРЭ. Том 10. № 4. Харьков. 2011.
3. Леховицкий Д.И. и др. О потерях когерентного сигнала в адаптивном обнаружителе с некогерентным накоплением. ПРЭ. Том 10. № 4. Харьков. 2011.
4. Седышев С.Ю., Дечко А.А. Потенциальные характеристики обнаружителя, оптимального по критерию среднего риска. ПРЭ. Выпуск №3. 2006.
5. Радиоэлектронные системы, под ред. Ширмана Я.Д., М, 2007.
6. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей М., «Радио и Связь», 1993г.



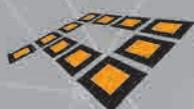
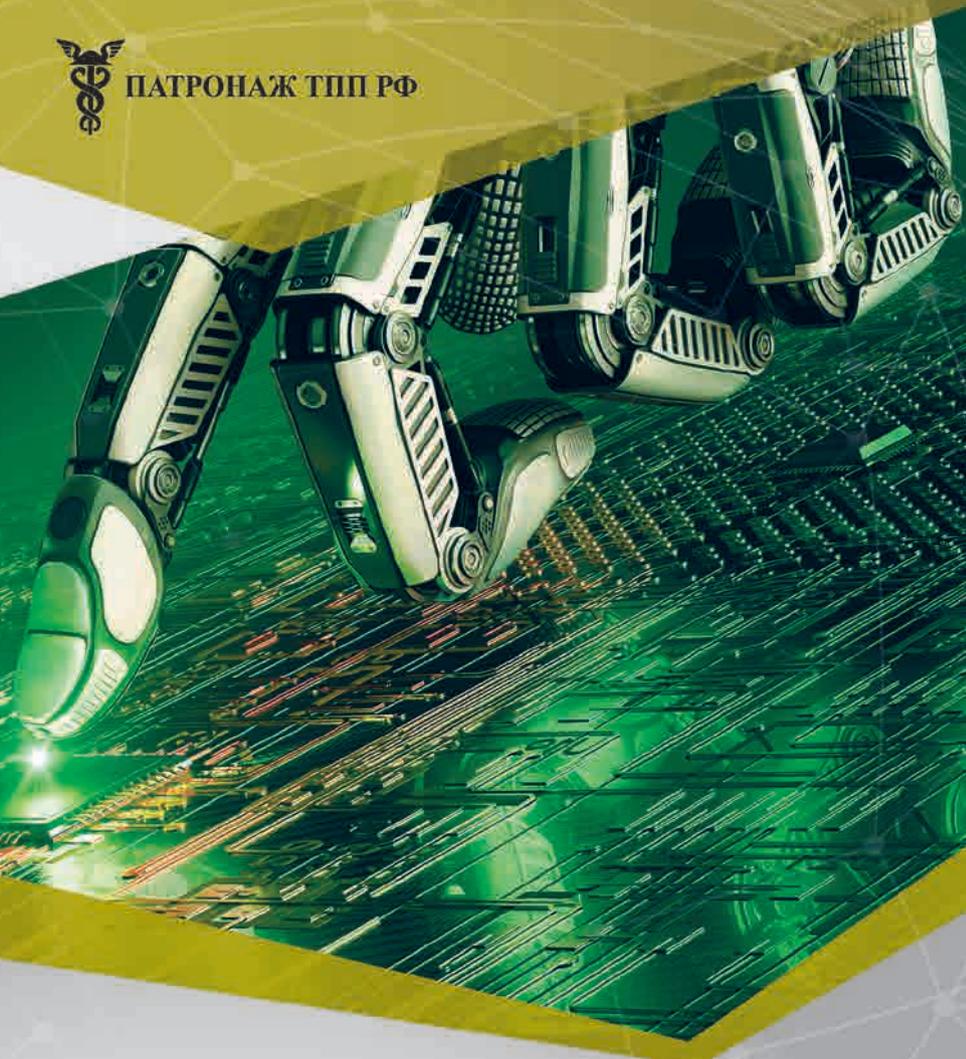
ПАТРОНАЖ ТПП РФ

17-19

СЕНТЯБРЯ 2019

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



powered by
productronica

Radel

ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА
- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Реклама

ОРГАНИЗАТОР МЕЖДУНАРОДНОГО ПАВИЛЬОНА:



ООО «Мессе Мюнхен Рус»

Messe München

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



radelexpo.ru

(812) 777-04-07

