УДК 621.396.96

А. М. Аминев, А. В. Гилев, Д. Ю. Гришин,
В. Е. Зайцев, В. Н. Сергеев

Программное обеспечение автоматизированного стенда контроля АФАР

Предложено использование программной платформы многомерных кубов данных в автоматизированных стендах контроля активных фазированных решеток. Ее применение значительно облегчает и ускоряет отображение и анализ очень больших объемов данных, поступающих от крупноапертурных активных фазированных решеток в процессе измерений, благодаря чему конечный пользователь может создавать произвольные запросы к данным. Показаны перспективы использования этой платформы и для радиолокационных систем в целом.

Ключевые слова: программное обеспечение, активная фазированная антенная решетка, диагностический контроль, технологическое обслуживание, система управления базами данных.

Введение

При работе с крупноапертурными активными фазированными решетками (АФАР) в рамках пусконаладки и заводской настройки, функционально-диагностического контроля при технологическом обслуживании, выполнении специальных измерений возникает проблема отображения, обработки и анализа очень большого объема результатов измерения параметров. Например, только один тест – однократное измерение пяти параметров каждого приемного и передающего канала АФАР с 10 000 каналов в трех точках рабочего диапазона частот порождает массив размером 150 000 значений.

Как правило, интерес представляют закономерности изменения параметров и их статистических характеристик по времени, прогреву аппаратуры после включения, изменению условий эксплуатации. Типовой пример – анализ поведения среднеквадратического отклонения (СКО) фазового распределения в апертуре решетки по времени и температуре. Так, за сутки при наборе статистики количество измеренных значений может увеличиться еще на один или два порядка.

При таких больших объемах экспериментальных данных существенно возрастают и требования по отображению, обработке и анализу параметров АФАР, в рамках которых необходимо обеспечить:

- оперативный доступ к большим массивам сохраненных данных со стороны пользователей и программ обработки;

- высокоскоростную агрегацию больших массивов измеренных параметров по произвольным интервалам времени и произвольным составным частям АФАР;

- возможность оперативного формирования произвольных отчетов при анализе данных конечным пользователем (не программистом);

- программную поддержку процедур поиска и нахождения скрытых закономерностей в данных.

В состав программного обеспечения (ПО) стендов контроля АФАР входит прежде всего программная платформа реального масштаба времени для управления измерительными приборами и аппаратурой АФАР, сбором данных в темпе их поступления, сохранения, обработки и отображения измеренных значений параметров, например, *National Instruments LabView*. В развитых стендах в состав программного обеспечения включается также и база данных (БД) чаще всего на основе реляционных систем управления базами данных (СУБД), например *Microsoft Access* или *Microsoft SQL Server*. Возможности таких традиционных решений в случае, когда необходимо провести оперативный анализ данных при значительном возрастании их объема, ограничены:

- в системах реального времени данные сохраняются в виде файлов, что снижает гибкость и оперативность доступа к накопленным массивам параметров;

- в реляционных БД конечный пользователь работает с заранее созданными стандартными отчетами, а при необходимости произвольных отчетов для анализа данных вынужден обращаться к программистам;

- скорость агрегации больших массивов измеренных параметров по произвольным интервалам времени и составным частям АФАР как в системах реального времени, так и в реляционных БД недостаточна; задержки при оперативном визуальном анализе данных достигают 10 с и более.

В данной статье для решения проблемы оперативности, удобства, результативности обработки данных контроля крупноапертурных АФАР предлагается использовать современную информационную технологию многомерных кубов данных [1]. Другое название этой технологии – *OnLine Analytical Processing (OLAP)*. Более 20 лет она эффективно применяется для оперативного анализа и принятия решений при наличии очень больших объемов данных в бизнес-приложениях. Именно ограничения классических реляционных СУБД в части оперативного анализа больших объемов данных и послужили главной причиной появления технологии *OLAP*.

Приведено краткое описание разработанного стенда контроля АФАР с использованием *OLAP*, который в течение многих лет применяется для пусконаладки и технологического обслуживания крупноапертурных АФАР. Далее более подробно представлены структура многомерного куба данных, примеры анализа параметров АФАР, перспективы использования *OLAP* не только для контроля АФАР при пусконаладке и технологическом обслуживании, но и в целом для контроля РЛС при ее эксплуатации.

Аппаратное и программное обеспечение автоматизированного стенда контроля АФАР

Блок-схема стенда приведена на рис. 1. В его состав входят следующие основные аппаратные и программные средства:

- персональный компьютер в качестве управляющего (*Windows, Intel Core i7-7700K, 16 ГБ ОЗУ*);
- сервер базы данных (*Windows, Intel Xeon E5-2650, 64 ГБ ОЗУ*);
- автоматизированные рабочие места пользователей (*Windows, Intel Core i3-3770, 16 ГБ ОЗУ*);

Рис. 1. Блок-схема автоматизированного стенда контроля АФАР

- локальная вычислительная сеть (ЛВС) стенда (*Gigabit Ethernet*);
- высокоскоростной контроллер *NI cRIO* без измерительных модулей;
- прикладное ПО управляющего компьютера;
- прикладное ПО сервера БД;
- прикладное ПО автоматизированного рабочего места (АРМ) пользователя.

Особенностью контролируемых АФАР является наличие встроенного тракта пилот-сигнала (ПС), к которому может подключаться каждый приемный или передающий канал для контроля работоспособности этого канала, измерения его параметров, диагностики оборудования АФАР и калибровки. Измерение параметров приемного канала при подаче на него ПС выполняется с помощью аналого-цифрового преобразователя самого канала или подрешетки, в состав которой входит данный канал. Измерение параметров передающего канала при подключении его к тракту ПС выполняется с использованием входящего в состав АФАР контрольного приемника, который также подключен к этому тракту. Наличие внутренней вычислительной сети обеспечивает технологический доступ к вычислительным блокам АФАР по высокоскоростному стандартному интерфейсу. Контроллер *NI cRIO* служит для синхронизации АФАР и управляющего компьютера. Внешние средства измерений – координатограф и измерительный зонд (не показаны на рис. 1) – используются только на этапе заводской настройки.

Прикладное ПО управляющего компьютера предназначено для управления измерени-

ем всех параметров приемных и передающих каналов АФАР по пилот-сигналу с использованием штатного оборудования АФАР. Посредством него осуществляется оперативный функциональный контроль всех каналов и блоков АФАР, выравнивание фазового распределения на прием и на передачу в раскрыве АФАР. В нем происходит вычисление диаграммы направленности АФАР по измерениям в раскрыве, а также энергопотенциала АФАР. Кроме того, с его помощью отображаются результаты контроля, массивы проверяемых параметров АФАР передаются на сервер БД.

Прикладное ПО, установленное на сервере БД, предназначено для приема от управляющего компьютера и сохранения измеренных параметров АФАР, обработки принятых данных. В числе его функций:

- ведение долговременного архива данных;
- агрегирование данных, вычисление статистических показателей;
- диагностика отказов АФАР;
- формирование отчетов и протоколов испытаний.

АРМ пользователей подключены к серверу БД и используются для отображения информации о параметрах АФАР, визуального анализа данных, а также конфигурирования, отображения и печати отчетов и протоколов испытаний.

ПО управляющего компьютера стенда реализовано в среде графического программирования *National Instruments LabView* – широко известной и распространенной системы автоматизации измерений во многих отраслях техники, в том числе в области радиолокации и телекоммуникаций.

Сервер БД на рис. 1 включает серверы хранилища данных (ХД) и многомерных кубов данных. Сервер ХД выполнен на основе реляционной системы управления базами данных (СУБД) *Microsoft SQL Server*, принимает и сохраняет оперативные данные от управляющего компьютера. С его помощью можно выполнить ряд промежуточных действий для вычисления параметров АФАР и передать данные на сервер многомерных кубов данных.

Принципиальным вопросом здесь является способ передачи данных от *LabView* к

серверу ХД. Штатный инструмент *LabView* для записи данных в БД на основе реляционной СУБД – программный пакет *LabView Database Connectivity* – не предоставляет средств массовой загрузки данных и на практике оказался чрезвычайно медленным и неудобным.

В распоряжении разработчика есть только операция вставки строки в таблицу, вызов хранимой процедуры, составление текста команды *SQL* и ее исполнение. Вследствие этого в процессе создания автоматизированного стенда контроля АФАР был разработан высокоскоростной универсальный интерфейс *LabView/ХД*, при этом были использованы формат данных *XML* и скрипты для разбора *XML*-документов и преобразования в целевые структуры ХД. В результате скорость загрузки данных в ХД увеличилась более чем в 5 раз.

Сервер многомерных кубов данных реализован на основе *Microsoft Analysis Services* (аналитическая служба СУБД *MS SQL Server*). Он вычисляет и агрегирует параметры АФАР, представляет их в виде, необходимом для формирования отчетов и анализа. Пользователь при работе с БД «видит» на своем АРМ данные так, как они представлены на сервере многомерных кубов.

Многомерные кубы данных

Далее основное внимание уделено технологии многомерных кубов данных (или *OLAP*), поскольку это сравнительно новая информационная технология в практике автоматизированных средств контроля АФАР.

Многомерные кубы данных – это специальным образом организованная информационная среда, в которой доступ к данным осуществляется указанием определенных значений или их интервалов на координатных осях определенного многомерного пространства. На этих координатных осях могут быть заданы различные многоуровневые иерархии.

Данная технология обладает рядом существенных особенностей при ее использовании для контроля АФАР.

Во-первых, скорость выполнения запросов к данным значительно выше, чем при использовании традиционных реляционных баз данных. Основная масса запросов связана с обращением к массивам данных и их агреги-

рованием, т. е. вычислением сумм, средних, СКО, значений максимум/минимум. Это особенно актуально для крупноапертурных АФАР, где размеры агрегируемых массивов могут составлять от сотен тысяч до десятков миллионов только за сутки.

Во-вторых, с помощью *OLAP* конечный пользователь, не являющийся программистом, может создавать произвольный запрос к данным при условии, что он знает предметную область. Многомерный куб данных в отличие от множества таблиц в реляционных БД имеет довольно простую структуру. При его использовании вместе с развитыми программными средствами на АРМ пользователя появляется возможность создавать произвольный отчет за несколько минут с помощью компьютерной мыши.

Несмотря на высокое быстродействие сервера многомерных кубов данных выполнять все вычисления только на одном уровне *OLAP* многоуровневой вычислительной системы (*LabView* + реляционный сервер + сервер *OLAP*) не совсем верно. Максимальной производительности можно достичь при оптимизации распределения вычислений по уровням многоуровневой системы. В результате удалось обеспечить задержку обновления экрана при вычислении заново «на лету» произвольных отчетов не более 1 с (при параметрах компьютеров, указанных выше при описании блок-схемы стенда на рис. 1).

В-третьих, при использовании *OLAP* обеспечивается высокая скорость обработки больших массивов данных, и это важно не только для формирования отчетов для пользователей, но и для программных приложений, манипулирующих множеством больших массивов. Одним из таких приложений является диагностика состояния СВЧ-трактов АФАР – зондирующих импульсов, сигналов гетеродина и т. п.

Составляющие этих трактов (СВЧ-делители и коаксиальные фидеры) не имеют встроенных средств для контроля целостности трактов, поэтому главным способом диагностики отказов здесь является контроль прохождения сигналов через определенную часть СВЧ-тракта до массивов приемопередающих каналов, сигнал на которые поступает через эту часть, например, делителя подрешетки или делителя

полустроки. При таком способе диагностики происходит формирование, агрегирование и сопоставление множества больших массивов данных, поэтому его реализация в автоматизированном стенде контроля АФАР на основе технологии *OLAP* обеспечила необходимое быстродействие.

На сервере многомерных кубов данных для представления и доступа к данным по параметрам АФАР используются три основные координатные оси: время, частота, структура АФАР.

Ось времени включает три иерархических уровня (сверху вниз): сутки, тип теста, начало теста. В данном случае тест – это однократный контроль или измерение определенной группы параметров АФАР в рамках заданного типа теста и данных суток.

Ось частот АФАР включает четыре члена: три точки рабочего диапазона частот НЧ, ЦЧ, КЧ (нижняя, центральная и конечная) для частотно-зависимых параметров АФАР и член «–» для частотно-независимых параметров.

Фрагменты двух иерархий оси структуры АФАР, используемых при построении отчетов, приведены на рис. 2. Иерархия по строкам (см. рис. 2, а) отражает деление прямоугольной АФАР по вертикали на верхнюю и нижнюю половины, строки подрешеток, строки приемопередающих и приемных модулей (ППМ/ПМ) в составе подрешеток, наличие приемных и передающих каналов в составе ППМ/ПМ, параметры каналов. Она раскрыта до конца по дереву: нижняя половина > строка подрешеток 9 > строка ППМ/ПМ 2 > приемные и передающие каналы > параметры.

Иерархия по столбцам (см. рис. 2, б) отражает деление прямоугольной АФАР по горизонтали на левую и правую половины, столбцы подрешеток, наличие в составе каждой подрешетки каналов с двумя поляризациями, номера каналов в составе каждой поляризации. Она раскрыта до конца по дереву: левая половина > столбец подрешеток 3 > поляризация > каналы.

Пересечения членов этих двух иерархий с максимальной гранулярностью (параметр канала) и членов с максимальной гранулярностью осей времени и частоты (тест, частота) определяют элементарные ячейки многомер-

Рис. 2. Фрагменты иерархий оси структуры АФАР сервера многомерных кубов данных

установки фазы, погрешности установки аттенюаторов и т. д.);

- техническое состояние столбца АФАР (сумма по ИЛИ интегральных сигналов ТС всех приемных и передающих каналов данного столбца).

Информационной средой для пользователя на АРМ стенда служит программный пакет *Excel*. Основным инструментом для доступа к данным, конфигурирования отчетов и свободного анализа данных с сервера многомерных кубов данных является стандартное средство программного пакета *Excel* – «Сводная таблица».

В качестве шаблона отчета для отображения параметров приняты прямоугольная геометрия и иерархическая структура самой решетки, для чего и используются иерархии на рис. 2. При визуальном анализе это позволяет при необходимости сразу определить позицию (позиции) проблемной составной части АФАР, быстро оценить состояние АФАР по определенному параметру, увеличить или уменьшить детализацию представления состояния решетки от детального поканального представления до АФАР в целом в виде одного квадрата на экране. При этом изменение степени детализации представления состояния АФАР не требует перехода в другое окно, как это обычно принято в стандартных графических интерфейсах. В качестве примера на рис. 3 представлены отчеты о тестах с разной степенью детализации СКО выровненного фазового распре-

ного куба (в данном случае, трехмерного куба). В ячейки помещаются результаты контроля параметров АФАР – измеренные значения параметров и однобитовые (0 – «норма», 1 – «отказ») значения после сравнения измеренных параметров с установленными порогами, т. е. результаты функционального и диагностического контроля технического состояния (ТС) составных частей (СЧ) АФАР. При запросе параметров группы элементарных ячеек, входящих в состав определенной СЧ АФАР, на сервере многомерных кубов данных автоматически выполняется их агрегация.

Примеры запросов к многомерному кубу данных АФАР с агрегацией параметров:

- суммарная мощность зондирующих импульсов (ЗИ) по каждой строке решетки;
- позиция в решетке и серийный номер ППМ с минимальной суммарной мощностью ЗИ;
- средняя фаза приемных каналов по всей решетке;
- СКО фазы передающих каналов по верхней и нижней половинам АФАР;
- техническое состояние приемного канала (сумма по ИЛИ сигналов ТС по отдельным параметрам технического состояния канала – коэффициента усиления канала, погрешности

ления составных частей АФАР на прием на центральной частоте.

На рис. 3, а представлено СКО фазового распределения по АФАР в целом – степень агрегации фазы по структуре АФАР максимальна. Как правило, представляет интерес и качество выравнивания фазового распределения для составных частей АФАР. Для детализации необходимо раскрывать структуру решетки по горизонтали и вертикали с использованием элементов управления + на раскрываемых уровнях иерархии решетки.

На рис. 3, б приведен результат раскрытия решетки на один уровень иерархии по горизонтали (на левую и правую половины) и вертикали (на верхнюю и нижнюю половины), после этого СКО фазового распределения АФАР детализировано до ее четвертей. Правая нижняя четверть раскрывается далее до уровней строк и столбцов (см. рис. 3, в), левая и верхняя половины остаются в прежнем состоянии, т. е. нераскрытыми. На пересечении строк и столбцов АФАР находятся подрешетки, поэтому данный отчет представляет СКО фазового распределения по подрешеткам раскрытой четверти АФАР. Для дальнейшего визуального анализа строки подрешеток 8 и 10 детализируются до уровня ППМ/ПМ, а столбец 11 – до уровня поляризации (см. рис. 3, г). Для ППМ/ПМ на пересечении строк 8 и 10 со столбцом 11 достигнута предельная степень детализации. Минимальная совокупность каналов, для которых имеет смысл параметр СКО фазы, – это четыре канала одного ППМ/ПМ одной поляризации.

Отображение битовых параметров – результатов функционального контроля и диагностики – проводится на таком же шаблоне АФАР с различной степенью детализации. Отличие состоит в том, что для экономии площади отчета и повышения скорости визуального анализа раскрытых до определенного уровня отчетов показываются только те горизонтальные и вертикальные области решетки, которые содержат составные части АФАР в состоянии «отказ». На этих СЧ АФАР также отображается количество приемных и/или передающих каналов в составе этих СЧ, находящихся в состоянии «отказ».

На рис. 4 приведены результаты функционального контроля каналов АФАР, в которой смоделированы неисправности приемных каналов путем снижения их коэффициентов усиления за минимально допустимый предел.

Из отчета на рис. 4, а следует, что неисправные каналы есть в верхней левой четверти АФАР в количестве 96 шт., в верхней правой четверти АФАР в количестве 24 шт. и в нижней левой четверти АФАР в количестве 32 шт. При детализации верхней левой и правой четвертей АФАР до подрешеток (рис. 4, б) обнаружены отказы в подрешетках на пересечении строки 4 и столбца 2, строки 6 и столбца 4, строки 3 и столбца 8, строки 2 и столбца 10, строки 1 и столбца 12. В продолжении детализации строки подрешеток 1 до уровня ППМ/ПМ и столбца 12 до уровня поляризации и каналов (рис. 4, в) были замечены отказы в ППМ/ПМ4, тип отказавших каналов «Прием», вид отказа «Коэффициент усиления по ПС».

Перспективы развития ПО контроля АФАР

Использование сервера базы данных актуально не только для технологических стендов контроля АФАР, но и для РЛС в целом, в том числе при эксплуатации по назначению. Современная РЛС имеет, конечно, средства сохранения параметров и результатов работы станции. Однако типичная ситуация такова, что все сводится к элементарной фиксации событий. Эти средства представляют собой простейшие текстовые лог-файлы (журналы событий). При этом у каждой крупной подсистемы станции свои собственные лог-файлы со своими форматами, разнесенные пространственно.

Намного больше пользы можно извлечь из сохраняемых данных, если параметры и результаты работы основных подсистем РЛС (АФАР, устройств первичной и вторичной обработки, центра планирования работы станции, подсистем позиционирования, свертывания/развертывания АФАР, охлаждения, электропитания) передавать в единый для станции сервер БД. При этом возникает стандартная архитектура: ряд первичных источников данных (в данном случае подсистемы РЛС) передают параметры и результаты своей работы на один сервер.

	A	B	C	D
1	СКО фазового распределения			
2	СЧ АФАР на прием, град			
3	Check Day		Session	
4	07.02.2019		08.02.19 09:12:08	
5	08.02.2019		08.02.19 09:19:50	
6				
7	СКО фазы Slctd			АФАР
8	Сеанс тестирования	Код частоты	АФАР	АФАР
9	08.02.19 09:19:50	ЦЧ	АФАР	2,1

а

	A	B	C	D	E	F
1	СКО фазового распределения					
2	СЧ АФАР на прием, град					
3	Check Day		Session			
4	07.02.2019		08.02.19 09:12:08			
5	08.02.2019		08.02.19 09:19:50			
6	СКО фазы Slctd					АФАР
7						Правая/лев
8						АФАР
9	Сеанс тестирования	Кд	АФАР	Верхняя/ни:	левая	правая
10	08.02.19 09:19:50	ЦЧ	АФАР	верхняя	2,3	2,0
11				нижняя	2,1	2,1

б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	СКО фазового распределения													
2	СЧ АФАР на прием, град													
3														
4	Check Day		Session											
5	07.02.2019		08.02.19 09:12:08											
6	08.02.2019		08.02.19 09:19:50											
7	СКО фазы Slctd					АФАР Правая/л Столбец г								
8						АФАР								
9						левая правая								
10	Сеанс тестирования	Кд	АФАР	Верхняя/ни: Строка под		Стлб. 9 Стлб. 10 Стлб. 11 Стлб. 12 Стлб. 13 Стлб. 14 Стлб. 15 Стлб. 16								
11	08.02.19 09:19:50	ЦЧ	АФАР	верхняя		2,3	2,0	2,2	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0	1,9
12				нижняя	Стр. 7	2,3	1,8	1,7	1,9	1,7	1,9	1,8	2,1	1,6
13					Стр. 8	2,1	1,4	2,3	2,3	2,0	2,1	1,7	2,3	2,1
14					Стр. 9	2,1	2,2	2,0	1,8	2,3	2,2	1,9	2,0	2,1
15					Стр. 10	2,0	1,5	2,3	1,8	2,5	1,8	1,8	2,0	1,8
16					Стр. 11	2,2	2,3	2,0	2,3	1,8	2,5	2,1	1,5	3,0
17					Стр. 12	2,1	1,6	2,1	1,7	2,3	1,3	2,0	2,3	1,6

в

	A	B	D	E	F	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	СКО фазового распределения														
2	СЧ АФАР на прием, град														
3	Check Day		Session												
4	07.02.2019		08.02.19 09:12:08												
5	08.02.2019		08.02.19 09:19:50												
6															
7	СКО фазы Slctd														
8	АФАР ▾ Правая/ле Столбец пс Поляризация														
9	▾ АФАР														
10	⊕ левая ▾ правая														
11	⊕ Стлб. 9 ▾ Стлб. 10 ▾ Стлб. 11														
12	⊕ Стлб. 12 ▾ Стлб. 13 ▾ Стлб. 14 ▾ Стлб. 15 ▾ Стлб. 16														
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															
61															
62															
63															
64															
65															
66															
67															
68															
69															
70															
71															
72															
73															
74															
75															
76															
77															
78															
79															
80															
81															
82															
83															
84															
85															
86															
87															
88															
89															
90															
91															
92															
93															
94															
95															
96															
97															
98															
99															
100															

г

Рис. 3. Отчеты с разной степенью детализации о СКО фазового распределения составных частей АФАР на прием

Рис. 4. Отчеты с разной степенью детализации о техническом состоянии каналов АФАР

Возможны разные исполнения сервера. На этапе пуска наладки, опытной эксплуатации или технологического обслуживания это может быть внешний по отношению к станции компьютер, подключаемый к ней через локальную вычислительную сеть, а на этапе регулярной эксплуатации – встроенный в изделие компьютер или удаленный компьютер, подключаемый к станции через защищенный высокоскоростной канал связи. Наличие в составе сервера БД уровня *OLAP* дает следующие возможности:

- оперативный доступ к текущим и архивным данным всей станции пользователям и программам обработки;
- высокоскоростная ретроспективная обработка больших массивов данных;
- анализ влияния параметров отдельных подсистем на конечные радиолокационные параметры станции;
- поиск и нахождение скрытых закономерностей в данных с использованием современных технологий исследования данных типа

data mining, где решающую роль играет способность сервера *OLAP* перерабатывать очень большие массивы за приемлемое время.

В качестве примера выделим небольшое количество возникающих при этом более конкретных постановок задач, которые направлены на повышение и поддержание технических характеристик РЛС в течение всего ее жизненного цикла:

- анализ поведения СКО фазового распределения АФАР на больших временных интервалах;
- анализ влияния качества электропитания станции на состав и мощность паразитных дискретных составляющих в спектре излучаемого и принимаемого сигналов;
- анализ влияния точности позиционирования и развертывания АФАР на точность угловых измерений;
- накопление статистики по вероятности обнаружения цели и точности измерения ее координат на больших интервалах времени и при разных условиях работы станции, обработка длинных временных рядов;

- анализ влияния разброса параметров каналов АФАР на глубину подавления активных помех;

- раннее распознавание и предупреждение развивающихся на станции аварийных ситуаций, прогнозирование работоспособности станции;

- ведение истории и результатов ремонтов и технологического обслуживания станции;

- консолидация истории эксплуатации экземпляров серийных изделий.

В настоящее время программное обеспечение серверов *OLAP* – это в основном западные коммерческие продукты. Но существуют и другие варианты их реализации. Например,

на основе недавно разработанного отечественного ПО Полиматика или серверов *OLAP* с открытым исходным кодом *Apache Kylin* или *Mondrian OLAP server*. Однако для этого требуется значительная доработка до конкретных приложений. Исполнение при необходимости сервера хранилища данных возможно также на открытой платформе *PostgreSQL*.

Список литературы

1. Многомерные базы данных // Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана. Bauman National Library. 2019. URL: https://ru.bmstu.wiki/Многомерные_базы_данных (дата обращения: 05.11.2019).

Поступила 06.11.19

Аминев Азат Махматович – кандидат технических наук, ведущий специалист отдела радиолокационной аппаратуры ООО «Алмаз-Антей Телекоммуникации», г. Москва.

Область научных интересов: автоматизированные системы измерений параметров радиолокационных систем.

Гилев Алексей Вячеславович – кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории СВЧ-техники ООО «Алмаз-Антей Телекоммуникации», г. Москва.

Область научных интересов: базы данных систем реального времени.

Гришин Дмитрий Юрьевич – начальник сектора отдела измерений параметров антенных систем АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: программное обеспечение систем реального времени.

Зайцев Владимир Егорович – кандидат технических наук, генеральный директор АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: радиолокация, фазированные антенные решетки.

Сергеев Владимир Николаевич – кандидат технических наук, директор по научно-техническому развитию АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: СВЧ-техника, антенны.

Automated active phased array control stand software

The study suggests using a software platform for multidimensional data cubes in automated active phased array control stands. The application of the platform greatly facilitates and accelerates the display and analysis of very large volumes of data coming from large-aperture active phased arrays during the measurement process, so that the end user can make spontaneous data requests. The study shows the prospects of using this platform for radar systems as a whole.

Keywords: software, active phased array, diagnostic control, process maintenance, database management system.

Aminev Azat Makhmutovich – Candidate of Engineering Sciences, Leading Specialist, Department of Radar Equipment, Almaz-Antey Telecommunications, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: automated systems for measuring parameters of radar systems.

Gilev Aleksey Vyacheslavovich – Candidate of Engineering Sciences, Leading Engineer, Laboratory of Microwave Technology, Almaz-Antey Telecommunications, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: real time database systems.

Grishin Dmitriy Yurievich – Head of the Sector, Department of Antenna System Parameters Measurement, All-Russian Scientific Research Institute of Radio Engineering, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: real-time database system software.

Zaytsev Vladimir Egorovich – Candidate of Engineering Sciences, Director General, All-Russian Scientific Research Institute of Radio Engineering, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: radar, phased arrays.

Sergeev Vladimir Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Director of Scientific and Technical Development, All-Russian Scientific Research Institute of Radio Engineering, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: microwave technology, antennas.