

3-бөлім

Раздел 3

Section 3

Информатика

Информатика

Computer  
Science

MPHTI 89.29.65; 47.49.31

DOI: <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2020.v106.i2.07>

М.М. Молдабеков<sup>1\*</sup>, Д.И. Еремин<sup>1</sup>, Д.Г. Жаксыгулова<sup>1,2</sup>,  
С. Трепашко<sup>1</sup>, Р.А. Калиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ДТОО "Институт космической техники и технологий", г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: m.moldabekov@mail.ru

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ РЕФЕРЕНЦНЫХ GNSS СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время наблюдается повсеместное активное применение глобальных навигационных спутниковых систем для определения местоположения различных объектов с метровой точностью. Однако известен ряд отраслей, требующих высокую точность навигации: геодезия, картография, строительство, архитектура, прецизионное земледелие, управление беспилотными летательными аппаратами. В целях повышения точности навигационных определений применяется дифференциальный режим определений. Для реализации дифференциального режима необходима сетевая инфраструктура референчных GNSS станций и программное обеспечение, способное выполнять как сбор, хранение и отображение данных, так и расчет дифференциальных поправок. На территории Казахстана существует система референчных GNSS станций, реализующая свои функции на оборудовании и программном обеспечении компании Leica Geosystems AG, которая наряду с компанией Trimble Navigation занимают основную долю рынка спутникового навигационного оборудования и соответствующего программного обеспечения. Однако в целях обеспечения внешней независимости в сфере высокоточной навигации актуальной является задача создания отечественной системы управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций, в частности, разработка программного обеспечения. В связи с этим, настоящая работа посвящена разработке специализированного программного обеспечения системы управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций с использованием облачных технологий.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, сеть референчных станций, навигационная система, система управления, GNSS станции.

М.М. Молдабеков<sup>1\*</sup>, Д.И. Еремин<sup>1</sup>, Д.Г. Жаксыгулова<sup>1,2</sup>, С. Трепашко<sup>1</sup>, Р.А. Калиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>"Ғарыштық техника және технологиялар институты" ЕЖШС, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: m.moldabekov@mail.ru

**Бүлттық технологияларды пайдалана отырып, референцті GNSS станциялардың желілік инфрақұрылымдарды басқарудың жүйесінің бағдарламалық жасақтамасы**

Қазіргі уақытта ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер әртүрлі нысандардың орналасқан жерін анықтау үшін метрлік дәлдікте кеңінен қолданылады. Алайда навигациялық дәлдікті қажет ететін бірқатар салалар бар, геодезия, картография, құрылыс, сәулет, прецизиялық егін шаруашылығы, ұшқышсыз автоматты түрде басқарылатын ұшақтар. Навигациялық анықтамалардың дәлдігін арттыру үшін анықтамалардың диффе-

ренциалды режимі қолданылады. Дифференциалды режимді іске асыру үшін деректерді жинауға, сақтауға және көрсетуге, сондай-ақ дифференциалды түзетулерді есептеуге қабілетті GNSS референцті станциялардың желілік инфрақұрылымы және бағдарламалық жасақтамасы қажет. Қазақстанда Trimble Navigation-мен қатар спутниктік навигациялық жабдықтың және соған сәйкес бағдарламалық жасақтаманың негізгі үлесін алатын Leica Geosystems AG жабдықтары мен бағдарламалық жасақтамаларында өз функцияларын жүзеге асыратын GNSS референцті станциялар жүйесі бар. Бірақ жоғары дәлдіктегі навигация саласында сыртқы тәуелсіздікті қамтамасыз ету мақсатында отандық GNSS референцті станциялардың желілік инфрақұрылымын басқару жүйесін құру, атап айтқанда бағдарламалық жасақтаманы құру өзекті тапсырма болып табылады. Осыған байланысты бұл жұмыс бұлттық технологияларды пайдалана отырып, референцті GNSS станциялардың желілік инфрақұрылымдарын басқару жүйесіне арналған арнайы бағдарламалық жасақтаманы жасауға арналған.

**Түйін сөздер:** бағдарламалық жасақтама, референцті станциялар жүйесі, навигация жүйесі, басқару жүйесі, GNSS станциялар.

M.M. Moldabekov<sup>1\*</sup>, D.I. Yeryomin<sup>1</sup>, D.G. Zhaxygulova<sup>1,2</sup>, S. Trepashko<sup>1</sup>, R.A. Kaliyeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AALR "Institute of space technique and technology", Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: m.moldabekov@mail.ru

### **Software system for managing the network infrastructure of reference GNSS stations using cloud technologies**

Nowadays, global navigation satellite systems are widely used to determine the location of various objects with an accuracy of meters. However, there are a number of industries that require high navigation accuracy, for example, for a satellite geodetic network, which is a coordinate-time basis. In order to improve the accuracy of navigation definitions, a differential mode of definitions is used. To implement the differential mode, the network infrastructure of GNSS reference stations and software, capable of both collecting, storing and displaying data, and calculating differential corrections, are required. In Kazakhstan, there is a system of reference GNSS stations that implements its functions on the equipment and software of Leica Geosystems AG, which, along with Trimble Navigation, occupy the main market share of satellite navigation equipment and related software. However, in order to ensure external independence in the field of high-precision navigation, the urgent task is to create a domestic system for managing the network infrastructure of GNSS reference stations, in particular, software development. In this regard, the present work is devoted to the development of specialized software for a system for managing the network infrastructure of reference GNSS stations using cloud technologies.

**Key words:** software, network of reference stations, navigation system, management system, GNSS stations.

## **1 Введение**

Преимущества спутниковой навигации, такие как глобальный охват территории Земли, высокая оперативность местоопределения в реальном времени, приемлемая (метровая) точность автономных измерений и высокая (сантиметровая, миллиметровая) точность фазовых относительных измерений координат реализованы с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS и ГЛОНАСС и функциональных дополнений ГНСС. Исторически первые две ГНСС GPS и ГЛОНАСС, разработанные для военных целей нашли широкое применение во многих отраслях экономики и для персональной навигации. Широкое использование спутниковой навигации привело к разворачиванию новых глобальных Galileo (Европейский союз), Beidou (Китай) и региональных (QZSS, IRNSS) спутниковых навигационных систем, а также наземных и

спутниковых функциональных дополнений ГНСС. В частности, ГНСС способствовали созданию опорных спутниковых геодезических сетей ГНСС станций.

Спутниковая геодезическая координатная основа и высокоточная спутниковая навигация с погрешностью единицы сантиметров и миллиметров реализуется с применением функциональных дополнений ГНСС в виде сети референчных ГНСС станций и метода дифференциальной коррекции. В настоящее время сети референчных ГНСС станций развернуты во всех развитых и развивающихся странах мира. Существенную долю мирового рынка спутникового навигационного оборудования, специализированного и программно-математического обеспечения (СПО и ПМО) занимают компании Trimble Navigation (США) [1] и Leica Geosystems AG [2] (корпорация Hexagon Geospatial, Швейцария), меньшую долю рынка обеспечивают компании Topcon-Sokkia [3] и Javad [4]. Также среди стран, разрабатывающих и производящих собственное оборудование, СПО и ПМО для спутниковой навигации можно выделить две страны – Россию и Китай, которые развивают собственные космические группировки ГЛОНАСС и Beidou, соответственно. Таким образом, практически все сети референчных ГНСС станций в мире оснащены оборудованием и программным обеспечением СПО и ПМО мировых монополистов ГНСС отрасли и всецело от них зависимы. В частности, система высокоточной спутниковой навигации Республики Казахстан реализована на оборудовании и ПМО компании Leica Geosystems AG. Такая вынужденная зависимость от зарубежных поставщиков допустима для гражданских применений, но категорически неприемлема в сфере обороны и национальной безопасности. Также неприемлема внешняя зависимость государственной спутниковой геодезической сети, которая обеспечивает национальную координатно-временную основу для всех отраслей экономики. В связи с этим, актуальной задачей является разработка отечественной программной системы управления сетью референчных ГНСС станций.

Цель данной работы – разработка специализированного программного обеспечения системы управления сетью референчных GNSS станций с использованием облачных технологий.

## 2 Обзор литературы

Автоматизированные системы управления сетью референчных GNSS станций предназначены для выполнения функций контроля состояния и управления режимами работы сети референчных GNSS станций, информационных функций (сбор и обработку данных, предоставление информации пользователям) и вспомогательных функций (контроль целостности, хранение и резервное копирование данных, очистка устаревших данных, регистрация и контроль доступа пользователей и потребителей).

В настоящее время множество работ посвящается вопросам разработки и совершенствования системы управления сетью референчных GNSS станций. Основным результатом современных решений в области спутниковой навигации является достижение высокоточного позиционирования, которое является критически важным в сфере геодезии и строительства [5, 6]. Например, в работе [7] сеть референчных GNSS станций используется при разработке спутниковой геодезической сети с субмиллиметровой точностью позиционирования, а в работе [8] поставлен эксперимент по ее применению с целью мониторинга 64-этажного небоскреба в Чили. Разработке

сети референчных GNSS станций также посвящена работа [9], где показана особая важность высокоточной геодезической сети в области железнодорожной инфраструктуры. Кроме того, сеть референчных GNSS станций также интересна с точки зрения позиционирования автомобиля [10]. Активно ведутся работы в направлении высокоточного позиционирования с применением дешевого оборудования в условиях плотно населенного города [11]. В работе [12] предлагается использовать систему управления сетью референчных GNSS станций в области горнодобывающей промышленности для мониторинга оседания рудника большой площади в шахте. Области применения сети базовых станций GNSS настолько разнообразны, что встречаются работы, в которых сеть референчных GNSS станций используется с целью наблюдения высокочастотного смещения океанической приливной нагрузки [13] и для отслеживания вибрации ледников [14]. Таким образом, можно сделать вывод, что разработка системы управления сетью референчных GNSS станций с использованием облачных технологий является актуальной задачей и сама система найдет широкое применение в различных сферах деятельности человека.

Основными компонентами системы управления сетью референчных GNSS станций с использованием облачных технологий являются (далее – Система) [15]:

- сеть референчных ГНСС станций;
- облачная вычислительная система (или центр обработки данных);
- программная система управления сетью ГНСС станций (СПО и ПМО);
- центр управления Системой;
- подсистема передачи данных (каналы связи).

Таким образом, сеть референчных ГНСС станций состоит из совокупности территориально разнесенных ГНСС станций, подключенных к облачной вычислительной системе (или центру обработки данных) посредством каналов связи [16, 17].

Референчная ГНСС станция обеспечивает поиск, прием и регистрацию сигналов ГНСС ГЛОНАСС, GPS на частотах L1, L2 с заданным периодом, конвертирует навигационные данные в унифицированные форматы, измеряет параметры внешней среды (метеорологические данные) и параметры телеметрии о состоянии узлов ГНСС станции, сохраняет измеренные данные во встроенной памяти и передает в облачную вычислительную систему по защищенному каналу связи в режиме реального времени с заданным периодом [18].

Вычислительная система выполняет алгоритмы прикладного программного обеспечения СПО и ПМО, и реализует функции сбора, хранения, обработки и отображения данных, осуществляет операции приема-передачи данных через сетевые интерфейсы. В качестве облачной вычислительной системы используются услуги облачной вычислительной платформы PaaS [19] с возможностью выполнения собственного прикладного программного обеспечения СПО и ПМО, и изменения объема потребляемых облачных ресурсов.

Программное обеспечение системы управления сетью референчных GNSS станций управляет процессом выполнения функций Системы. СПО управляет операциями сбора, контроля целостности данных, контроля телеметрии, архивации и выгрузки данных, отображения данных, управляет режимами работы ГНСС станций, осуществляет контроль доступа пользователей и биллинг оказываемых услуг. ПМО управляет

процессом вычисления навигационных решений по встроенным алгоритмам расчета в подсистеме вычисления навигационных решений.

Центр управления Системой, содержащий унифицированные автоматизированные рабочие места (АРМ) персонала, осуществляет контроль состояния и управление режимами работы сети ГНСС станций и облачной вычислительной системы путем установки (изменения) настроечных параметров СПО и ПМО, и выдачи команд управления на ГНСС станции и в облачную вычислительную систему.

Подсистема передачи данных обеспечивает информационный обмен и реализует следующие функции:

- передача входных данных от сети референчных ГНСС станций (включая ГНСС станции смежных систем) в облачную вычислительную систему;
- обмен данными между облачной вычислительной системой и центром управления Системой;
- установление защищенных соединений и обмен данными Системы с пользователями, внешними системами, и подключение к веб-ресурсам;
- подключение навигационной аппаратуры потребителей к Системе и обмен данными.

### 3 Материал и методы

Структуру СПО образуют 7 программных модулей:

- подсистема сбора данных;
- подсистема диагностики и контроля качества;
- подсистема хранения данных;
- подсистема выгрузки архивных данных;
- подсистема управления режимами работы ГНСС станций;
- подсистема визуализации данных;
- подсистема контроля доступа и биллинга.

Подсистема сбора данных осуществляет автоматический, непрерывный и параллельный во времени прием «сырых» навигационных, метеорологических данных и сигналов телеметрии от сети референчных ГНСС станций по выделенным каналам связи VPN. Подсистема сбора данных реализована в облачной вычислительной системе техническими средствами сетевого интерфейса (пограничный сетевой маршрутизатор, межсетевой экран) с жесткой адресацией по IP-адресам всех зарегистрированных ГНСС станций сети.

Подсистема диагностики и контроля качества содержит программные модули:

- модуль контроля целостности контролирует наличие потока обновляемых входных данных от сети ГНСС станций, выполняет проверку целостности входных данных;
- модуль контроля телеметрии проверяет сигналы телеметрии ГНСС станций и облачной вычислительной системы на соответствие установленным граничным значениям (интервалам), формирует аварийные сигналы при достижении граничных значений параметров телеметрии, принимает «готовые» аварийные сигналы от подсистем самодиагностики ГНСС станций и облачной вычислительной системы, регистрирует аварийные сигналы в реестре сбоев и отказов и отправляет в центр управления Системой на АРМ персонала.

Подсистема хранения данных (СХД) содержит программные модули и выполняет

следующие операции:

- модуль хранения входных данных архивирует входные данные от сети ГНСС станций, успешно прошедшие проверку целостности;
- модуль хранения выходных данных архивирует рассчитанные навигационные решения (выходные данные Системы);
- модуль хранения информации о сбоях и отказах архивирует все аварийные сигналы в Системе в реестре сбоев и отказов (ведет реестр сбоев и отказов);
- модуль хранения настроек СПО сохраняет текущие значения установочных параметров СПО в реестре настроек СПО, в частности: параметры режимов работы ГНСС станций, параметры передачи данных ГНСС станций, граничные значения параметров телеметрии ГНСС станций, граничные объемы и сроки хранения СХД и др.;
- модуль резервного копирования управляет процессом резервного копирования данных, обновляет и сохраняет резервную копию базы данных (БД) с заданным периодом, автоматически восстанавливает БД из резервной копии после сбоев и отказов в Системе.

Подсистема выгрузки архивных данных обеспечивает поиск навигационных, метеорологических и телеметрических данных в СХД по атрибутам (дата/время, номер/имя ГНСС станции) и выгрузку данных от одной или нескольких ГНСС станций за запрашиваемый период времени. Деление подсистемы выгрузки на модули не предусмотрено.

Подсистема управления режимами работы ГНСС станций выполняет удаленный контроль режимов работы ГНСС станций (по диагностическим сообщениям встроенных средств контроля), управление режимами работы, включение/отключение ГНСС станций или отдельных узлов, перезапуск встроенного ПО, выгрузку данных из встроенной памяти ГНСС станции по запросу СПО за запрашиваемый период времени и передачу их в Систему.

Подсистема визуализации данных обеспечивает отображение на АРМ персонала информации о конфигурации сети, режимов работы и параметров каждой ГНСС станции, отображение реестра сбоев и отказов, справочных и нормативно-технических документов.

Подсистема визуализации данных содержит следующие программные модули:

- модуль визуализации режимов работы ГНСС станций;
- модуль визуализации реестра сбоев, отказов, граничных режимов;
- модуль визуализации телеметрии;
- модуль визуализации справочного руководства.

Подсистема контроля доступа и биллинга осуществляет регистрацию и ведение реестра пользователей, контроль доступа к информации в Системе и разграничение полномочий по управлению Системой в соответствии с правом доступа. Контроль доступа к личному кабинету пользователя организован через процедуру авторизации. Подсистема контроля доступа и биллинга принимает и тарифицирует заявку пользователя, выставляет счет и контролирует оплату, выдает задание для ПМО (на расчет требуемых данных) и открывает доступ к услуге в течение заявленного периода времени или в объеме заявленных услуг.

Для разработки СПО используется предоставляемая платформой Microsoft Azure [20] среда разработки Microsoft Visual Studio 2017 (версия 15), программная платформа

исполнения приложений .NET Framework 4.6/4.7 и .NET Core 2.0 (аналог .NET Framework для Windows/Mac/Linux с открытым исходным кодом). Платформа .NET Framework базируется на общезыковой среде исполнения приложений CLR (Common Language Runtime), которая поддерживает несколько языков программирования, использующих эту среду. Microsoft Visual Studio оптимизирована для разработки кроссплатформенных приложений разных типов и языков программирования, включая веб-приложения и облачные приложения для Microsoft Azure. Среда разработки Microsoft Visual Studio предусматривает работу в автономном или сетевом режиме (в облаке Microsoft Azure).

Среда разработки Microsoft Visual Studio поддерживает следующие языки программирования: C#, Visual Basic .NET, JavaScript .NET, C++/CLI (Managed C++), F# (семейство ML), J#. Учитывая связку среды разработки Microsoft Visual Studio и программной платформы исполнения приложений Microsoft .NET Framework в облачной платформе Microsoft Azure, для разработки программного кода СПО выбран язык программирования C# 6.0/7.0.

Прикладная программа СПО загружается и исполняется в облачной вычислительной платформе Microsoft Azure с использованием сервиса PaaS «платформа как услуга». В ходе исполнения СПО исходный программный код компилируется в промежуточный язык CIL (Common Intermediate Language), который транслируется в машинный код и исполняется при помощи виртуальной машины CLR (Common Language Runtime) на программной платформе исполнения приложений Microsoft .NET Framework.

Провайдер сервиса PaaS обеспечивает исполнение прикладной программы СПО на виртуальных серверах облачной вычислительной платформы с абстрагированием от используемых технических средств и обеспечивает возможность выбора операционной системы. Приоритетная облачная платформа Microsoft Azure и альтернативная Amazon Web Services обеспечивают работу под управлением операционных систем Microsoft Windows Server, Linux, CentOS, Debian. Кроссплатформенность СПО реализуется путем выбора соответствующей программной среды исполнения приложений и дальнейшей трансляции (компиляции) исходного программного кода приложения с языка C# высокого уровня в машинный код. Учитывая привязку языка C# к программной платформе Microsoft Windows [21, 22], целесообразен выбор операционной системы Microsoft Windows Server и среды исполнения приложений Microsoft .NET Framework или Microsoft .NET Core [23].

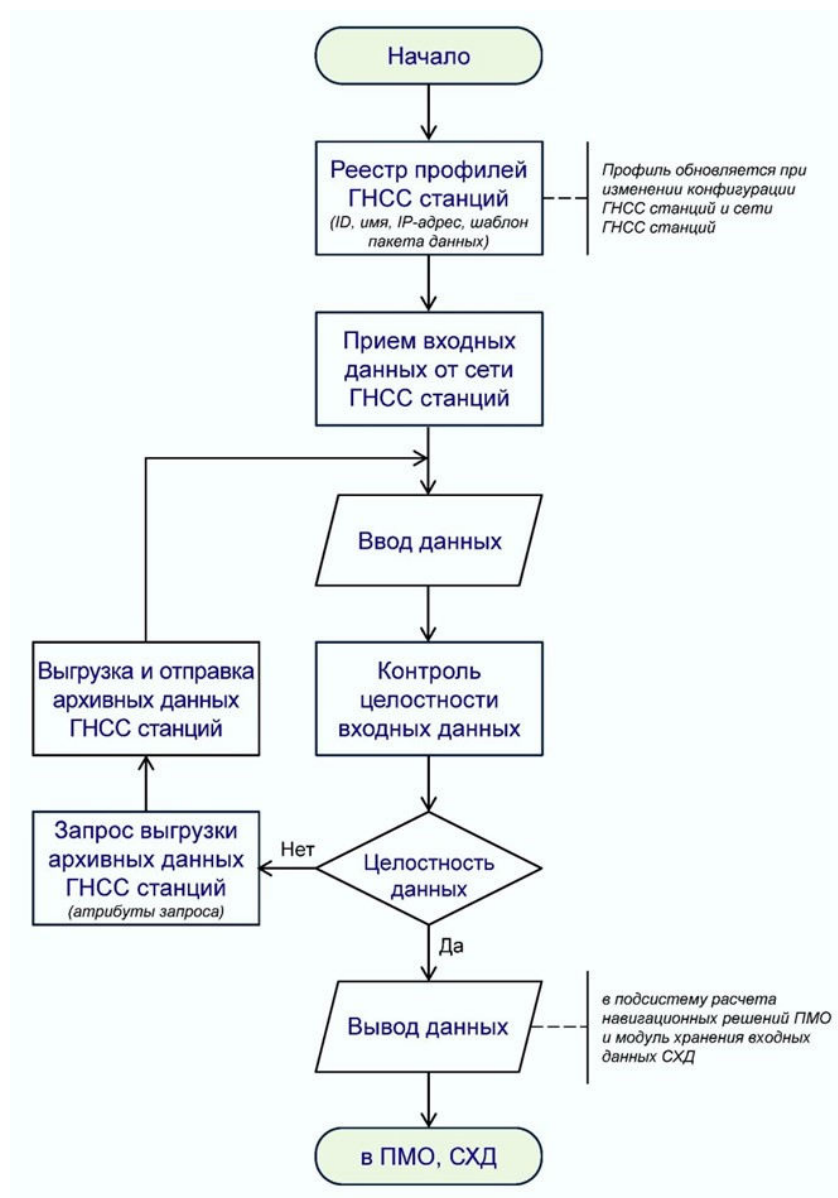
В каждом программном модуле СПО реализован механизм защиты исходного программного кода от повреждения, несанкционированного изменения кода и настроечных параметров путем контроля целостности исходного кода.

#### 4 Результаты и обсуждение

Разработанное СПО системы управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций с использованием облачных технологий для обеспечения функций реализует пять алгоритмов, которые рассмотрены ниже.

#### 4.1 Алгоритм сбора входных данных

Операции сбора входных данных от сети референчных ГНСС станций осуществляются автоматически и непрерывно, по мере поступления входных данных. Блок-схема алгоритма операций сбора входных данных от сети ГНСС станций представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Блок-схема алгоритма сбора входных данных от сети ГНСС станций

Для организации сбора входных данных от сети референчных ГНСС станций формируется реестр профилей всех подключенных к Системе референчных ГНСС станций. Профиль каждой ГНСС станции содержит идентификационные и статистические данные: ID-номер, буквенно-числовое имя станции, IP-адрес станции,



IP-адрес порта облачной платформы (к которому станция подключается), координаты местоположения, регион (город) размещения, тип ГНСС антенны, тип ГНСС приемника, версия встроенного программного обеспечения (определяет характеристики ГНСС приемника), типы узлов (датчиков), которые выдают сигналы телеметрии и шаблон пакета передаваемых данных. Профиль отображает, какой набор данных ГНСС станция передает в облачную вычислительную систему. Шаблон пакета данных раскрывает последовательность размещения данных в пакете, разрядность цифрового кода и принадлежность данных к конкретным датчикам (узлам). Шаблон используется для идентификации полей (ячеек) данных в целях извлечения данных из пакета и архивации в реляционной базе данных. IP-адреса используются для организации выделенных VPN-каналов связи между ГНСС станциями и облачной вычислительной платформой.

Целостность входных данных проверяется методом циклического избыточного кода CRC (Cyclic Redundancy Check). Проверенные входные данные передаются в подсистему вычисления навигационных решений и подсистему хранения данных. Поврежденные входные данные, не подтвердившие целостность, не сохраняются. Извлекаются атрибуты поврежденных пакетов (ID станции, дата/время данных), подается запрос на повторную выгрузку этих данных из устройства хранения ГНСС станции (приемника сигналов ГНСС) и отправку данных в Систему. Целостность повторно полученных данных проверяется аналогично.

## 4.2 Алгоритм операций хранения данных

Входные данные (после контроля целостности) и выходные данные (от подсистемы вычисления навигационных решений) сохраняются в среднесрочной реляционной БД-SQL, реализованной на скоростных SSD накопителях. Блок-схема алгоритма операций хранения данных Системы представлена на рисунке 2.

Используется сервис БД SQL Azure под управлением системы управления базами данных (СУБД) Microsoft SQL Server. Служебные данные Системы (реестры, журналы событий и транзакций) отнесены к выходным данным Системы и на блок-схеме отдельно не выделены. Резервные копии (реплики) БД-SQL на блок-схеме не показаны, так как являются избыточными данными для технологических целей. Пользователь работает с основной БД-SQL. Сервис БД SQL Azure выполняет резервное копирование (репликацию) и сохраняет резервную копию БД для контроля целостности БД и автоматического восстановления поврежденных данных из резервной копии по умолчанию, без участия пользователя.

Непосредственное управление БД-SQL выполняет СУБД Microsoft SQL Server. СУБД определяет и выделяет необходимый объем памяти для БД-SQL автоматически, переносит «устаревшие» данные в хранилище таблиц Azure (или хранилище BLOB-объектов) через установленное количество дней хранения. Приведенный на блок-схеме контроль возраста и объема данных БД-SQL выполняет подсистема хранения данных СПО в виде запросов и указаний для СУБД. Имеется возможность устанавливать значения граничных параметров БД-SQL (срок хранения T1 и объем V1). Подсистема хранения данных СПО выполняет внешнее управление БД-SQL посредством СУБД Microsoft SQL Server [24, 25], а при снятии внешнего управления СУБД работает

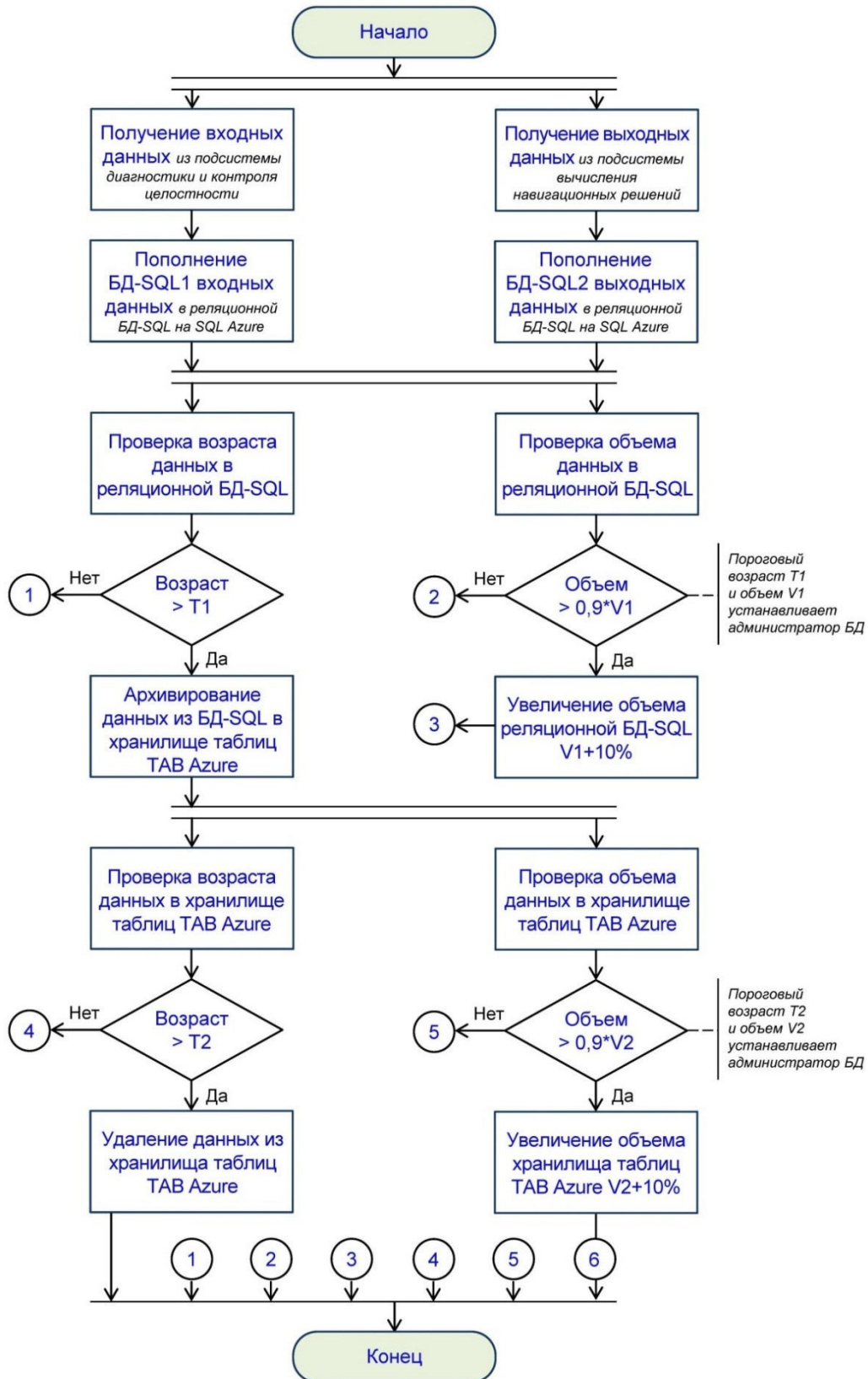


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма операций хранения данных Системы

самостоятельно с параметрами по умолчанию.

Аналогично выполняется проверка возраста и объема данных в хранилище таблиц ТАВ Azure. Устаревшие данные удаляются из хранилища таблиц ТАВ Azure при достижении возраста T2. При достижении объема данных  $0,9 \cdot V2$  выделенный объем хранилища ТАВ Azure увеличивается на 10 %.

Операции хранения данных выполняются автоматически и непрерывно по мере поступления данных. Внешнее управление подсистемы хранения данных СПО над СУБД не обязательно, но устанавливает ограничения для СУБД по срокам хранения T1, T2 и объемам V1, V2. Если ограничения не установлены, тогда БД SQL Azure автоматически задает T1 в 35 дней, остальные параметры (срок T2 и объемы V1, V2) не ограничиваются. Пользователь оплачивает услуги хранения данных за фактически использованные ресурсы. Пользователь может ограничивать срок хранения T1, T2 и объем данных V1, V2 именно для снижения суммы оплаты за хранение данных.

### 4.3 Алгоритм операций выгрузки архивных данных

Текущие входные данные (после контроля целостности) автоматически передаются в подсистему вычисления навигационных решений ПМО, которая вычисляет текущие выходные данные в режиме реального времени – координаты каждой ГНСС станции и RTK решения по всем актуальным заявкам пользователей. Текущие входные и выходные данные сохраняются в среднесрочной реляционной БД-SQL и приобретают статус архивных. СУБД Microsoft SQL Server переносит данные из БД-SQL в хранилище таблиц ТАВ Azure по истечении установленного в подсистеме хранения данных СПО срока хранения T1. Таким образом, подсистема вычисления навигационных решений обрабатывает заявки пользователей по вычислению RTK поправок в режиме реального времени и для этого не требуется выгрузка архивных входных данных из БД-SQL. Обработка заявок пользователей за исторический период времени (постобработка), статистический анализ геометрии сети ГНСС станций (уравнивание сети в постобработке) и решение прикладных задач в постобработке требует выгрузки входных и (или) выходных архивных данных. Блок-схема алгоритма операций выгрузки архивных данных представлена на рисунке 3.

Запрос на выгрузку архивных данных автоматически формирует подсистема контроля доступа и биллинга СПО после корректного заполнения и оплаты заявки пользователя или заявки персонала. При формировании запроса используются шаблоны входных и выходных данных Системы для решения всех типовых расчетных заданий. Шаблоны данных будут сформированы при разработке ПМО.

Запрос на выгрузку данных поступает в СУБД Microsoft SQL Server, которая выполняет поиск данных в среднесрочной реляционной БД-SQL по атрибутам отношений и значениям ключей. При наличии требуемых данных в БД-SQL, СУБД выгружает их адресату. При отсутствии искомых данных в БД-SQL запрос транслируется в долговременное хранилище таблиц ТАВ Azure. При наличии требуемых данных, они выгружаются из ТАВ Azure адресату. При отсутствии требуемых данных формируется ответ об отсутствии запрашиваемых архивных данных. Отрицательный ответ требует проверки корректности запроса и статистики работы ГНСС станций сети (проверка реестра сбоев и отказов).

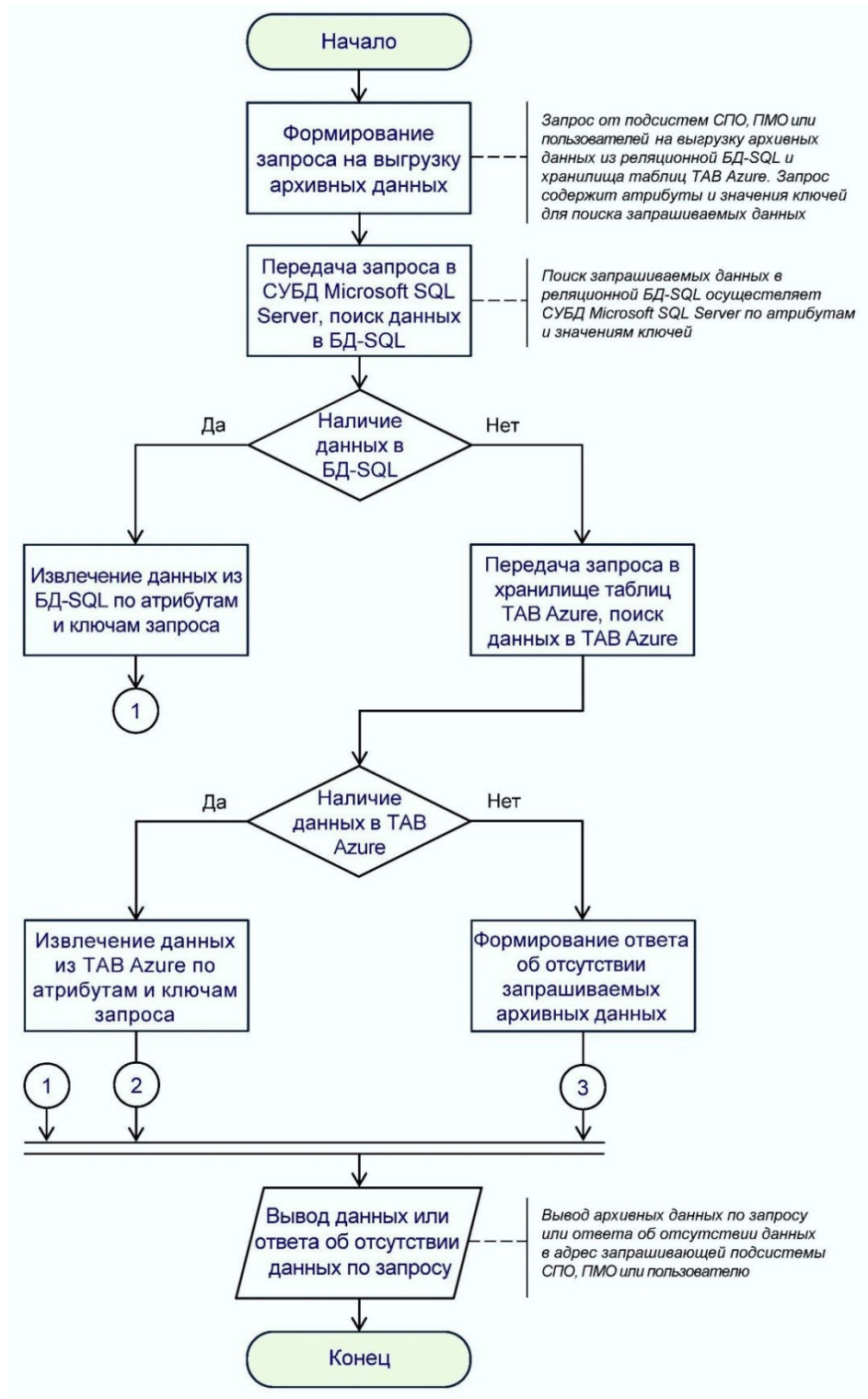


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма операций выгрузки архивных данных Системы

Операции выгрузки архивных данных повторяются по алгоритму рисунка 3 при поступлении следующих запросов на выгрузку архивных данных Системы.

#### 4.4 Алгоритм операций контроля параметров телесигнализации

Телемеханика Системы включает методы и средства удаленных измерений (телеметрии), телесигнализации и телеуправления объектами (ГНСС станциями). Телесигнализация обеспечивает получение информации о состоянии контролируемых и управляемых объектов в виде ряда возможных дискретных состояний, и возможность контроля изменений состояния. Например, устройство включено или отключено, параметры устройства соответствуют установленным пределам (находятся в норме) или выходят за пределы (не в норме), что может означать переход объекта в аварийное состояние. Блок-схема алгоритма операций контроля параметров телесигнализации (дискретных сигналов ГНСС станций) представлена на рисунках 4 и 5. Дискретные сигналы обозначены  $TAL_j$ , где  $j$  – условный порядковый номер сигнала от 1 до  $K$ . Операции контроля начинаются с загрузки профиля ГНСС станций и шаблона пакета входных данных. Для контроля сигналов от всех ГНСС станций запускается цикл перебора  $id$  номеров ГНСС станций от 1 до  $N$ . Загружается пакет входных данных от первой ГНСС станции номер  $id=1$ .

Запускается цикл перебора номеров  $j$  сигналов  $TAL_j$  от 1 до  $K$ . В цикле проверяется наличие первого и последующих датчиков сигнала  $TAL_j$ , так как ГНСС станции сети могут быть разной комплектности, часть датчиков может отсутствовать. Если датчик отсутствует, дальнейший анализ прекращается и выгружается решение «Датчик отсутствует». При наличии датчика выполняется проверка статуса «Датчик выключен» или «Датчик включен». При включенном датчике выполняется анализ параметров сигнала  $TAL_j$ .

Период регистрации показаний датчиков телеметрии и сигнализации отличается для разных датчиков и существенно больше (обычно от 5 секунд до 1 часа), чем период регистрации навигационных данных (обычно от 1 до 30 секунд), поэтому не каждый пакет входных данных содержит сигнал  $TAL_j$ , часть пакетов содержат пустые ячейки для данного сигнала. Проверяется наличие или отсутствие сигнала  $TAL_j$  в пакете данных, при отсутствии выгружается статус «Значение сигнала отсутствует». При наличии сигнала выполняется анализ параметра сигнала и выгружается решение «Параметр сигнала в норме» либо «Параметр сигнала вне нормы» (что означает аварийное состояние узла или включение/отключение узла вопреки штатному режиму). При параметре сигнала вне нормы в центр управления Системой выдается аварийное сообщение в графической форме и звуковой сигнал. На этом анализ сигнала  $TAL_j$  с номером  $j=1$  закончен. Выходное решение (анализ значения сигнала  $TAL_j$ ) выгружается в реляционную БД-SQL с номером ГНСС станции  $id$  и идентификатором времени, равном времени пакета входных данных.

Для анализа следующих сигналов  $TAL_j$  цикл  $j$  повторяется для  $j=j+1$  (увеличение номера на единицу) до достижения  $j=K$ . После анализа всех сигналов  $TAL_j$  для первой ГНСС станции с номером  $id=1$  повторяется цикл для  $id=id+1$  до достижения  $id=N$  (последняя станция). В итоге анализа всех дискретных сигналов  $TAL_j$  для всех ГНСС станций в БД-SQL выгружены все выходные решения: «Датчик отсутствует» (код 000),

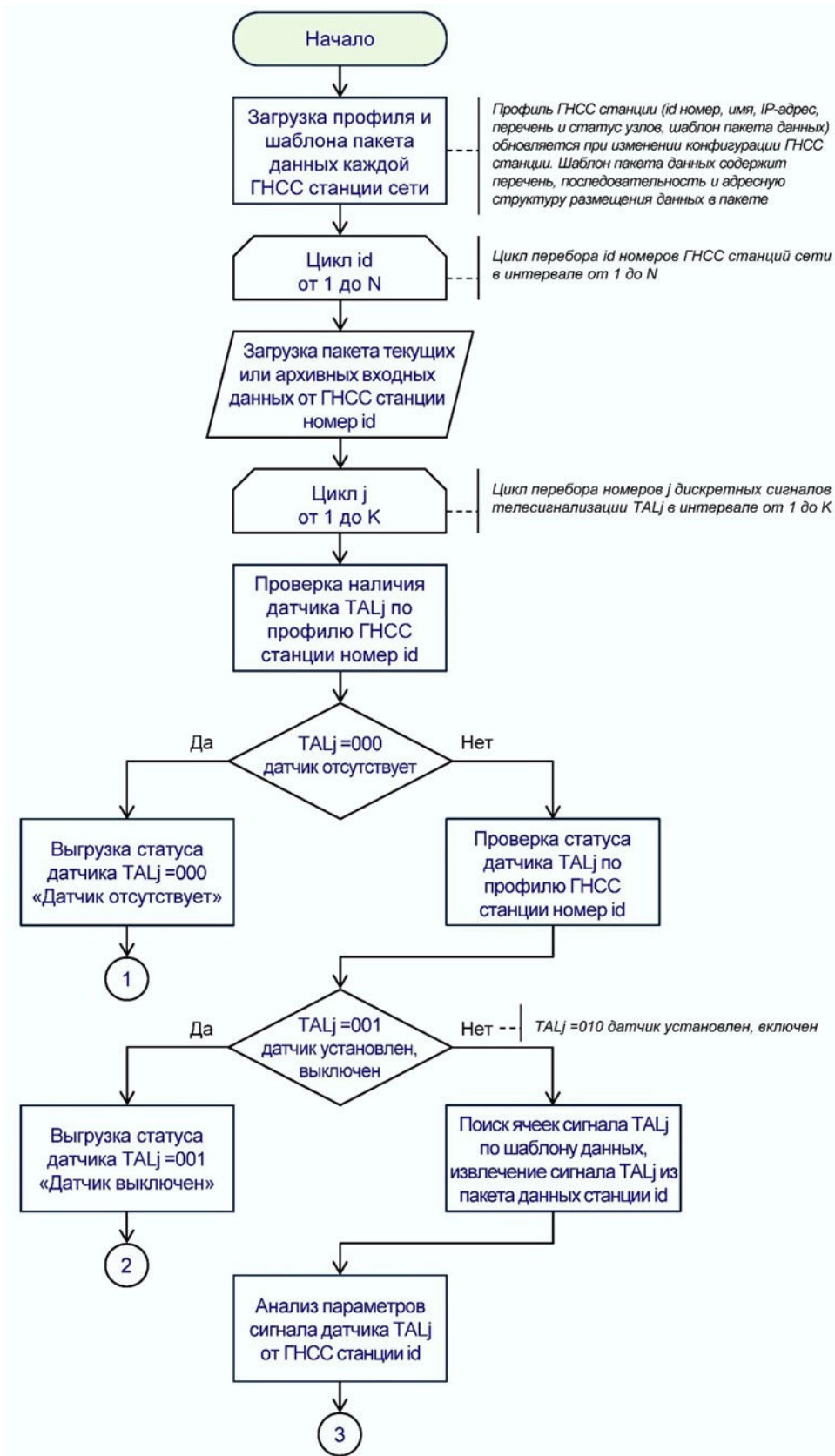


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма операций контроля параметров телесигнализации Системы (часть 1)

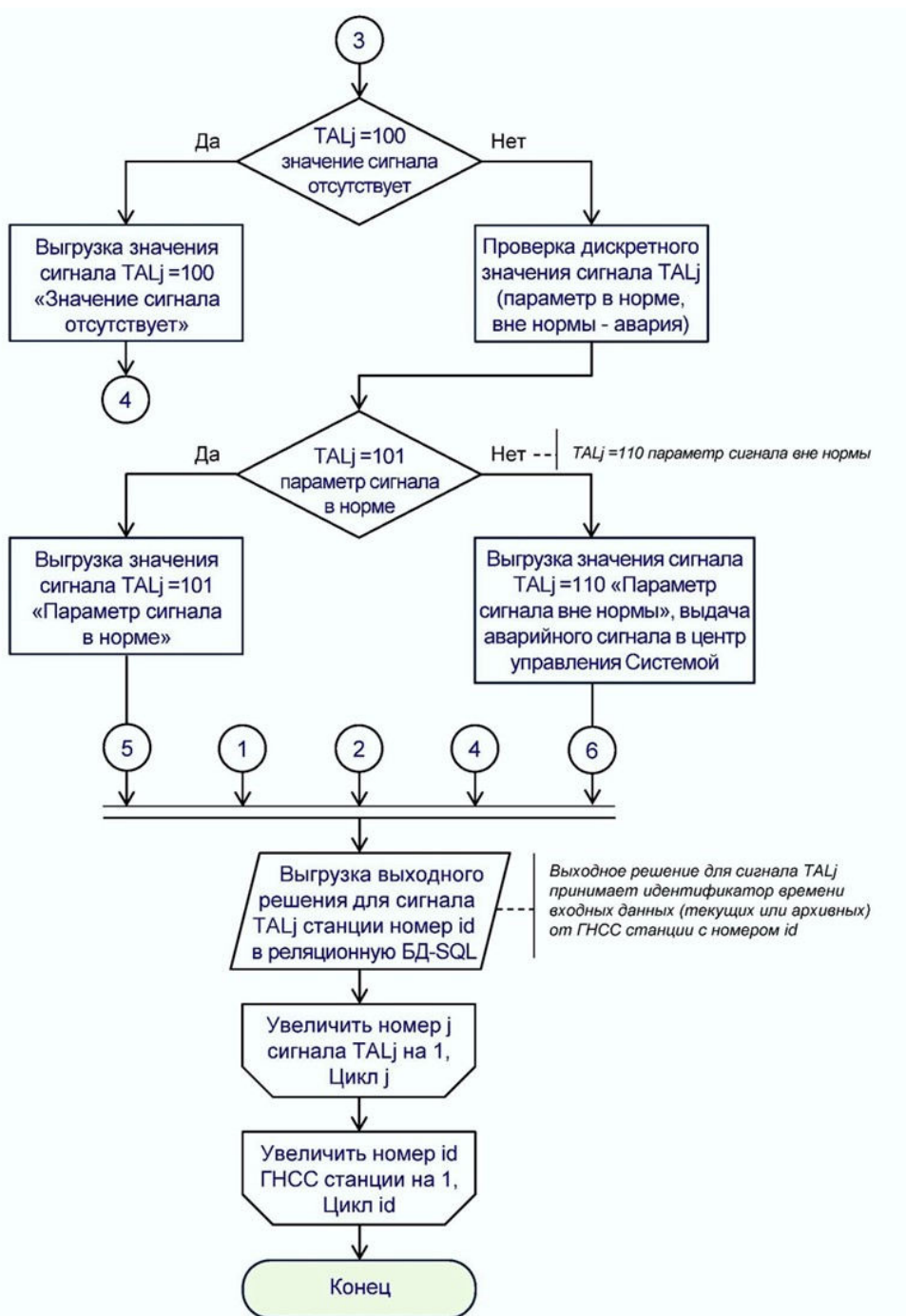


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма операций контроля параметров телесигнализации Системы (часть 2)



«Датчик выключен» (код 001), «Значение сигнала отсутствует» (код 100), «Параметр сигнала в норме» (код 101), «Параметр сигнала вне нормы» (код 110), аварийные сигналы переданы в центр управления Системой для принятия управленческих решений.

#### 4.5 Алгоритм операций контроля сигналов телеметрии

Телеметрия включает методы и средства удаленных измерений параметров состояния объектов (узлов ГНСС станций), обеспечивает получение информации о состоянии объектов в виде измеренных значений параметров. Например, величины напряжений первичной и вторичной сети электропитания, уровень заряда аккумулятора ИБП, величины температуры и влажности снаружи и внутри корпуса ГНСС станции, углы наклона платформы антенны сигналов ГНСС и другие. Сигналы телеметрии позволяют оценивать фактические значения параметров устройств и выявлять аварийные состояния, когда значения параметров сигналов телеметрии приближаются или выходят за допустимые (установленные) граничные значения.

Сигналы телеметрии и телесигнализации используются для общей цели контроля состояния узлов ГНСС станций, но отличаются детальностью информации и возможностями прогнозирования. Сигналы телеметрии содержат измеренные значения параметров, а телесигнализация предоставляет дискретные значения состояния устройств (включено-отключено, в норме-не в норме) без указания значений параметров.

Блок-схема алгоритма операций контроля сигналов телеметрии представлена на рисунках 6 и 7.

Алгоритм контроля сигналов телеметрии в целом повторяет алгоритм контроля параметров телесигнализации, за исключением процедуры анализа параметров сигнала телеметрии. Сигналы телеметрии обозначены  $TLM_i$ , где  $i$  – условный порядковый номер сигнала от 1 до  $M$ . Контроль сигналов телеметрии начинается с загрузки профилей ГНСС станций и шаблонов пакета входных данных. Для контроля сигналов от всех ГНСС станций запускается цикл перебора  $id$  номеров ГНСС станций от 1 до  $N$ . Загружается пакет входных данных от ГНСС станции с порядковым номером  $id=1$ . Запускается цикл перебора номеров  $i$  сигналов  $TLM_i$  от 1 до  $M$ . Проверяется наличие датчика сигнала  $TLM_i$  по профилю ГНСС станции. Комплектность ГНСС станций может быть различной, и часть датчиков может отсутствовать. Если датчик  $TLM_i$  отсутствует, дальнейший анализ прекращается и выгружается решение «Датчик отсутствует» (код 000). При наличии датчика выполняется проверка статуса «Датчик выключен» (код 001) или «Датчик включен». При включенном датчике выполняется анализ параметров сигнала  $TLM_i$ .

Период регистрации показаний разных датчиков телеметрии различный (обычно от 5 секунд до 1 часа) и отличается от периода регистрации навигационных данных (обычно от 1 до 30 секунд), поэтому не каждый пакет входных данных содержит сигнал  $TLM_i$ , часть пакетов содержат пустые ячейки. Проверяется наличие или отсутствие сигнала  $TLM_i$  в пакете данных. При отсутствии сигнала выгружается статус «Значение сигнала отсутствует» (код 100). При наличии сигнала  $TLM_i$  из профиля ГНСС станции с номером  $id$  выгружаются минимальное  $MIN_i$  и максимальное  $MAX_i$  граничные значения



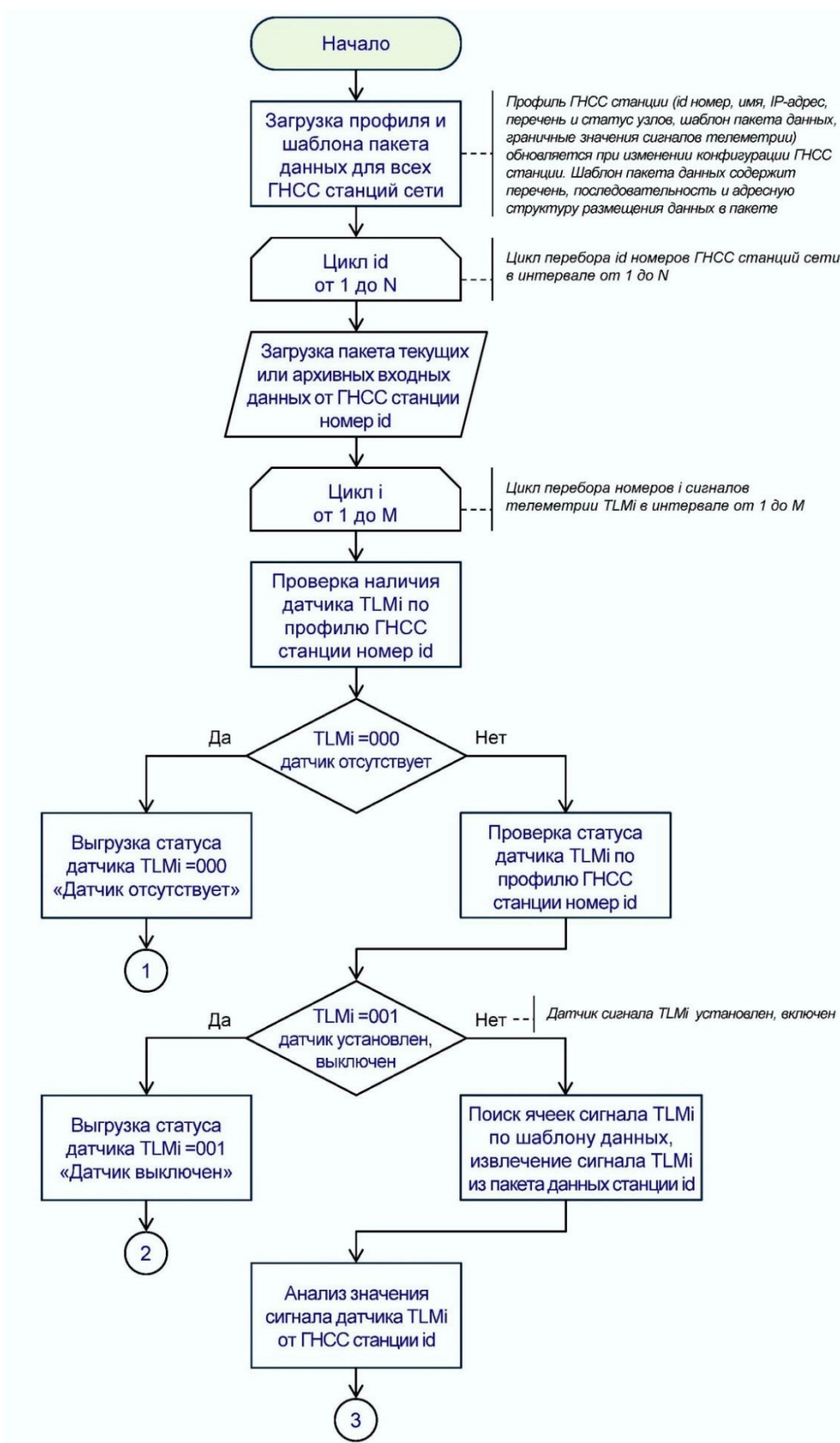
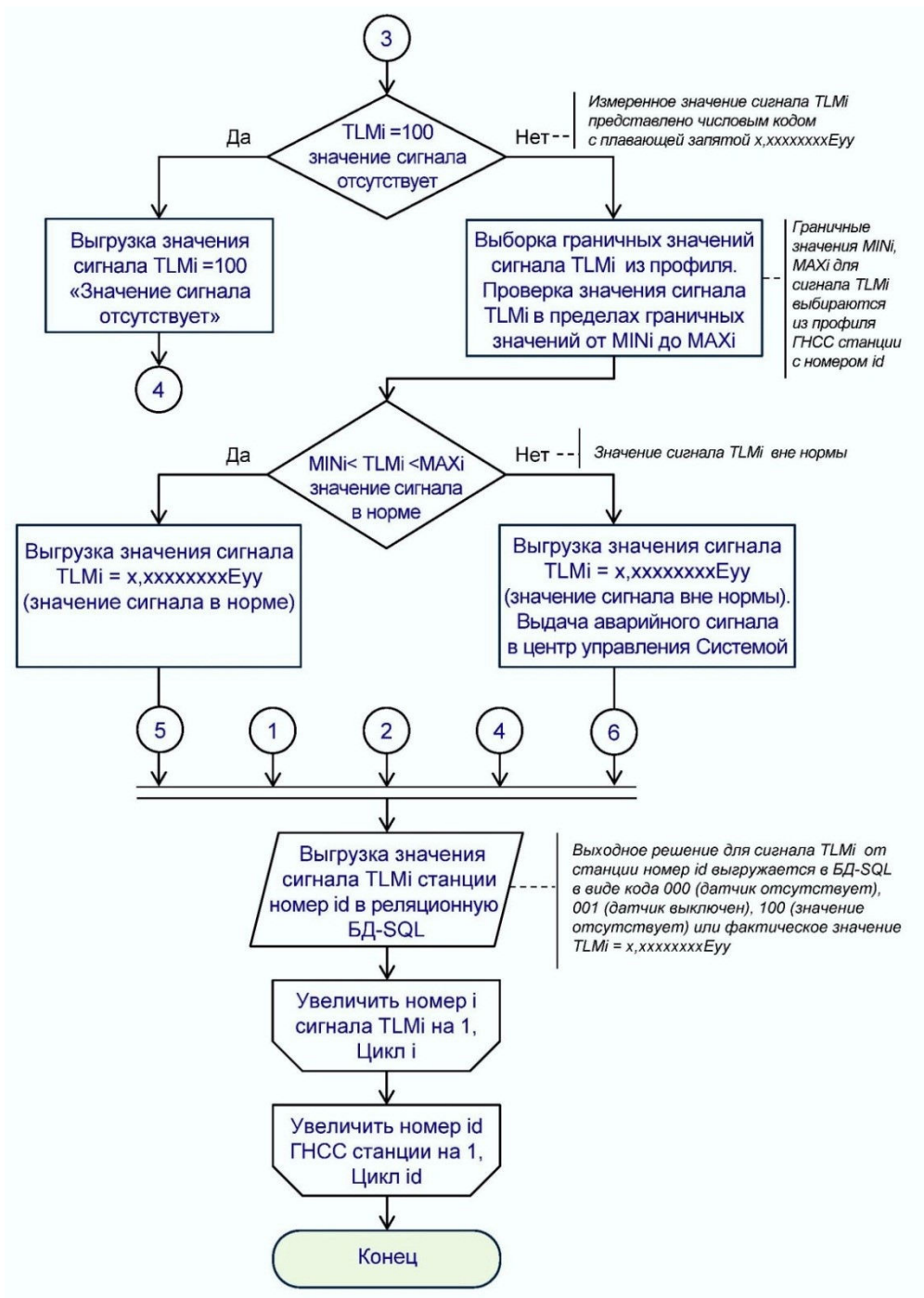


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма операций контроля сигналов телеметрии Системы (часть 1)



**Рисунок 7** – Блок-схема алгоритма операций контроля сигналов телеметрии Системы (часть 2)

параметров сигнала TLMi. Выполняется проверка значения параметра сигнала TLMi на соответствие граничным условиям ( $MIN_i < TLM_i < MAX_i$ ). При соответствии значения параметра сигнала граничным условиям (параметр сигнала в пределах нормы), значение сигнала TLMi выгружается в БД-SQL. При несоответствии значения параметра сигнала граничным условиям (вне нормы), значение сигнала TLMi также выгружается в БД-SQL и в центр управления Системой выдается аварийное сообщение в графической форме и звуковой сигнал. Анализ сигнала TLMi с номером  $i$  на этом завершен.

Для анализа следующих сигналов TLMi цикл  $i$  повторяется для  $i=i+1$  (увеличение номера  $i$  на единицу) до достижения  $i=M$ . После анализа всех сигналов TLMi для ГНСС станции с номером  $id=1$  цикл повторяется для  $id=id+1$  до достижения  $id=N$ . В результате анализа всех сигналов телеметрии TLMi для всех ГНСС станций в БД-SQL выгружены все выходные решения по сигналам TLMi: «Датчик отсутствует» (код 000), «Датчик выключен» (код 001), «Значение сигнала отсутствует» (код 100), измеренные значения сигналов телеметрии TLMi (числовые коды), аварийные сигналы переданы в центр управления Системой.

## 5 Заключение

В рамках работ по созданию системы управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций с использованием облачных технологий разработано специализированное программное обеспечение. Код СПО написан с помощью языка программирования C# 6.0/7.0 в среде разработки Microsoft Visual Studio, связанной с программной платформой исполнения приложений Microsoft .NET Framework в облачной платформе Microsoft Azure. СПО системы управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций с использованием облачных технологий выполняет функции непрерывного и параллельного во времени сбора навигационных и телеметрических данных, выгрузки архивных данных, проверки целостности данных, диагностики и контроля качества параметров системы, архивации и хранения данных, управления ГНСС станциями, предоставления данных пользователям, регистрации, ведения реестра и контроля доступа пользователей. Разработанное СПО выполняет свои функции путем реализации следующих алгоритмов: алгоритм сбора входных данных, алгоритм операций хранения данных, алгоритм операций выгрузки архивных данных, алгоритм операций контроля параметров телесигнализации, алгоритм контроля сигналов телеметрии.

## 6 Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научно-технических программ и проектов Министерством науки и образования Республики Казахстан (грант AP05134038 «Разработка программной системы управления инфраструктурой референчных GNSS станций с использованием облачных технологий», 2018-2020 годы).

### Список литературы

- [1] Chen X., Kipka A., Kohler J., Landau H., Vollath U. GNSS Modernization and its Consequences for Reference Station Network Solutions: Proceedings of the European Navigation Conference ENC-GNSS 2007 (Geneva, 2007).
- [2] О способах сбора геопространственных данных с помощью различных программно-аппаратных средств на базе GNSS технологий [Electron. resource]. - 2014. URL: <http://ngc.com.ua/info/spider.html> (available at: 10.02.2020)
- [3] Dedes G. Precision Positioning Technologies and Trends at Topcon: Proceedings of the International Global Navigation Satellite Systems Society IGSS Symposium (Sydney, 2007).
- [4] Cheves M. Environment Analysis from JAVAD GNSS // *The American Surveyor* . - 2010. - V.7 (8). - pp.10-12.
- [5] National Research Council The Global Positioning System for Geosciences: Summary and Proceedings of a Workshop on Improving the GPS Reference Station Infrastructure for Earth, Oceanic, and Atmospheric Science Application. - Washington DC: National Academy Press, 1997. – 284 p. doi: 10.17226/9254
- [6] Quesada-Olmo N., Jimenez-Martinez M. J., Farjas-Abadia M. Real-time high-rise building monitoring system using global navigation satellite system technology // *Measurement*. - 2018. - V.123. - pp.115-124. doi:10.1016/j.measurement.2018.03.054
- [7] Saadati S., Abbasi M., Abbasy S., Amiri-Simkooei A. Geodetic Calibration Network for total stations and GNSS receivers in sub-kilometer distances with sub-millimeter precision // *Measurement*. - 2019. - V.141. - pp.258-266. doi: 10.1016/j.measurement.2019.04.044.
- [8] Da Silva I., Ibanez W., Poleszuk G. Experience of Using Total Station and GNSS Technologies for Tall Building Construction Monitoring: Proceedings of the 1st GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures (Sharm El Sheikh, 15–19 July 2017). – pp. 471–486. doi: 10.1007/978-3-319-61914-9\_36
- [9] Akhmedov D., Moldabekov M., Yeryomin D., Zhaxygulova D. High accuracy positioning of backbone network infrastructure and mobile objects // *INCAS BULLETIN*. – 2019. – V. 4 (11). – pp. 3-10. doi: 10.13111/2066-8201.2019.11.4.1
- [10] Murrian M.J., Gonzalez C.W., Humphreys T.E., Pesyna K.M. Jr., Shepard D.P., Kerns A. Low-cost precise point positioning for automated vehicle // *GPS World*. - 2016. - V.27 (9). - C.32-39.
- [11] Meneroux Y., Manandhar D., Ranjit S., Saint Pierre G., Shibasaki R. Positional accuracy control in dense urban environment with low-cost receiver and multi-constellation GNSS: Proceedings of the 9th Multi-GNSS Asia (MGA) Conference (Jakarta, 9-11 October 2017).
- [12] Bian H., Zhang S., Zhang Q., Zheng N. Monitoring large-area mining subsidence by GNSS based on IGS stations // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. - 2014. - V. 24 (2). – pp. 514–519. doi: 10.1016/s1003-6326(14)63090-9
- [13] Melachroinos S. A., Biancale R., Llubes M., Perosanz F., Lyard F., Vergnolle M., Durand S. Ocean tide loading (OTL) displacements from global and local grids: comparisons to GPS estimates over the shelf of Brittany, France // *Journal of Geodesy*. - 2007. – V. 82 (6). – pp. 357–371. doi: 10.1007/s00190-007-0185-6
- [14] Lescarmontier L., Legresy B., Coleman R., Perosanz F., Mayet C., Testut L. Vibrations of Mertz Glacier ice tongue, East Antarctica // *Journal of Glaciology*. – 2012. – V. 58 (210). – pp. 665–676. doi: 10.3189/2012JoG11J089
- [15] Молдабеков М.М., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г., Трешко С. Архитектура системы управления сетевой инфраструктурой референсных GNSS станций с использованием облачных технологий // *Вестник НИА РК*. – 2019. – № 2 (72). – С. 42–47.
- [16] Горшкова Е.В., Шаповалова Д.В., Корецкая Г.А. Зарубежный опыт создания референсных станций // *Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая»*. 18-21 апреля 2017 г. - Кемерово: КузГТУ, 2017. - С.0101003: 1-5.
- [17] Continuously Operating Reference Station (CORS) // National Geodetic Survey URL: <https://alt.ngs.noaa.gov/CORS> (available at: 20.06.2019)
- [18] Принципы навигации // Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения URL: <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php> (дата обращения: 19.06.2019).
- [19] Что такое PaaS? Платформа как услуга [Электрон. ресурс]. – 2013. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/what-is-paas/> (дата обращения 20.09.2019)

- [20] Microsoft Azure [Электрон. ресурс]. – 2012. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/> (дата обращения 20.03.2019)
- [21] Руководство по языку C# [Электрон. ресурс]. – 2012. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/> (дата обращения 28.03.2019)
- [22] Руководство по программированию на C# [Электрон. ресурс]. – 2015. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/programming-guide/index> (дата обращения 28.03.2019)
- [23] The Ultimate Guide to Windows Server on Azure. [Electron. resource]. – 2012. URL: [http://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Ultimate\\_Guide\\_to\\_Windows\\_Server\\_on\\_Azure\\_EN\\_US.pdf](http://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Ultimate_Guide_to_Windows_Server_on_Azure_EN_US.pdf) (дата обращения 26.03.2019)
- [24] Документация по Microsoft SQL [Электрон. ресурс]. – 2017. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/?view=sql-server-2017> (дата обращения 28.09.2019)
- [25] Что собой представляет SQL Server на виртуальных машинах Azure (Windows) [Электрон. ресурс]. – 2016. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/virtual-machines/windows/sql/virtual-machines-windows-sql-server-iaas-overview> (дата обращения 28.09.2019)

## References

- [1] Xiaoming Chen, Adrian Kipka, Jan Kohler, Herbert Landau, Ulrich Vollath, "GNSS Modernization and its Consequences for Reference Station Network Solutions" (paper presented in the European Navigation Conference ENC-GNSS 2007, Geneva, Switzerland, March 29-June 1, 2007).
- [2] "About methods of collecting geospatial data using various software and hardware based on GNSS technologies," Leica Geosystems, accessed February 10, 2020, <http://ngc.com.ua/info/spider.html>
- [3] George Dedes, "Precision Positioning Technologies and Trends at Topcon" (paper presented at the International Global Navigation Satellite Systems Society IGSS Symposium, Sydney, Australia, December 4-6, 2007).
- [4] Cheves, Mark. "Environment Analysis from JAVAD GNSS." *The American Surveyor* 7 (2010): 10-2.
- [5] National Research Council, *The Global Positioning System for Geosciences: Summary and Proceedings of a Workshop on Improving the GPS Reference Station Infrastructure for Earth, Oceanic, and Atmospheric Science Application*. Washington, DC: The National Academies Press, 1997.
- [6] Quesada-Olmo, Nieves, Jimenez-Martinez, Maria J., Farjas-Abadia, Mercedes. "Real-time high-rise building monitoring system using global navigation satellite system technology." *Measurement* 123 (2018): 115-24.
- [7] Saadati, Sadegh, Abbasi, Madjid, Abbasy, Saeed, Amiri-Simkoei, Alireza. "Geodetic Calibration Network for total stations and GNSS receivers in sub-kilometer distances with sub-millimeter precision." *Measurement* 141 (2019): 258-66.
- [8] Irineu da Silva, Wernher Ibanez, Guilherme Poleszuk "Experience of Using Total Station and GNSS Technologies for Tall Building Construction Monitoring" (paper presented at the 1st GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures, Sharm El Sheikh, Egypt, July 15-19, 2017).
- [9] Akhmedov, Daulet, Moldabekov, Meirbek, Yeryomin, Denis, Zhaxygulova, Dinara. "High accuracy positioning of backbone network infrastructure and mobile objects." *INCAS BULLETIN* 11 (2019): 3-10.
- [10] Murrian, Matthew J., Gonzalez, Collin W., Humphreys, Todd E., Pesyna, Kenneth M. Jr., Shepard, Daniel P., Kerns, Andrew J. "Low-cost precise point positioning for automated vehicle." *GPS World* 27 (2016): 32-9.
- [11] Yann Meneroux, Manandhar Dinesh, Ranjit Saurav, Guillaume Saint Pierre, Ryosuke Shibasaki, "Positional accuracy control in dense urban environment with low-cost receiver and multi-constellation GNSS" (paper presented at the 9th Multi-GNSS Asia (MGA) Conference, Jakarta, Indonesia, October 9-11, 2017).
- [12] Bian, He-fang, Zhang, Shu-bi, Zhang, Qiu-zhao, Zheng, Nan-shan. "Monitoring large-area mining subsidence by GNSS based on IGS stations." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 24 (2014): 514-19.
- [13] Melachroinos, Stavros A., Biancale, Richard, Llubes, Muriel, Perosanz, Felix, Lyard, Florent, Vergnolle, Mathilde, Durand, Stephane. "Ocean tide loading (OTL) displacements from global and local grids: comparisons to GPS estimates over the shelf of Brittany, France." *Journal of Geodesy* 82 (2007): 357-71.
- [14] Lescarmontier, Lydie, Legresy, Benoit, Coleman, Richard, Perosanz, Felix, Mayet, Clement, Testut, Leo. "Vibrations of Mertz Glacier ice tongue, East Antarctica." *Journal of Glaciology* 58 (2012): 665-76.

- 
- [15] Moldabekov, Meirbek M., Yeryomin, Denis I., Zhaxygulova, Dinara G., Trepashko, Sergey. "Arhitektura sistemy upravleniya setevoi infrastrukturoi referentsnyh GNSS stantsii s ispolzovaniem oblachnyh tehnologii [The architecture of the system for managing the network infrastructure of reference GNSS station using cloud technologies]." *Vestnik NIA RK* 72 (2019): 42-7.
- [16] Elena V. Gorshkova, Darya V. Shapovalova, Galina A. Koretskaya, "Foreign experience in creating reference stations" (paper presented at the IX All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Young Russia", Kemerovo, Russia, April 18-21, 2017).
- [17] "Continuously Operating Reference Station (CORS)," National Geodetic Survey, accessed June 20, 2018, <https://alt.ngs.noaa.gov/CORS>.
- [18] "Navigation principles," Information and analysis center for positioning, navigation and timing, accessed June 19, 2019, <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php>.
- [19] "What is PaaS? Platform as a service," Microsoft Azure, accessed September 20, 2019, <https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/what-is-paas/>.
- [20] "Microsoft Azure," Microsoft Azure, accessed March 20, 2019, <https://azure.microsoft.com/ru-ru/>.
- [21] "C# documentation," Microsoft Build, accessed March 28, 2019, <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/>.
- [22] "C# programming guide," Microsoft Build, accessed March 28, 2019, <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/programming-guide/index>.
- [23] "The Ultimate Guide to Windows Server on Azure," Microsoft Build, accessed March 26, 2019, [http://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Ultimate\\_Guide\\_to\\_Windows\\_Server\\_on\\_Azure\\_EN\\_US.pdf](http://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Ultimate_Guide_to_Windows_Server_on_Azure_EN_US.pdf).
- [24] "Microsoft SQL documentation," Microsoft, accessed September 28, 2019, <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/?view=sql-server-2017>.
- [25] "25 What is SQL Server in Azure Virtual Machines (Windows)," Microsoft Build, accessed September 28, 2019, <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/virtual-machines/windows/sql/virtual-machines-windows-sql-server-iaas-overview>.