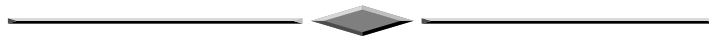


ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ



УДК 528.236.4:614.8.06

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-4-5-19

КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Татьяна Юрьевна Бугакова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-53, e-mail: kaf.pi@ssga.ru

Приведена разработка комплексного алгоритма определения пространственно-временного состояния техногенных систем (ПВС ТС) по геодезическим данным. Алгоритм основан на процедурах системного анализа (декомпозиция и агрегирование), позволяет выявить любые изменения ПВС ТС в целом или его структурных частей, определить изменение геометрических параметров системы, виды и параметры движения. Приведены математические методы описания пространственно-временного состояния ТС: определение формы, размеров, ориентации и положения в пространстве и времени. Выполнена декомпозиция движения ТС на поступательное, вращательное, относительное (интегральную и дифференциальную деформацию). Разработана структурная схема комплексного алгоритма определения ПВС ТС, которая может быть использована в качестве основы автоматизированной системы контроля ПВС ТС.

Ключевые слова: пространственно-временное состояние, техногенная система, математические методы, фазовое пространство, комплексный алгоритм, декомпозиция, движение, деформация, фазовая траектория, программное обеспечение, автоматизированные системы контроля, системный анализ, агрегирование, чрезвычайные ситуации, геодезический контроль.

Актуальность исследования

Развитие технического прогресса не приводит к полному исчезновению техногенных рисков и чрезвычайных ситуаций. Несмотря на совершенствование технологий строительства и приборов геодезического контроля, проблема определения изменения пространственно-временного состояния техногенных систем остается актуальной.

Состояние техногенных систем (инженерных зданий, сооружений) определяется множеством свойств. Поэтому производить оценку состояния ТС необходимо комплексно, привлекая к этому процессу множество специалистов из различных областей профессиональной деятельности (строителей, архитекто-

ров, геодезистов и т. д.). Методом геодезического контроля можно оценить только пространственно-временное состояние ТС, т. е. определить его положение в пространстве относительно неподвижной системы координат и времени.

Для определения и оценки ПВС конструкций зданий и сооружений применяются современные технологии геодезического контроля, такие как методы нивелирования, лазерное сканирование, автоматизированные системы мониторинга, ГНСС и др. Существующие регламенты и инструкции по эксплуатации ТС определяют порядок, объем работ и периодичность геодезических измерений [1]. Для выявления изменений ПВС ТС, геодезические измерения проходят определенную обработку при помощи специализированных программ, в которых заложены математические алгоритмы. В настоящее время существует множество программных продуктов, например, CREDO DAT, AutoCad Civil 3d, ArcGIS, CYCLONE, НИВЕЛИР 1.0 и др., которые позволяют выявить параметры вертикальных, горизонтальных смещений, деформаций и визуализировать изменения ПВС ТС. При всех достоинствах этих программ есть определенные трудности, с которыми приходится сталкиваться специалистам [2–10].

1. Для пользователя каждый программный продукт представляет собой «черный ящик». Заложенные в нем математические алгоритмы закрыты и регламентированы разработчиком. Определение изменения ПВС, с учетом индивидуальности техногенной системы, практически в каждом случае требует индивидуального подхода, так как не существует унифицированного алгоритма оценки ПВС, подходящего для любой ТС. Отсутствует единая программа, способная решить все задачи мониторинга ТС одновременно. В связи с этим специалистам приходится выполнять анализ и подбор необходимых программных продуктов, имеющих нужные алгоритмы для обработки.

2. Большинство программных продуктов имеет модульную структуру. Стоимость подключения одного модуля достаточно высока. Для комплексной, всесторонней оценки ПВС требуется подключение нескольких модулей, а если речь идет об использовании не одной программы, то стоимость возрастает в разы.

3. Быстроразвивающиеся деформационные процессы или смещения структурных частей техногенной системы требуют постоянного периодического геодезического мониторинга и оперативной обработки результатов измерений. Определение всех необходимых параметров изменения ПВС в программных продуктах занимает время, порой несопоставимое со скоростью развивающихся процессов. Существующие автоматизированные системы мониторинга (АСМ) позволяют осуществлять непрерывный мониторинг ПВС ТС, независимо от погодных условий или времени суток. Однако в состав АСМ включено программное обеспечение, позволяющее определить только параметры изменения ПВС, а именно – их отклонение от заданных стандартов. Для получения комплексной модели изменения ПВС ТС необходимо экспортирование результатов мониторинга в специализированные программы.

4. Программные продукты, предназначенные для определения ПВС ТС, имеют ограниченное количество математических алгоритмов. Уникальность ТС

и особенности изменения ПВС иногда требуют индивидуального подхода к обработке результатов геодезического мониторинга. В некоторых случаях необходимых математических алгоритмов в программах просто нет, как нет и унифицированного алгоритма обработки геодезических данных для комплексного определения, оценки и прогнозирования ПВС [11–18].

Цель исследования

Анализ современного программного обеспечения для определения ПВС ТС позволил сделать вывод о том, что среди программных продуктов, существующих на российском рынке, нет такого программного решения, которое позволяло бы комплексно подходить к решению задачи определения, анализа, прогнозирования и контроля пространственно-временных состояний ТС по геодезическим данным. А системы автоматизированного мониторинга не решают в полной мере задачу оценки ПВС ТС, так как не имеют математических алгоритмов, позволяющих определить динамику развития процессов и установить причинно-следственные связи.

Целью исследования является разработка комплексного алгоритма определения пространственно-временного состояния ТС, основанного на принципах системного анализа.

Методы исследования

Отсутствие унифицированного алгоритма определения ПВС ТС объясняется тем, что каждый объект индивидуален в своем конструктивном решении [19–25]. Основным инструментом, который применяется в большинстве программного обеспечения для решения сложных инженерных задач и моделирования, являются математические методы. Одни обладают большей общностью, другие имеют специальное назначение и используются для решения узкого круга практических задач. При этом часто возникают трудности выбора оптимального математического метода для решения поставленной задачи. Это зависит от поставленных целей, особенностей формы и геометрических параметров системы, методов геодезической съемки, особенностей динамических процессов и т. д.

Главной задачей контроля ПВС ТС является определение ее перехода из «безопасного» состояния в «опасное» для своевременного предупреждения чрезвычайной ситуации. Комплексный алгоритм определения пространственно-временного состояния техногенных систем по геодезическим данным направлен на решение этой задачи и основан на принципах системного анализа: декомпозиция и агрегирование. В алгоритм включены математические методы, оптимально подобранные для комплексной оценки ПВС системы. Принцип декомпозиции направлен на решение задачи определения ПВС ТС от общего (всей системы в целом) к частному (до неделимой части системы – геодезиче-

ской контрольной точки). Такой способ обеспечивает полное описание изменений ПВС системы, ее структурных частей в пространстве и времени, дает целостную картину всех динамических процессов, являющихся причиной изменения ПВС ТС. Далее приведена процедура декомпозиции, стоящая из уровней, количество которых зависит от сложности поставленных задач, геометрических особенностей системы, количества геодезических точек, расположенных в ТС.

I уровень декомпозиции включает:

- определение ПВС всей системы в целом в виде явной функции координат и времени методом фазового пространства;
- прогнозирование и расчет предельных значений функции ПВС ТС;
- принятие решения о дальнейшем анализе ПВС ТС.

Исходными данными для задачи выявления «опасного» ПВС является массив координат контрольных точек ТС $x_i(t), y_i(t), z_i(t), (i = 1, 2...n, t = 1, 2...m)$.

Для определения состояния ТС в целом в работе применяется метод фазового пространства. Состояние всей системы контрольных точек ТС в фазовом пространстве в момент времени t определяется одной фазовой точкой с координатами

$$\begin{cases} X(t) = (x_1(t), x_2(t) \dots x_n(t)) \\ Y(t) = (y_1(t), y_2(t) \dots y_n(t)), \\ Z(t) = (z_1(t), z_2(t) \dots z_n(t)) \end{cases} \quad (1)$$

где n – количество контрольных точек, а размерность фазового пространства равна R^n .

Изменение любого из параметров функции (1) с течением времени влияет на изменение состояния системы, при этом фазовая точка с координатами $X(t), Y(t), Z(t)$ займет другое положение в фазовом пространстве и определится координатами $X(t + \Delta t), Y(t + \Delta t), Z(t + \Delta t)$. След от перемещения фазовой точки в фазовом пространстве называется фазовой траекторией. Фазовая траектория является результатом агрегирования исходных данных, характеризует изменение ПВС техногенной системы в целом с течением времени и представляет собой явную функцию координат и времени.

Данными для определения границы перехода из «безопасного» в «опасное» пространственно-временное состояние служат величины предельно допустимых отклонений координат контрольных геодезических точек ТС – $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$, установленные СНиП или ГОСТ. Вычислив эквивалент допустимых отклонений координат $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ в фазовом пространстве $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, определим радиус-вектор сферы, которая представляет собой границу между «безопасным» и «опасным» состоянием ТС:

$$\bar{r} = \left(\overline{(X(t1) + \Delta X) - X(t1)}, \overline{(Y(t1) + \Delta Y) - Y(t1)}, \overline{(Z(t1) + \Delta Z) - Z(t1)} \right). \quad (2)$$

Для представления фазовой траектории в графическом виде, например в трехмерном пространстве, необходимо преобразовать n -мерное пространство в пространство меньшей размерности, $R^n \rightarrow R^3$:

$$\begin{cases} X(t) = \left(\sum x_i^2(t) \right)^{1/2} \\ Y(t) = \left(\sum y_i^2(t) \right)^{1/2} \\ Z(t) = \left(\sum z_i^2(t) \right)^{1/2} \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 1 приведены результаты определения фазовой траектории ТС при $n = 10$ и $m = 8$ и границы его предельного ПВС.

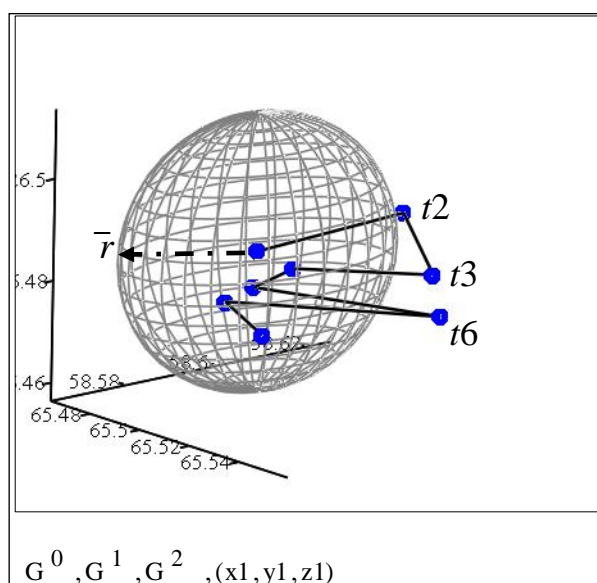


Рис. 1. Фазовая траектория изменения пространственно-временного состояния ТС

Результаты, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что состояние системы выходит за пределы границы сферы на моменты времени $t2, t3, t6$ и $t8$, что является предпосылкой для дальнейшего анализа ПВС.

II уровень декомпозиции включает:

– определение $F(t)$ формы ТС, $R(t)$ – размеров, $P(t)$ – положения в пространстве относительно системы координат, $O(t)$ – ориентации в пространстве, расчет прогнозных значений;

– определение поступательного \overline{Dp} , вращательного \overline{Dw} и относительного \overline{Do} (интегральной и дифференциальной деформации) видов движений, расчет прогнозных значений;

- определение причинно-следственных связей (при необходимости – запрос из внешней среды других параметров $K(t) = K(k_1(t), k_2(t) \dots k_n(t))$);
- принятие решения об анализе ПВС и, при необходимости, изучении ПВС структурных частей ТС.

Пространственно-временное состояние ТС характеризуется формой, размерами, положением и ориентацией в пространстве относительно неподвижной системы координат, определяется функцией

$$\text{ПВС}(t) = \text{ПВС}(F(t), R(t), P(t), O(t)), \quad (4)$$

где $F(t)$ – форма ТС, $R(t)$ – размеры, $P(t)$ – положение в пространстве относительно неподвижной системы координат, $O(t)$ – ориентация в пространстве, определенные как функции времени.

Изменение ПВС ТС происходит в результате движения и (или) деформации ТС или ее структурных частей. Анализ ПВС дает возможность выявлять «опасные» состояния ТС и принимать необходимые меры для снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Движение системы – это ее перемещение в пространстве. Согласно теоретической механике движение системы бывает поступательным и вращательным. Поступательное движение системы происходит в вертикальной или горизонтальной плоскости, а вращательное – вокруг неподвижной оси или оси, изменяющей свое положение. Деформация – это движение структурных частей системы относительно друг друга и окружающего пространства. Она характеризуется изменениями формы и размеров всего сооружения или отдельных его частей. Форма, размеры, ориентация и положение в пространстве ТС, отнесенные к некоторому моменту времени, определяют ее пространственно-временное состояние [4].

Движение \overline{D} ТС в трехмерном пространстве представляют совокупностью векторов поступательного \overline{Dp} , вращательного \overline{Dw} и относительного (деформация) \overline{Do} видов движений. Для их определения в явном виде необходимо выполнить процедуру декомпозиции:

$$\overline{D} = \overline{Dp} + \overline{Dw} + \overline{Do}. \quad (5)$$

Характеристики поступательного движения \overline{Dp} оцениваются по движению одной точки, чаще всего определяемой как среднее арифметическое координат контрольных точек системы. При вращательном движении \overline{Dw} ТС определяется ось вращения, которая может изменять или не изменять свое направление в пространстве. Для определения относительного движения ТС \overline{Do} необходимо знать ее форму $F(t)$ и размеры $R(t)$. Изменение формы свидетельствует об интегральной деформации, изменение размеров является признаком дифференциальной деформации.

Для определения формы ТС по координатам конечного множества контрольных точек необходимо выбрать геометрический образ, который принимается в качестве модели формы. После этого выполняют математическое описание выбранного геометрического образа формы системы.

На рис. 2–5 приведены примеры математического описания геометрических образов формы системы.

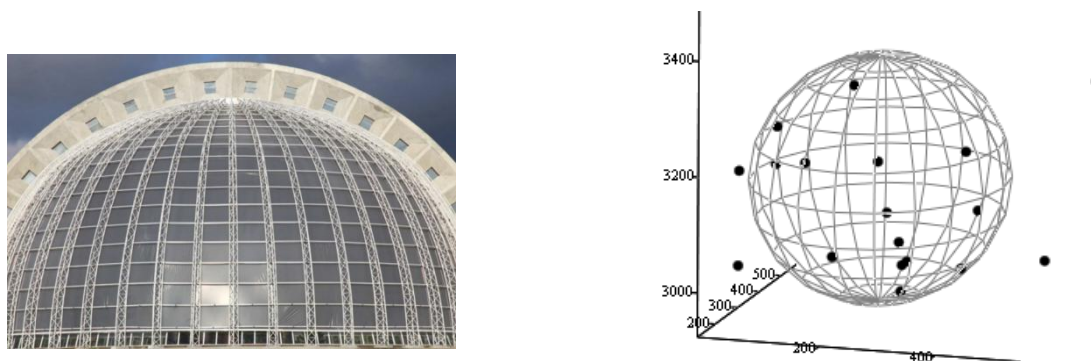


Рис. 2. Аппроксимация множества точек сферой

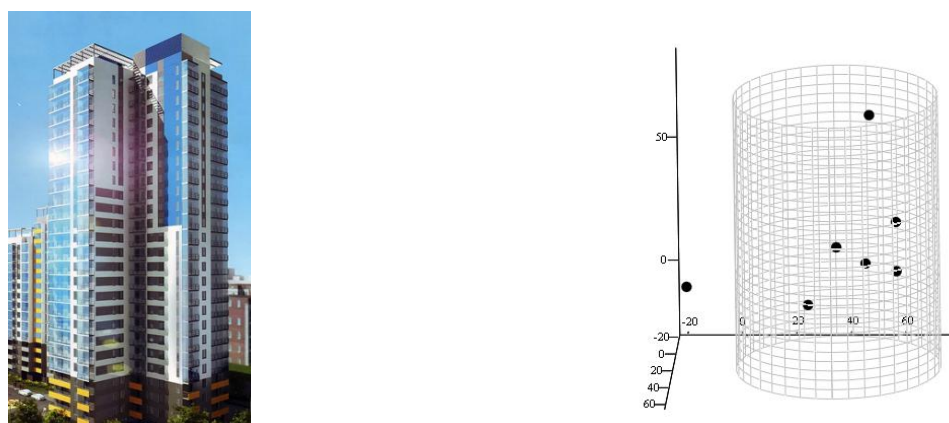


Рис. 3. Аппроксимация множества точек цилиндром

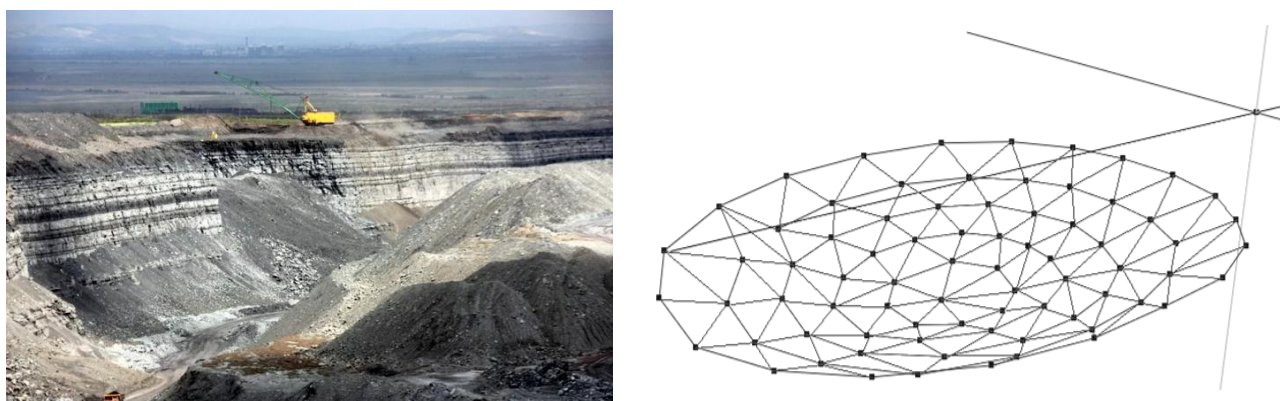
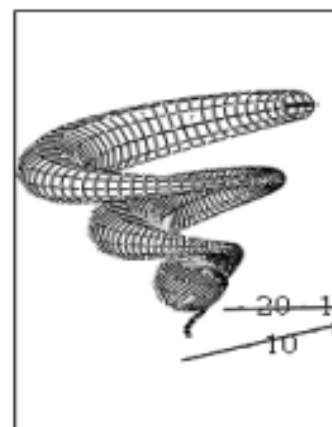


Рис. 4. Аппроксимация множества точек методом конечных элементов (метод Делоне)



(X, Y, Z), .d

Рис. 5. Аппроксимация множества точек спиралью в параметрическом представлении

III уровень декомпозиции включает:

- определение границ структурных частей (блоков);
- анализ функций изменения состояний структурных частей ТС;
- расчет прогнозного значения функций состояний структурных частей;
- расчет предельных значений функций состояний структурных частей;
- сравнительный анализ изменения ПВС структурных частей;
- определение $F(t)$, $R(t)$, $P(t)$, $O(t)$ для каждой структурной части;
- определение \overline{Dp} , \overline{Dw} , \overline{Do} (интегральной и дифференциальной деформации), расчет прогнозных значений;
- определение причинно-следственных связей (при необходимости – запрос из внешней среды других параметров: $K(t) = K(k_1(t), k_2(t) \dots k_n(t))$);
- принятие решения о структурировании ТС и анализе ПВС ее структурных частей.

Неравномерное влияние внешних факторов на ТС может привести к деформационным процессам, и, как следствие, к разделению системы на структурные части. Каждая структурная часть под воздействием внешних факторов может иметь разное направление движения в пространстве и разную скорость. Поэтому необходимо решение задачи обнаружения границ между блоками и определения ПВС каждого из них [3]. Выявление границ структурных частей основано на применении алгоритмов кластеризации, а процедуру принятия решения о структурировании системы предлагается выполнить с применением алгоритма «дерево решений» (рис. 6).

Граф, представленный алгоритмом «Дерево решений», включает в себя корневую вершину, которая содержит вопрос «Изменяется ли ПВС ТС в целом или нет?». Считаем, что ПВС ТС не изменяется тогда, когда отклонение

состояния S системы от первоначального S_0 не превышает допустимого значения E :

$$|S - S_0| \leq E, \quad (6)$$

т. е. состояние не выходит за границу «безопасного» состояния, определенную радиусом (2).

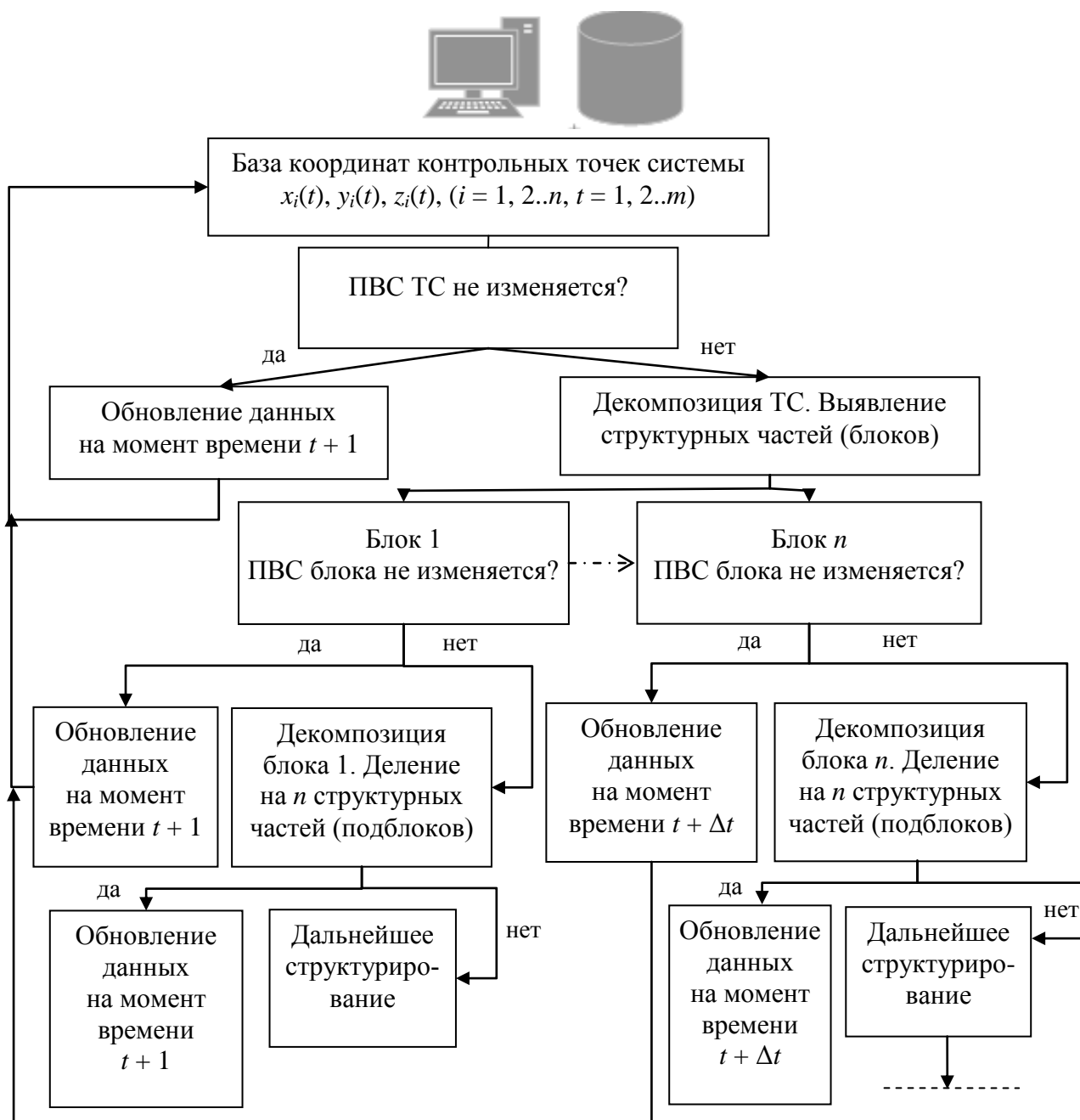


Рис. 6. Структурная схема алгоритма принятия решения о декомпозиции ТС для определения и прогнозирования ПВС структурных частей системы методом «Дерево решений»

Если на вершине первого уровня графа обнаруживается изменение пространственно-временного состояния ТС в целом (при условии нарушения неравенства (6)) и (или) ожидается неблагоприятный прогноз, то требуется декомпозиция исследуемой ТС на структурные части (блоки), и действие переходит к вершине следующего уровня алгоритма. На втором уровне определяется, анализируется и прогнозируется ПВС каждого блока, и в случае обнаружения изменения состояния принимается решение о структурировании блоков на более мелкие структурные части (подблоки). Деление на структурные части регламентируется количеством контрольных точек ТС. Если состояние ТС или его структурной части не изменилось, то дальнейшей процедуры структурирования не происходит до поступления множества данных $x_i(t + \Delta t)$, $y_i(t + \Delta t)$, $z_i(t + \Delta t)$ на следующий момент времени. Приведенный алгоритм позволяет выявить структурные части системы и определить их пространственно-временное состояние, определить области деформации ТС, что способствует оперативной оценке общей картины развития деформационных процессов.

Результаты исследования

1. Показаны математические алгоритмы определения пространственно-временного состояния ТС: определение состояния ТС в целом в виде единой функции координат и времени в фазовом пространстве; определение границ между «опасным» и «безопасным» состоянием; определение формы, размеров, ориентации и положения ТС в пространстве и времени; декомпозиция движения ТС на поступательный, вращательный и относительный виды; декомпозиция ТС на более простые структурные части (блоки) на основании алгоритма принятия решения с дальнейшим выбором подходящего математического метода.

2. Приведены примеры подбора математического метода по форме техногенной системы.

3. Определена структурная схема алгоритма принятия решения о декомпозиции ТС для определения и прогнозирования ПВС структурных частей системы методом «Дерево решений».

4. Разработан комплексный алгоритм определения пространственно-временного состояния техногенных систем по геодезическим данным, основанный на процедурах системного анализа.

Изложенные математические методы определения пространственно-временного состояния ТС и структурная схема комплексного алгоритма определения ПВС ТС могут быть использованы в автоматизированных системах мониторинга и программном обеспечении, предназначенном для контроля пространственно-временного состояния техногенных систем, что позволит значительно снизить риск возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Результаты исследований найдут применение при оценке и анализе техногенного риска в процессе проектирования, строительства и эксплуатации инженерно-технических систем: зданий и сооружений, дорог, нефте- и газопроводов, при решении задач физической геодинимики, в картографии, экологии и геоинформатике, а также могут быть использованы для определения пространственно-временного состояния технических систем любой сложности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 22.1.12–2005. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М. : ИПК, Изд-во стандартов, 2005.
2. Бугакова Т. Ю., Басаргин А. А., Каленицкий А. И. Применение ГИС-технологий и методов математического моделирования для определения крена плиты фундамента инженерного сооружения // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 70–78.
3. Бугакова Т. Ю., Кноль И. А., Шарапов А. А. Разработка аппаратно-программного комплекса для прогнозирования и определения оптимального варианта изменения пространственно-временного состояния техногенных объектов // Национальная научно-практическая конференция «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» : сб. материалов в 2 ч. (Новосибирск, 14–15 декабря 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Ч. 2. – С. 183–190.
4. Бугакова Т. Ю., Шарапов А. А. Алгоритмы функционирования мультиагентной системы определения пространственно-временных состояний объекта // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «больших данных» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 3–7.
5. Управление на базе мультиагентных систем [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский государственный университет. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24081>.
6. Карпик А. П. Проблемы геодезического обеспечения мониторинга территорий. Анализ и инновации в начале XXI столетия : сб. материалов межрегиональной междисциплинарной научной конференции. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 13–20.
7. Хиллер Б., Ямбаев Х. К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 19–31.
8. Карпик А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4. – С. 3–7.
9. Хиллер Б., Ямбаев Х. К. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. – № 3. – С. 33–38.
10. Мазуров Б. Т. Геодинамические системы (кинематические и деформационные модели блоковых движений) // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 5–15.
11. Vorobev A. V., Shakirova G. R. Web-Based Geoinformation System for Exploring Geomagnetic Field, Its Variations and Anomalies // Geographical Information Systems Theory, Applications and Management. Series Communications in Computer and Information Science. – 2016. – Vol. 582. – P. 22–35.

12. Brian J. Coutts. Redefining the Profession of Land Surveying: A First Step. TS01E – Surveying Today and Tomorrow – 6558 // FIG Working Week 2013 Environment for Sustainability (Abuja, 6–10 May 2013). – Abuja, Nigeria, 2013.
13. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Лисицкий Д. В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 22–29.
14. Neuner H., Schmitt C., Neumann I. Modelling of terrestrial laser-scanning profile measurements with // Proceedings of the 2nd Joint international Symposium on Deformation Monitoring. – Nottingham, England, 2013.
15. Mazuyer F., Vanderschueren M. TS01E – Surveying Practice across the world – 6676 // FIG Working Week 2013 Environment for Sustainability (Abuja, 6–10 May 2013). – Abuja, Nigeria, 2013.
16. Studies on the static and dynamic behavior of the Sayano-Shushenskaya arch gravity dam / A. I. Savich, V. I. Bronshtein, M. E. Groshev, E. G. Gaziev, M. M. Il'in, V. I. Rechitskii // International Journal on Hydropower and Dams. – 2013. – Vol. 20, № 6. – P. 453–458.
17. Ghiasian M., Ahmadi M. T. Effective model for dynamic vertical joint opening of concrete arch dam // Proceedings of the International Symposium on Dams for a Changing World – 80th Annual Meet and 24th Congress of ICOLD. – Kyoto, Japan. 2012. – P. 41–46.
18. Голубкин А. С., Хорошилов В. С. Деформационный мониторинг высотных зданий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016 : XII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 127–134.
19. Zarzoura F., Ehigiator-Irughe R., Mazurov B. Utilizing of Mathematical Frame Work in Bridge Deformation Monitoring // Asian Journal of Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 02, Issue 04. – P. 293–300.
20. Geologic-engineering and geomechanical models of the rock mass in the bed of the dam at the Sayano-Shushenskaya HPP / A. I. Savich, M. M. Il'in, V. P. Elkin, V. I. Rechitskii, A. V. Basova // Power Technology and Engineering. – 2013. – Vol. 47, № 2. – P. 89–101.
21. Кобелева Н. Н., Хорошилов В. С. Результаты практических исследований прогнозирования перемещений контролируемых точек плотины Саяно-Шушенской ГЭС после аварии 2009 года // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018 : XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 131–137.
22. Finding the right algorithm – Low-Cost, Single-Frequency GPS/GLONASS RTK for Road Users / S. Carcanague, O. Julien, W. Vigneau, C. Macabiau, G. Hein // Inside GNSS. – 2013. – Vol. 8, No. 6. – P. 7–80.
23. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more. – Wien, New-York : Springer, 2008. – 516 p.
24. Хорошилов В. С., Кобелева Н. Н., Гуляев Ю. П. Совершенствование методики построения математических моделей для прогнозирования горизонтальных перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС на период эксплуатации после аварии 2009 г. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 2. – С. 23–30.
25. Никитин А. В., Хорошилов В. С. Система контроля пространственной информации в мостостроении // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11. – 5 (53). – С. 95–98.

Получено 13.06.2019

© Т. Ю. Бугакова, 2019

COMPLEX ALGORITHM FOR DETERMINING THE SPATIO-TEMPORAL STATE OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FROM GEODETIC DATA

Tatiana Yu. Bugakova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Systems, phone: (383)343-18-53, e-mail: kaf.pi@ssga.ru

The development of a complex algorithm for determining the spatio-temporal state of technogenic systems (STS TS) from geodetic data is presented. The algorithm is based on the procedures of system analysis: decomposition and aggregation, allows to identify any changes in the STS TS as a whole or its structural parts, to determine the change of the system's geometric parameters, types and parameters of motion. Mathematical methods of describing the space-time state of TS are given: determination of the shape, size, orientation and position in space and time. The decomposition of TS motion into translational, rotational, relative (integral and differential deformation) is performed. A structural scheme of a complex algorithm for determining the STS of TS has been developed, which can be used as the basis of an automated control system of the STS TS.

Key words: space-time state, technogenic system, mathematical methods, phase space, complex algorithm, decomposition, motion, deformation, phase trajectory, software, automated control systems, system analysis, aggregation, emergency situations, geodetic control.

REFERENCES

1. National standard of the Russian Federation GOST R 22.1.12-2005. (2005). Structured system of monitoring and management of engineering systems of buildings and structures. General requirements. Moscow: IPK Standards Publ. [in Russian].
2. Bugakova, T. Yu., Basargin, A. A., & Kalenitskiy, A. I. (2018). Application of GIS-technologies and methods of mathematical modeling for definition of plate roll is the Foundation of engineering structures. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 70–78 [in Russian].
3. Bugakova, T. Y., Knol', I. A., & Sharapov, A. A. (2017). Development of a hardware-software complex for prediction and determination of optimal variant of spatial and temporal changes in condition of man-made objects. In *Sbornik materialov Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Ch. 2. Regulirovanie zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya [Proceedings of the National Scientific and Practical Conference: Part 2. Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions]* (pp. 183–190). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
4. Bugakova, T. Yu., & Sharapov, A. A. (2017). Functioning Algorithms of multi-agent system for determination of space-time States of the object. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2017: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Rannee preduprezhdenie i upravlenie v krizisnykh situatsiyakh v epokhu «bol'shikh dannykh [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Early warning and crisis management in the era of "big data"]* (pp. 3–7). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
5. Management on the basis of multi-agent systems. (n. d.). St. Petersburg state University. Retrieved from <http://www.intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24081ahhh!>.
6. Karpik, A. P. (2012). Problems of geodetic support of monitoring of territories. Analysis and innovation at the beginning of the XXI century. In *Sbornik materialov Mezhdistsiplinarnoy nauchnoy konferentsii [Proceedings of the Interregional Interdisciplinary Scientific Conference]* (pp. 13–20). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

7. Hiller, B., & Yambaev, H. K. (2016). Development and full-scale testing of the automated system of deformation monitoring. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Plenarnoe zasedanie [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: Plenary session]* (pp. 19–31). : Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
8. Karpik, A. P. (2014). Analysis of the status and challenges of geoinformation support of the territory. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 3–7 [in Russian].
9. Hiller, B., & Yambaev, H. K. (2016). A study of the automated system for deformation monitoring of security cameras. *Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 33–38 [in Russian].
10. Mazur, B. T. (2016). Geodynamic system (kinematic and deformation model of block movements). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(35), 5–15 [in Russian].
11. Vorobev, A. V., & Shakirova, G. R. (2016). Web-Based Geoinformation System for Exploring Geomagnetic Field, Its Variations and Anomalies. *Geographic Information Systems Theory, Applications and Management. Series Communications in Computer and Information Science*, 582, 22–35.
12. Coutts, B. J. (2013). Redefining the Profession of Land Surveying: A First Step. TS01E – Surveying Today and Tomorrow – 6558. In *FIG Working Week 2013 Environment for Sustainability*. Abuja, Nigeria.
13. Gulyaev, Yu. P., Khoroshilov, V. S., & Lisitsky, D. V. (2014). On the correct approach to mathematical modeling of deformation processes of engineering structures according to geodetic data. *Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4/S, 22–29 [in Russian].
14. Neuner, H., Schmitt, C., & Neumann, I. (2013). Modeling of terrestrial laser-scanning profile measurements with. In *Proceedings of the 2nd Joint International Symposium on Deformation Monitoring*. Nottingham, England.
15. Mazuyer, F., & Vanderschueren, M. (2013). TS01E – Surveying Practice across the world – 6676. In *FIG Working Week 2013 Environment for Sustainability*. Abuja, Nigeria.
16. Savich, A. I., Bronshtein, V. I., Groshev, M. E., Gaziev, E. G., Il'in, M., & Rechitskii, V. I. (2013). Studies on the static and dynamic behavior of the Sayano-Shushenskaya arch gravity dam. *International Journal on Hydropower and Dams*, 20(6), 453–458.
17. Ghiasian, M., & Ahmadi, M. T. (2012). Effective model for dynamic vertical joint opening of concrete arch dam. In *Proceedings of the International Symposium on Dams for a Changing World – 80th Annual Meet and 24th Congress of ICOLD* (pp. 41–46). Kyoto, Japan.
18. Golubkin, A. S., & Khoroshilov, V. S. (2016). Deformation monitoring of high-rise buildings. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Magisterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: Master degree scientific session "First steps in science"]* (pp. 127–134). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
19. Zarzoura, F., Ehigiator-Irughe, R., & Mazurov, B. (2014). Utilizing of Mathematical Frame Work in Bridge Deformation Monitoring. *Asian Journal of Engineering and Technology*, 02(04), 293–300.
20. Savich, A. I., Il'in, M. M., Elkin, V. P., Rechitskii, V. I., & Basova A. B. (2013). Geological-engineering and geomechanical models of the rock mass in the bed of the dam at the Sayano-Shushenskaya HPP. *Power Technology and Engineering*, 47(2), 89–101.
21. Kobeleva, N. N., & Khoroshilov, V. S. (2018). Results of practical studies of predicting the movements of controlled points of the Sayano-Shushenskaya hydroelectric dam after the accident in 2009. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2018: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2018: International Scientific Conference: Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 131–137). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

22. Carcanague, S., Julien, O., Vigneau, W., Macabiau, C., & Hein G. (2013). Finding the right algorithm – Low-Cost, Single-Frequency GPS/GLONASS RTK for Road Users. *Inside GNSS*, 8(6), 7–80.

23. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more*. Wien, New-York: Springer, 516 p.

24. Khoroshilov, V. S., Kobeleva, N. N., & Gulyaev, Yu. P. (2017). Improvement of the method of constructing mathematical models for predicting horizontal movements of the Sayano-Shushenskaya hydroelectric dam for the period of operation after the accident in 2009. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2, 23–30.

25. Nikitin, A. V., & Khoroshilov, V. S. (2016). Spatial information control system in bridge construction. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]*, 11-5(53), 95–98 [in Russian].

Received 13.06.2019

© T. Yu. Bugakova, 2019