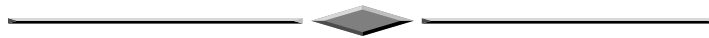


ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ



УДК 502.22:528

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-2-5-18

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

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

Татьяна Александровна Соловьева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (913)773-55-47, e-mail: kaf.pi@ssga.ru

В работе рассмотрена методика определения и оценки пространственно-временного состояния техногенных систем по геодезическим данным. Определено пространственно-временное состояние техногенной системы в целом как системы функционально взаимосвязанных элементов (геодезических контрольных точек) методом фазового пространства. Выполнена оценка пространственно-временных состояний техногенной системы в моменты времени t с помощью статистического метода – контрольных карт качества, которые дают возможность определить границы между «безопасным» и «опасным» состоянием и степень риска перехода из «безопасного» в «опасное» состояние, путем нахождения точек бифуркации системы. Рассмотренная методика может служить только для первичной оценки пространственно-временного состояния техногенной системы в целом. Результаты исследований могут найти применение в автоматизированных системах мониторинга.

Ключевые слова: пространственно-временное состояние, техногенная система, статистические методы, контрольные карты качества, фазовое пространство, риск, точки бифуркации.

Введение

Техногенная система (ТС) – это сложная, искусственно созданная человеком конструкция, которая работает в контакте с природной и окружающей средой. Причинами аварий и катастроф, возникающих в ТС, являются геодинамические процессы и неправильная эксплуатация человеко-машинных систем (ЧМС). Абсолютную безопасность техногенных систем не может гарантировать

ни одна современная технология. В связи с этим возникает необходимость минимизировать этот риск [1–3]. Одной из главных задач, связанных с обеспечением безопасности и снижением риска возникновения чрезвычайных ситуаций при строительстве и эксплуатации техногенных систем, является определение и оценка их пространственно-временного состояния (ПВС), что может быть обеспечено совокупностью геодезических и математических методов [4–13].

Цель исследования

Для контроля пространственно-временного состояния техногенных систем используются геодезические методы. Исходными данными при этом служат временные ряды координат $X_j(t_i), Y_j(t_i), Z_j(t_i)$, $j=1\dots k$, где j – индекс контрольных геодезических точек (марок, датчиков, пунктов и т. д.); k – их количество. Координаты определены как функции времени t_i , где $i=1\dots n$ – номер цикла наблюдений; n – количество временных циклов. Кроме этого, геодезическими данными для определения ПВС могут являться углы кренов сооружений, расстояния и другие геометрические параметры, которые можно получить в результате непосредственных измерений геодезическими приборами. Геодезическими методами определяется положение каждой контрольной точки (КТ) в пространстве и времени относительно условно принятой неподвижной системы координат. Оценка изменения ПВС ТС производится путем определения приращения координат $\Delta X_j(t_{i-1}), \Delta Y_j(t_{i-1}), \Delta Z_j(t_{i-1})$ каждой КТ относительно координат на момент времени t_1 и сравнения этих значений с установленным допустимым значением. Такой подход к контролю ПВС ТС в геодезии является классическим, требует обработки больших массивов данных и применения математических методов, позволяющих выполнить оценку изменения пространственно-временного состояния ТС в местах расположения КТ. Выводы о риске перехода ТС из «безопасного» состояния в «опасное» делают на основании информации, полученной при расчете $\Delta X_j(t_{i-1}), \Delta Y_j(t_{i-1}), \Delta Z_j(t_{i-1})$ каждой контрольной точки ТС. При этом описание изменения ПВС ТС в целом в виде явной функции координат и времени в классических методах не выполняется [4–8].

Целью исследования является разработка методики определения и оценки пространственно-временного состояния техногенной системы по геодезическим данным в виде явной функции координат и времени.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) определение ПВС ТС в целом как системы функционально взаимосвязанных между собой элементов (геодезических контрольных точек);
- 2) оценка пространственно-временных состояний ТС в моменты времени t_i .

Методы исследования

1. Для определения ПВС техногенной системы как системы функционально взаимосвязанных между собой элементов авторами предлагается применить метод фазового пространства.

Фазовое пространство – это пространство, каждая точка которого соответствует одному и только одному состоянию из множества всех возможных состояний системы [2, 3]. Состояние S системы определяется совокупностью ее свойств, выбранных для достижения цели определения S , в фиксированный момент времени. Размерность фазового пространства зависит от количества учитываемых свойств. Свойствами, характеризующими пространственно-временное состояние системы, являются геодезические координаты $X_j(t_i)$, $Y_j(t_i)$, $Z_j(t_i)$ множества контрольных точек. Состояние всей системы контрольных точек в фазовом пространстве в момент времени t определяется одной фазовой точкой с координатами

$$S(t_i) = \begin{cases} X_f(t_i) = (X_1(t_i), X_2(t_i) \dots X_k(t_i)) \\ Y_f(t_i) = (Y_1(t_i), Y_2(t_i) \dots Y_k(t_i)) \\ Z_f(t_i) = (Z_1(t_i), Z_2(t_i) \dots Z_k(t_i)) \end{cases}, \quad (1)$$

где X_f , Y_f , Z_f – фазовые координаты точки в фазовом пространстве;

k – количество контрольных точек.

Размерность фазового пространства зависит от количества учитываемых координат (свойств) и равна R_k .

Изменение любой из координат функции (1) с течением времени характеризует изменение состояния объекта, при этом точка $X_f(t_i)$, $Y_f(t_i)$, $Z_f(t_i)$ в фазовом пространстве переместится в точку с координатами $X_f(t_{i+1})$, $Y_f(t_{i+1})$, $Z_f(t_{i+1})$. След от перемещения фазовой точки в фазовом пространстве называется фазовой траекторией, характеризующей изменение состояния объекта в целом как системы функционально взаимосвязанных между собой элементов.

Для того чтобы отобразить графически фазовую траекторию, необходимо применить метод сжатия k -мерного пространства, т. е. привести R_k к R_3 .

$$S(t_i) = \begin{cases} X_f(t_i) = (\sum X_j^2(t_i))^{1/2} \\ Y_f(t_i) = (\sum Y_j^2(t_i))^{1/2} \\ Z_f(t_i) = (\sum Z_j^2(t_i))^{1/2} \end{cases}. \quad (2)$$

Фазовая траектория, представленная функцией (2), определяет пространственно-временное состояние техногенной системы в целом как системы функционально взаимосвязанных между собой элементов (геодезических контрольных точек) и характеризуется явной функцией координат и времени $S(t_i)$.

2. Главными вопросами в задаче оценки пространственно-временных состояний системы в моменты времени t_i являются:

- 1) определение границы между «безопасным» и «опасным» состоянием;
- 2) определение степени риска перехода из «безопасного» в «опасное» состояние.

Задачи будут решены, если по имеющимся данным определить в фазовом пространстве состояние объекта и установить соответствие между его пространственно-временным состоянием и мерой «опасности» (риском) перехода в это состояние [2].

Риск – это случайная величина, в полной мере характеризующаяся своим законом распределения вероятностей. Риск возникает в одном из возможных состояний, каждое из которых интерпретируется как точка в фазовом пространстве. Тогда возникает необходимость определения предельно допустимых границ смещения фазовой точки относительно первоначального ее положения в момент времени t_1 [3, 15].

Существует множество вариантов решения рассмотренной задачи. Один из интересных вариантов, по мнению авторов, заключается в применении статистического метода управления качеством [16].

Одним из основных инструментов в обширном арсенале статистических методов контроля качества являются контрольные карты. Контрольные карты качества (ККК) – это инструмент, позволяющий контролировать протекание процесса изменения состояния ТС и воздействовать на него, предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований. Процесс изменения состояния, в данном случае, представляется генеральной совокупностью состояний, значения которых сопоставляются случайным величинам. В дискретные моменты времени оценивается значение состояния ТС по выбранным критериям, критерии сравниваются с допустимыми величинами. Выход состояния за допустимые величины является предпосылкой для принятия решений. Результаты этой оценки графически фиксируются на ККК.

Контрольные карты строятся в произвольном масштабе. По оси абсцисс откладываются дискретные моменты взятия выборок значений состояний ТС или их текущие номера, а по оси ординат – реализации выборочного значения состояния. В качестве ориентира на контрольной карте проводится центральная линия M – прямая, параллельная оси абсцисс, определяющая среднее значение выборки или установленное значение, принимаемое за начальное состояние ТС. Расстояние центральной линии от оси абсцисс соответствует заданному в нормативной или технической документации номинальному значению контролируемого состояния, например, допуску.

Параллельно центральной линии М на контрольной карте наносятся две линии – верхняя (OEG) и нижняя (UEG) контрольные границы. Контрольные границы, указывающие предельно допустимые значения процесса, ограничивают диапазон 99 %-ного разброса значений выборочных состояний, который, как правило, обусловлен влиянием внешних факторов.

На контрольную карту наносятся еще две дополнительные линии – верхняя (OWG) и нижняя (UWG) предупреждающие границы, которые соответствуют 95 %-ному разбросу значений выборочных состояний.

Таким образом, предельно допустимые границы разброса определяют границы между «безопасным» и «опасным» состоянием ТС, а предупреждающие границы разброса могут служить показателями риска перехода из «безопасного» в «опасное» состояние.

Результаты исследований

1. В качестве экспериментальных данных для решения задачи определения пространственно-временного состояния техногенной системы в целом, как системы функционально взаимосвязанных элементов, приняты координаты контрольных точек $X_j(t_i), Y_j(t_i), Z_j(t_i)$, где $j = 1, 2...10, i = 1, 2...12$, приведенных в табл. 1–3.

Таблица 1

Координаты контрольных точек Z (м)

№ цикла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Z_f (y.e.)
1	41,366	41,455	41,459	41,455	41,362	41,451	41,352	41,351	41,366	41,459	130,942
2	41,368	41,456	41,465	41,452	41,366	41,450	41,355	41,352	41,368	41,456	130,946
3	41,365	41,459	41,461	41,456	41,367	41,456	41,351	41,355	41,369	41,459	130,949
4	41,361	41,455	41,463	41,458	41,366	41,452	41,359	41,358	41,362	41,455	130,947
5	41,360	41,458	41,460	41,457	41,362	41,455	41,353	41,352	41,362	41,451	130,941
6	41,365	41,465	41,452	41,452	41,361	41,457	41,351	41,356	41,363	41,452	130,942
7	41,362	41,462	41,452	41,450	41,360	41,459	41,358	41,355	41,365	41,452	130,942
8	41,369	41,461	41,456	41,456	41,362	41,458	41,359	41,356	41,361	41,456	130,948
9	41,365	41,460	41,451	41,455	41,369	41,461	41,358	41,359	41,360	41,451	130,947
10	41,368	41,459	41,463	41,355	41,370	41,455	41,353	41,360	41,359	41,460	130,919
11	41,368	41,459	41,463	41,355	41,362	41,461	41,357	41,357	41,359	41,463	130,920
12	41,366	41,458	41,462	41,455	41,368	41,460	41,357	41,358	41,358	41,462	130,951

Таблица 2

Координаты контрольных точек X (м)

№ цикла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X_f (y.e.)
1	26,503	5,000	5,003	26,500	28,003	29,503	49,501	49,500	29,002	28,002	98,159
2	26,502	5,004	5,002	26,505	28,005	29,502	49,505	49,505	29,006	28,002	98,166
3	26,500	5,004	5,004	26,504	28,002	29,500	49,502	49,501	29,000	28,005	98,159
4	26,500	5,002	5,004	26,501	28,003	29,503	49,501	49,503	29,004	28,001	98,160
5	26,503	5,005	5,004	26,505	28,001	29,504	49,503	49,501	29,000	28,007	98,162
6	26,504	5,004	5,000	26,500	28,001	29,503	49,505	49,503	29,000	28,007	98,163
7	26,501	5,005	5,002	26,505	28,001	29,500	49,505	49,503	29,004	28,000	98,162
8	26,505	5,006	5,004	26,502	28,005	29,502	49,500	49,501	29,001	28,003	98,160
9	26,505	5,000	5,007	26,501	28,000	29,505	49,504	49,504	29,005	28,007	98,165
10	26,502	5,005	5,003	26,501	28,001	29,502	49,501	49,501	29,000	28,006	98,159
11	26,501	5,003	5,003	26,503	28,000	29,500	49,501	49,504	29,004	28,003	98,160
12	26,505	5,006	5,007	26,505	28,005	29,505	49,505	49,505	29,006	28,007	98,169

Таблица 3

Координаты контрольных точек Y (м)

№ цикла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Y_f (y.e.)
1	15,001	15,045	36,504	36,501	30,500	29,004	29,000	3,502	3,502	13,504	77,043
2	15,001	15,045	36,504	36,500	30,503	29,000	29,005	3,501	3,504	13,500	77,043
3	15,000	15,018	36,504	36,502	30,501	29,002	29,002	3,502	3,504	13,505	77,039
4	15,003	15,042	36,501	36,502	30,502	29,000	29,004	3,503	3,501	13,501	77,042
5	15,005	15,041	36,504	36,504	30,501	29,005	29,005	3,501	3,502	13,502	77,047
6	15,001	15,022	36,500	36,503	30,503	29,004	29,005	3,500	3,502	13,504	77,040
7	15,001	15,045	36,500	36,503	30,505	29,002	29,001	3,501	3,501	13,504	77,044
8	15,003	15,033	36,500	36,502	30,500	29,002	29,003	3,503	3,502	13,500	77,039
9	15,005	15,043	36,505	36,500	30,505	29,003	29,003	3,504	3,504	13,501	77,046
10	15,001	15,011	36,504	36,501	30,500	29,004	29,001	3,502	3,505	13,500	77,036
11	15,005	15,005	36,502	36,502	30,501	29,003	29,000	3,504	3,505	13,503	77,036
12	15,005	15,050	36,505	36,505	30,505	29,005	29,005	3,505	3,505	13,505	77,052

Свойствами пространственно-временного состояния ТС являются координаты контрольных точек $X_j(t_i), Y_j(t_i), Z_j(t_i)$. Каждая строка с координатами, приведенными в табл. 1–3, определяет ПВС ТС в момент времени t_i .

Размерность фазового пространства определяется количеством выбранных свойств ТС, т. е. $k = 10$. По методу сжатия n -мерного пространства по формуле (2) получены координаты фазовых точек $X_f(t_i), Y_f(t_i), Z_f(t_i)$ на 12 моментов времени. На рис. 1 приведена фазовая траектория $S(t_i)$ в виде единой функции координат и времени, характеризующая пространственно-временное состояние техногенной системы в целом как системы функционально взаимосвязанных между собой элементов.

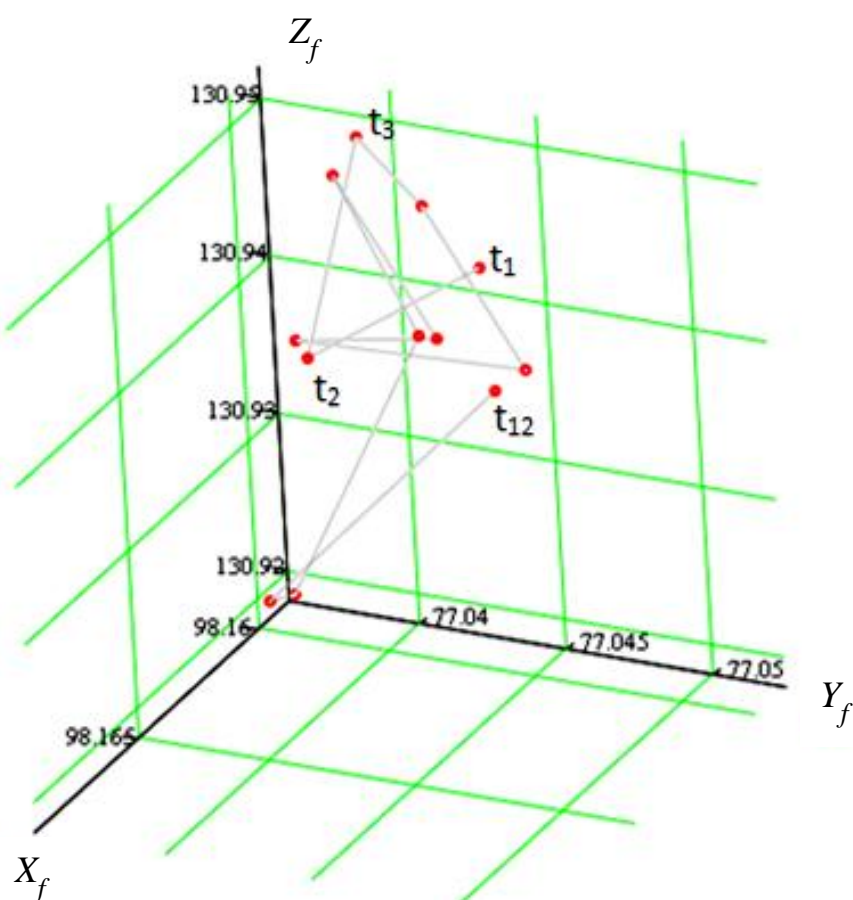


Рис. 1. Фазовая траектория изменения пространственно-временного состояния техногенной системы

Перемещение фазовой точки в фазовом пространстве свидетельствует о том, что состояние ТС изменяется. Поэтому возникает вопрос об оценке ПВС ТС.

2. Для решения задачи оценки пространственно-временных состояний ТС построены контрольные карты качества. Исходными данными являются значения функции (2).

Условия эксперимента следующие:

– значения функции изменения ПВС ТС представляют собой полную выборку случайных величин объемом $n = 12$, имеющую нормальное распределение;

– M – установленное значение, принимаемое за начальное состояние ТС;

– σ – допустимое отклонение значения фазовых координат от начального значения M , при условно принятом допустимом приращении координат $\Delta X_j(t_i), \Delta Y_j(t_i), \Delta Z_j(t_i) = 0,005$ м.

Расчеты для определения предельных и предупреждающих границ выполнены в программе MathCad [17] (рис. 2). Результаты расчетов приведены в табл. 4.

$$\begin{aligned} \text{OEG} &:= \text{qnorm}\left(0.99, \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \\ \text{OWG} &:= \text{qnorm}\left(0.95, \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \\ \text{UWG} &:= \text{qnorm}\left(0.05, \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \\ \text{UEG} &:= \text{qnorm}\left(0.01, \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \end{aligned}$$

Рис. 2. Расчет предельных и предупреждающих границ, соответствующих 99 %-ному и 95 %-ному разбросу значений выборочных состояний функции $S(t_i)$

Таблица 4

Значения предельных и предупреждающих границ, соответствующих 99 %-ному и 95 %-ному разбросу значений выборочных состояний функции $S(t_i)$

	σ	OEG	OWG	M	UWG	UEG
$X_f(t)$	0,016	98,170	98,167	98,159	98,151	98,148
$Y_f(t)$	0,016	77,054	77,051	77,043	77,035	77,032
$Z_f(t)$	0,016	130,953	130,950	130,942	130,934	130,931

Карты средних квадратичных отклонений с предельными и предупреждающими границами для выборки из 12 значений функции $S(t_i)$ приведены на рис. 3–5.

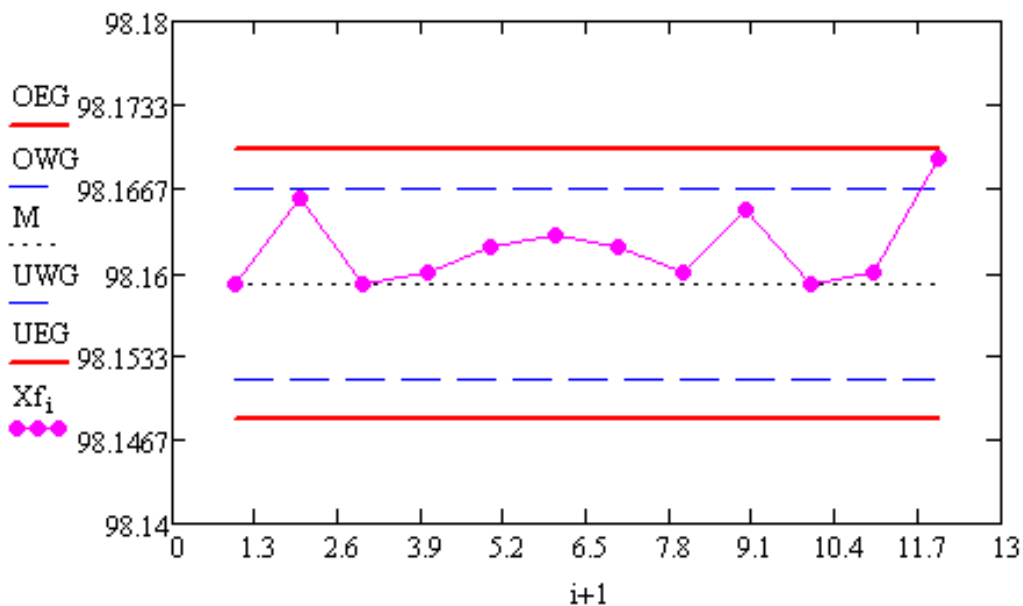


Рис. 3. Контрольная карта фазовых координат $X_f(t_i)$

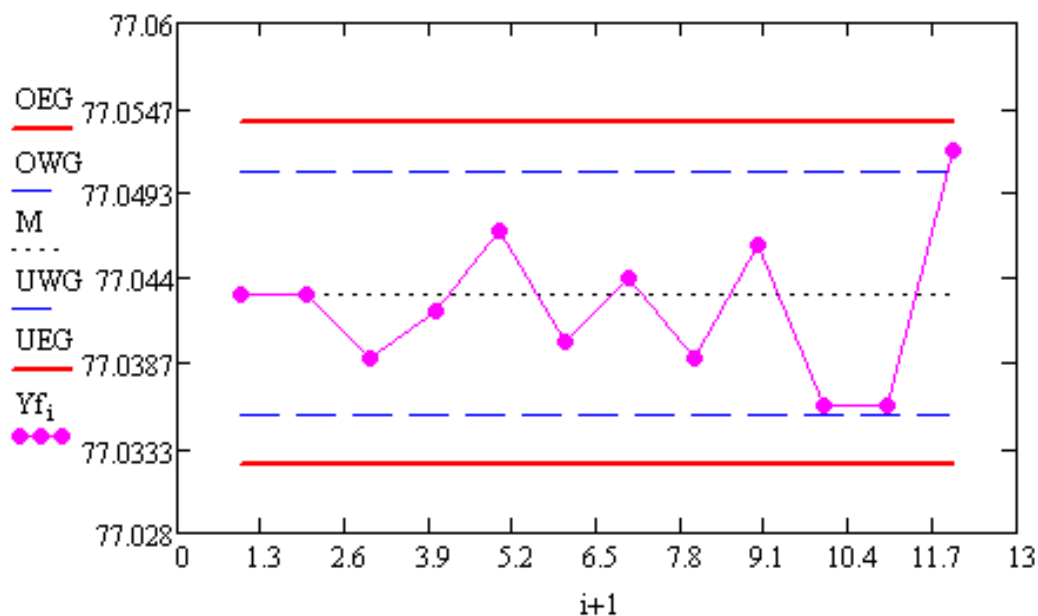


Рис. 4. Контрольная карта фазовых координат $Y_f(t_i)$

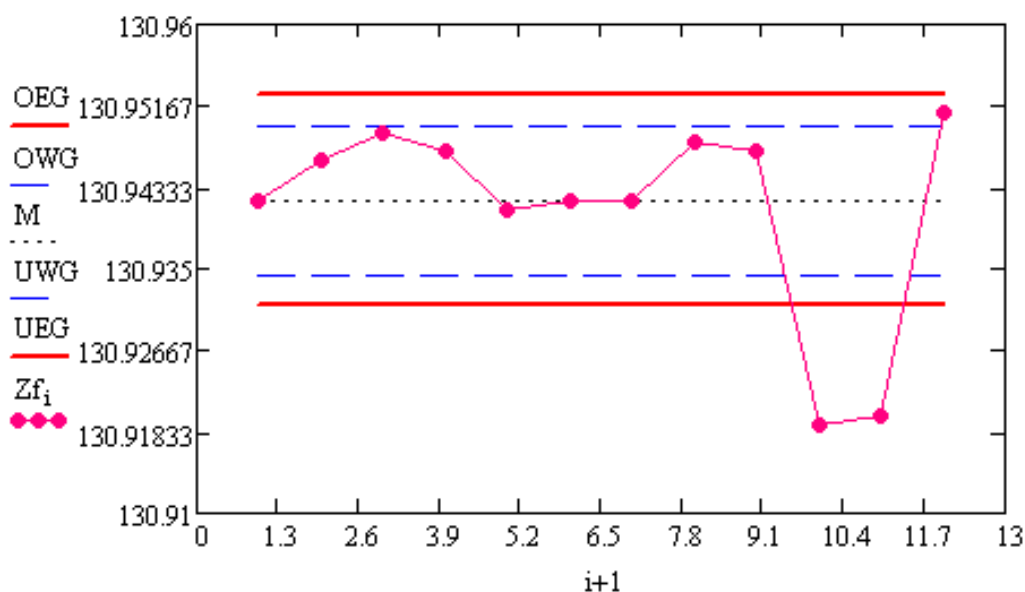


Рис. 5. Контрольная карта фазовых координат $Z_f(t_i)$

По результатам, приведенным на рис. 3–5, можно сделать вывод, что выход за предельные границы допустимого состояния наблюдается на контрольной карте фазовых координат $Z_f(t_i)$ в моменты времени t_{10} и t_{11} . Это свидетельствует об изменении состояния и переходе ПВС ТС из «безопасного» в «опасное». Фазовые точки всех функций $X_f(t_i)$, $Y_f(t_i)$, $Z_f(t_i)$ в момент времени t_{12} находят между предупреждающими и предельными границами состояний. Состояние в этот момент времени можно рассматривать как точку бифуркации в процессе изменения состояния ТС, т. е. критическое состояние системы. Такие данные могут быть получены, например, в результате периодических сезонных явлений или других факторов, имеющих определенную цикличность воздействия на ТС.

Таким образом, контрольные карты качества (ККК) дают возможность определить:

- 1) границы между «безопасным» и «опасным» состоянием;
- 2) степень риска перехода из «безопасного» в «опасное» состояние путем нахождения точек бифуркации системы.

Заключение

Рассмотренная методика определения и оценки пространственно-временного состояния техногенной системы по геодезическим данным позволяет решить следующие задачи:

- 1) определить ПВС ТС в целом как системы функционально взаимосвязанных элементов (геодезических контрольных точек);

2) выполнить оценку пространственно-временных состояний ТС в моменты времени t_i с помощью статистического метода – ККК, которые дают возможность определить:

- границы между «безопасным» и «опасным» состоянием;
- степень риска перехода из «безопасного» в «опасное» состояние путем нахождения точек бифуркации системы.

Необходимо отметить, что приведенная методика может служить только для первичной оценки ПВС ТС в целом. Результаты исследований могут найти применение в автоматизированных системах мониторинга (АСМ), где данные о ПВС ТС получают непрерывно на некотором временном интервале T в автоматизированном режиме в дискретные моменты времени t_{i+1} . Предпосылкой для детального исследования ТС классическими геодезическими методами и выявления причинно-следственных связей изменения ПВС ТС служит информация о выходе состояния системы за предельные (OEG, UEG) или предупреждающие (OWG, UWG) границы.

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 геодинамики, в картографии, экологии и геоинформатике, а также могут быть использованы для определения пространственно-временного состояния технических систем любой сложности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Определение вращательного движения объекта по результатам многократных геодезических измерений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных и чрезвычайных ситуациях: предпринимаемые шаги и их реализация с помощью картографии, геоинформации, GPS и дистанционного зондирования» : сб. материалов (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 88–92.
2. Бугакова Т. Ю. Моделирование изменения пространственно-временного состояния инженерных сооружений и природных объектов по геодезическим данным // Вестник СГУГиТ. – 2015. – № 1 (29). – С. 34–42.
3. Бугакова Т. Ю. Оценка риска изменения пространственно-временного состояния техногенного объекта // Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения : сб. матер. Междунар. науч. конгр. «СПАССИБ-СИББЕЗОПАСНОСТЬ-2009» (15–17 сентября 2009 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГГА, 2009. – С. 221–228.
4. 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.
5. Карпик А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4. – С. 3–7.
6. Хиллер Б., Ямбаев Х. К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 48–61.

7. Мазуров Б. Т. Геодинамические системы (кинематические и деформационные модели блоковых движений) // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 5–15.
8. 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.
9. 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.
10. Mazuyer F., Vanderschueren M. TS01E -Surveying Practice across the world -6676 // FIG Working Week 2013 Environment for Sustainability (6–10 May). – Abuja, Nigeria, 2013.
11. 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, No. 6. – P. 453–458.
12. 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.
13. 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.
14. Падве В. А. Преобразование необходимых измерений в случайные приближенные значения параметров при МНК-оптимизации геопространственных данных // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 178–180.
15. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more. – Wien, New-York : Springer, 2008. – 516 p.
16. Херхагер М., Партоль Х. Mathcad 2000: полное руководство / пер. с нем. К. Ю. Королькова. – Киев : BHV, 2000. – 416 с.

Получено 12.12.2019

© Т. Ю. Бугакова, Т. А. Соловьева, 2020

METHOD OF DETERMINATION AND ESTIMATION OF SPATIO-TEMPORAL STATE OF TECHNOGENIC SYSTEMS BY 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

Tatiana A. Solovieva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Applied Informatics and Information Systems, phone: (913)773-55-47, e-mail: kaf.pi@ssga.ru

The paper considers the method of determining and assessing the spatio-temporal state of man-made systems based on geodetic data. The spatio-temporal state of the technogenic system as a whole, as a system of functionally interconnected elements (geodetic control points) by the phase space method, is determined. The spatio-temporal states of the technogenic system were

evaluated at time instants using the statistical method – quality control charts that make it possible to determine the boundaries between the "safe" and "dangerous" states and the degree of risk of transition from a "safe" to a "dangerous" state by finding bifurcation points of the system. The considered technique can serve only for the primary assessment of the spacio-temporal state of the technogenic system as a whole. The results of the research can be used in automated monitoring systems.

Key words: spatio-temporal state, technogenic system, statistical methods, quality control maps, phase space, risk, bifurcation points.

REFERENCES

1. Bugakova, T. Yu., & Vovk, I. G. (2013). Determination of the rotational motion of the object according to the results of multiple geodetic measurements. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Rannee preduprezhdenie i upravlenie v krizisnykh i chrezvychaynykh situatsiyakh: predprinimaemye shagi i ikh realizatsiya s pomoshch'yu kartografii, geoinformatsii, GPS i distantsionnogo zondirovaniya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Early Warning and Management in Crisis and Emergency Situations: the Steps Taken and Their Implementation Using Cartography, Geoinformation, GPS and Remote Sensing]* (pp. 88–92). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
2. Bugakova, T. Yu. (2015). Modeling changes in the spatial-temporal state of engineering structures and natural objects according to geodetic data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(29), 34–42 [in Russian].
3. Bugakova, T. Y. (2009). Risk assessment of spatial and temporal changes in condition of man-made object. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa "SPASSIB-BEZOPASNOST–2009": Sovershenstvovanie sistemy upravleniya, predotvrashcheniya i dempfirovaniya posledstviy chrezvychaynykh situatsiy regionov i problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti naseleniya [Proceedings of International Scientific Congress "SPASSIB-BEZOPASNOST–2009": Improving the Management System, Preventing and Damping the Consequences of Emergency Situations in the Regions and the Problems of Life Safety]* (pp. 221–228). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
4. Karpik, A. P. (2012). Problems of geodetic monitoring of territories. Analysis and innovation at the beginning of the XXI century. In *Sbornik materialov mezhr regional'noy mezhdistsiplinarnoy nauchnoy konferentsii [Proceedings of the Interregional Interdisciplinary Scientific Conference]* (pp. 13–20). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
5. 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].
6. Hillier, B., & Ambev, H. C. (2016). Development and field testing of an automated deformation monitoring system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(33), 48–61 [in Russian].
7. Mazur, B. T. (2016). Geodynamic system (kinematic and deformation model of block movements). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(35), 5–15 [in Russian].
8. Vorobev, V. A., & Shakirova, G. R. (2016). Web-Based Geoinformation System for Exploring Geo-magnetic Field, Its Variations and Anomalies. *Geographic Information Systems Theory, Applications and Management. Series Communications in Computer and Information Science*, 582, 22–35.
9. Neuner, H., Schmitt, C., & Neumann, I. (2013). Modeling of terrestrial laser-scanning profile measurements with. *Proceedings of the 2nd Joint international Symposium on Deformation Monitoring*. Nottingham, England.
10. Mazuyer, F., & Vanderschueren, M. (2013). *TS01E – Surveying Practice across the world – 6676. FIG Working Week 2013 Environment for Sustainability, 6–10 May*. Abuja, Nigeria.

11. Savich, A. I., Bronshtein, V. I., Groshev, M. E., Gaziev, E. G., Il'in, M. 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.
12. Ghiasian, M., & Ahmadi, M. T. (2012). 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* (pp. 41–46). Kyoto, Japan.
13. Zarzoura, F., Ehigiator-Irughe, R., & Mazurov, B. (2014). Utilising of Mathematical Frame Work in Bridge Deformation Monitoring. *Asian Journal of Engineering and Technology*, 02(04), 293–300.
14. Padve, B. A. (2011). Transformation of the necessary measurements in a random approximate values of the parameters in the least-squares optimization of geospatial data. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2011: T. 1, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2011: Vol. 1, Part 1]* (pp. 178–180). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
16. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS-Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more*. Wien, New-York: Springer Publ., 516 p.
17. Hoerhager, M., & Partoll, H. (2000). *Mathcad 2000: polnoe rukovodstvo [Mathcad 2000: the complete guide]*. K. Yu. Korol'kov (Trans.). Kiev: BHV Publ., 416 p.

Received 12.12.2019

© T. Yu. Bugakova, T. A. Solovieva, 2020