

На правах рукописи

Зарзура Фавзи Хамед Фавзи

Методика прогнозирования деформаций вантовых мостов
по данным ГНСС-измерений

25.00.32 – Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук
Мазуров Борис Тимофеевич

Официальные оппоненты:

Мазурова Елена Михайловна,
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное образова-
тельное бюджетное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет геодезии и картографии»,
заведующая кафедрой геодезии;

Азаров Борис Федотович,
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное образова-
тельное бюджетное учреждение высшего профессионального образования
«Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»,
заместитель заведующего кафедрой оснований, фундаментов, инженерной
геологии и геодезии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образова-
тельное учреждение высшего образования «Иркутский национальный иссле-
довательский технический университет» (г. Иркутск).

Защита состоится «__» _____ 2015 г. в ____ час. на заседании диссертационно-
го совета Д 212.251.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный универси-
тет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного,
10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Си-
бирский государственный университет геосистем и технологий»:
<http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/>

Автореферат разослан «____» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Середович В. А.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 2015. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Мосты являются важными транспортными узлами и играют большую роль в социально-экономическом развитии городов и регионов. В мире насчитывается почти 250 000 построенных мостов, которые требуют обследования и ремонта, а состояние их конструкций необходимо подвергать периодическому и систематическому контролю. Важность данной проблемы подтверждена регламентами федерального значения. Мосты в ходе их эксплуатации испытывают нагрузки разного вида: от движущегося транспорта, ветра, высоких или низких температур и т. п. Наиболее чувствительны к различным внешним воздействиям, ввиду их конструктивных особенностей, вантовые мосты. Поэтому именно для данного типа инженерных конструкций особенно важен выбор метода регулярного наблюдения смещений контролируемых точек. В настоящее время признанным технологическим инструментом наблюдения за инженерными сооружениями, в частности мостами, является круглосуточный мониторинг как непрерывный процесс наблюдения за деформационными параметрами объекта и их регистрации. Для мониторинга могут использоваться различные измерительные системы, из которых выделим имеющие множество преимуществ глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). На сегодняшний день они стали альтернативой классическим геодезическим методам, часто опережая их по точности и экономической эффективности. Большое преимущество ГНСС-мониторинга – его непрерывный режим работы в реальном времени. Несколько приемников ГНСС, установленных на наблюдаемом сооружении, могут существенно улучшить статистическую состоятельность и несмещенность оценок кинематических параметров, получаемых в результате наблюдений и последующей математической обработки.

Важным необходимым элементом мониторинга является прогнозирование. Первично сложность математической обработки вызвана большим объемом

данных ГНСС-измерений. Далее, для достоверных результатов получения оперативного и краткосрочного прогноза должна быть выбрана из нескольких альтернативных наиболее адекватная модель. И при необходимом учете разнообразных факторов, влияющих на объект и систему наблюдений, создание прогнозной модели является нетривиальной задачей, не имеющей в настоящее время однозначного решения и являющейся актуальной.

Степень разработанности темы. В достижение высокого уровня развития методов обеспечения строительства и эксплуатации инженерных сооружений внесли свой вклад известные специалисты в области геодезии: Асташенков Г. Г., Бойко Е. Г., Гуляев Ю. П., Гридчин А. Н., Жуков Б. Н., Карпик А. П., Макаренко Е. А., Ямбаев Х. К., Уставич Г. А., Хорошилов В. С., Шануров Г. А., Shafri H. Z., Enge P. K., Van Dierendonck A. J., Meng X., Jager R. и др. Значительный вклад в развитие вопросов безопасности гидротехнических сооружений внесли Кафтан В. И., Малько А. В., Сахаров Г. Г., Шахов Н. А., Акуилмаз О., Kaloop M. R., Gairns C. и др. Вопросы оперативного и краткосрочного прогнозирования изучали Дементьев Ю. В., Ивахненко А. Г.

Ранее конструкции вантовых мостов исследовали многие специалисты, однако при проведении оперативных и краткосрочных измерений никто из них не рассматривал влияние на характер деформаций ветра, температуры, транспортных нагрузок и влажности в совокупности. Только Kaloop M. R. анализировал влияние на смещения конструкций вантовых мостов ветра и нагрузок от движущегося транспорта одновременно. При этом он получил корреляцию данных и результатов прогнозирования 0,62. Кроме того, ранее никто из исследователей не использовал непосредственно в процессе прогнозирования смещений информационные нейронные сети.

Существующие методы и методики соответствуют уровню геодезических измерительных систем десятилетней и более давности. Современные технологии координатных определений в сочетании с уровнем информационной (компьютерной) поддержки ставят новые задачи как оптимизации наблюдений, так

и их корректной математической обработки. Поэтому, в частности, вопросы разработки и усовершенствования математических методов, методики и создание алгоритмов обработки данных о деформационном состоянии мостов (вантовых в том числе), полученных посредством ГНСС-мониторинга, являются актуальными.

Цель работы заключается в разработке методики обработки данных ГНСС-мониторинга для оперативного и краткосрочного прогнозирования кинематики и динамики сложных природно-технических систем (на примере вантовых мостов).

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать методики координатных определений по технологиям ГНСС и существующие способы их улучшения;
- выполнить анализ и обосновать выбор методики оперативного и краткосрочного прогнозирования смещений и деформаций, наиболее адекватно учитывающей различные внешние воздействия на объект ГНСС-мониторинга;
- разработать и реализовать алгоритм методики оперативного и краткосрочного прогнозирования смещений и деформаций, как кинематических, так и динамических, в виде программы и выполнить его проверку на реальных данных ГНСС-мониторинга вантовых мостов;
- разработать методику, позволяющую обработку больших объемов данных, существенно повышающих достоверность прогнозирования.

Научная новизна проведенных исследований заключается в том, что:

- получены математические регрессионные модели для прогнозирования смещений и деформаций под действием ряда погодных факторов (ветра, температуры, влажности);
- представлена разработанная методика прогнозирования деформации наблюдаемых точек мостов, испытывающих переменную транспортную нагрузку, с использованием 13 приемников;

– определены блоки информационных нейронных сетей (системы уравнений) для каждого ГНСС-приемника, используемого в мониторинге вантовых мостов, с применением разработанной программы;

– разработана методика и алгоритмы математической обработки данных ГНСС-измерений с целью оперативного и краткосрочного прогнозирования смещений и деформаций, учитывающая влияние изменений ветра, температуры, влажности, транспортных нагрузок и др.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что разработаны новые уникальные методики определения по данным ГНСС-измерений достоверных прогнозных моделей деформационного состояния инженерных объектов, позволяющие учитывать влияние на них различных внешних воздействий. Результаты работы позволят на основе оперативного и статистически корректного анализа данных ГНСС-измерений улучшить качество проектирования, контроля при строительстве и обеспечения безопасности инженерных объектов при их эксплуатации. Практические разработки реализованы в виде комплекса вычислительных программ.

Методология и методы исследования. При выполнении исследований использовались теория вероятностей, методы вычислительной математики и статистической обработки результатов измерений, а также теория ошибок измерений и методы математического моделирования и анализа. В качестве программного обеспечения использовались программы MATLAB 2014 и MATHCAD 14, программные продукты для получения и обработки данных LGO и High Target; программные комплексы MICROSOFT EXCEL 2007 и AUTOCAD 2010.

Положения, выносимые на защиту:

– математические (регрессионные) модели позволяют связать смещения и деформации наблюдаемых точек вантового моста с рядом погодных факторов (ветром, температурой, влажностью);

– результаты вычислительных экспериментов подтверждают преимущество нейронных сетей при оперативном и краткосрочном прогнозировании смещений и деформаций инженерных объектов по большим объемам данных ГНСС-измерений;

– алгоритмы и их практическая реализация в виде комплекса вычислительных программ позволяют прогнозировать динамику положения сооружения, оценивают состояние конструктивных элементов в зависимости от времени, места, силы воздействия различных нагрузок по данным ГНСС-измерений;

– при измерениях с применением одной станции (взамен нескольких базовых) точность координирования при коротких расстояниях (до 10 км) практически не снижается, а для системы OmniSTAR, применяемой в странах Среднего Востока, время наблюдений уменьшается на десятки процентов.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: IX Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013», 15–26 апреля 2013 г., Новосибирск; X Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014», 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск; XI Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015», 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск.

Разработанная в ходе диссертационных исследований методика получения прогнозных моделей деформаций вантовых мостов внедрена в учебный процесс Сибирского государственного университета геосистем и технологий РФ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы, определяется степень научной разработанности проблемы, формулируются объект и предмет, цель и задачи исследования, описаны его методологические основы, раскрывается

научная новизна работы, устанавливаются теоретическая и практическая значимость исследования.

В первом разделе рассмотрена степень изученности проблемы мониторинга инженерных сооружений. Представлен обзор известных видов деформаций, приведена классификация инженерных сооружений. Далее рассматриваются современные методы и приборы измерений. Описано наблюдение деформаций с помощью оптических приборов, гидростатических и гидродинамических нивелиров, тахеометров, сканеров и т. п. Особое внимание уделено описанию измерений посредством ГНСС.

Во втором разделе рассматривается проблема применения ГНСС для мониторинга. В этом аспекте обосновывается применение метода ГНСС-позиционирования, описываются требования к системе мониторинга мостов, сценарии мониторинга, частота собственных колебаний моста. Описываются кинематика реального времени (RTK), аппаратура и программное обеспечение. Кроме того, объясняется преимущество метода ГНСС перед другими методами. Завершает раздел классификация ошибок, возникающих при определении координат по технологиям ГНСС.

В третьем разделе приведены примеры улучшения качества координатных определений с использованием ГНСС-технологий.

Для нескольких вариантов оптимизации анализ конкретных результатов позволяет рекомендовать в практическом использовании некоторые параметры, условия выполнения работ (рисунок 1).

Описаны модели наблюдений, используемых в ГНСС-технологиях, с целью поиска самой недорогой, наиболее емкой по времени и наиболее точной из ГНСС. Приведена структурная схема факторов, влияющих на точность ГНСС, при наблюдениях сетей Мекки, Египта и Кувейта. Процесс мониторинга разделен на две части: 1) наблюдения; 2) прогноз.



Рисунок 1 – Вариант структурной схемы изучения влияния указанных факторов на точность ГНСС-результатов

В первом разделе (наблюдения) при использовании какой-либо модели или метода наблюдения и анализа делается их оценка, исходя из трех факторов: стоимости затрат, времени и достижения точности. Поэтому в первую очередь необходимо определить отличительные качества моделей, которые используются в ГНСС-технологиях (таблицы 1, 2, 3). Сеть Мекки использовалась для определения количества базовых приемников, сеть Египта – для определения разницы между углами отсечки, временем наблюдения и моделями эфемерид, а также определения оптимального расстояния между приемниками. Сеть Кувейта использовалась для сравнения результатов измерений относительным методом и дифференциальным методом по OmniSTAR.

Таблица 1 – Среднеквадратическое отклонение (СКО) ГНСС-определений для разной длительности наблюдения

Количество базовых станций	Продолжительность сеанса наблюдений	Стандартное отклонение в плане, мм	Стандартное отклонение по высоте, мм
9	1 ч	83,7	79,0
9	2 ч	46,4	41,6
9	4 ч	21,4	24,1
9	6 ч	16,2	21,8
9	8 ч	6,0	11,0
6	10 ч	28,5	26,2

7	12 ч	17,2	20.6
---	------	------	------

Таблица 2 – Стандартное отклонение в плане и по высоте относительно изменения угла отсечки

Угол отсечки	Стандартное отклонение в плане, мм	Стандартное отклонение по высоте, мм
10°	44,7	34,5
15°	31,2	25,0
20°	21,5	23,8
25°	24,2	21,3
30°	27,8	24,6

Таблица 3 – Разность между одной и несколькими базовыми станциями, см

Координаты	max	min	станд. откл.	среднее
<i>x</i>	2,50	-2,08	0,67	-0,12
<i>y</i>	2,06	-2,08	0,70	0,02
<i>z</i>	8,20	-6,60	2,00	0,72

После определения места базовых станций, их количества и расстояний между ними были выбраны модели ионосферы и тропосферы. Эти действия необходимы для достижения требуемого качества геодезического мониторинга кинематического поведения зданий и сооружений. Тем самым контролируется их устойчивость и становится возможным принятие мер безопасности при их эксплуатации.

В четвертом разделе затрагиваются вопросы математического и алгоритмического обеспечения мониторинга с использованием ГНСС-технологий. Дано описание некоторых математических методов создания прогнозных моделей, обозначена сфера их применимости. Это традиционный метод наименьших квадратов с возможностью включения в состав уравнений модели различных опорных функций – степенных полиномов, экспоненциальной, логарифмической, показательной и т. д., регрессионные модели, сплайны. Результаты, аналогичные тем, которые получены по методу наименьших квадратов, дает фильтр Калмана.

Использовался классический алгоритм метода наименьших квадратов. Например, если в качестве опорной функции был степенной полином, матрица коэффициентов следующая:

$$A = \begin{pmatrix} (t_1 - t_0)^n & (t_1 - t_0)^{n-1} & \dots & 1 \\ (t_2 - t_0)^n & (t_2 - t_0)^{n-1} & \ddots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 1 \\ (t_i - t_0)^n & (t_i - t_0)^{n-1} & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

Те же данные обрабатывались по фильтру Калмана (рисунок 2).

Использовалась также классическая формула регрессии

$$y = a + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_k x_{ik} + e_i \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

$$F(x) = a_1 + a_2 F + a_3 W + a_4 T + a_5 H,$$

(1)

$$F(x) = a_1 + a_2 F + a_3 W + a_4 T + a_5 H + a_6 FW + a_7 FT + a_8 FH + a_9 WT + a_{10} WH + a_{11} HT + a_{12} F^2 + a_{13} W^2 + a_{14} T^2 + a_{15} H^2, \quad (2)$$

где F – нагрузка машин на мост в данный момент времени (т);

W – скорость ветра (м/с);

T – температура (С°);

H – влажность (%).

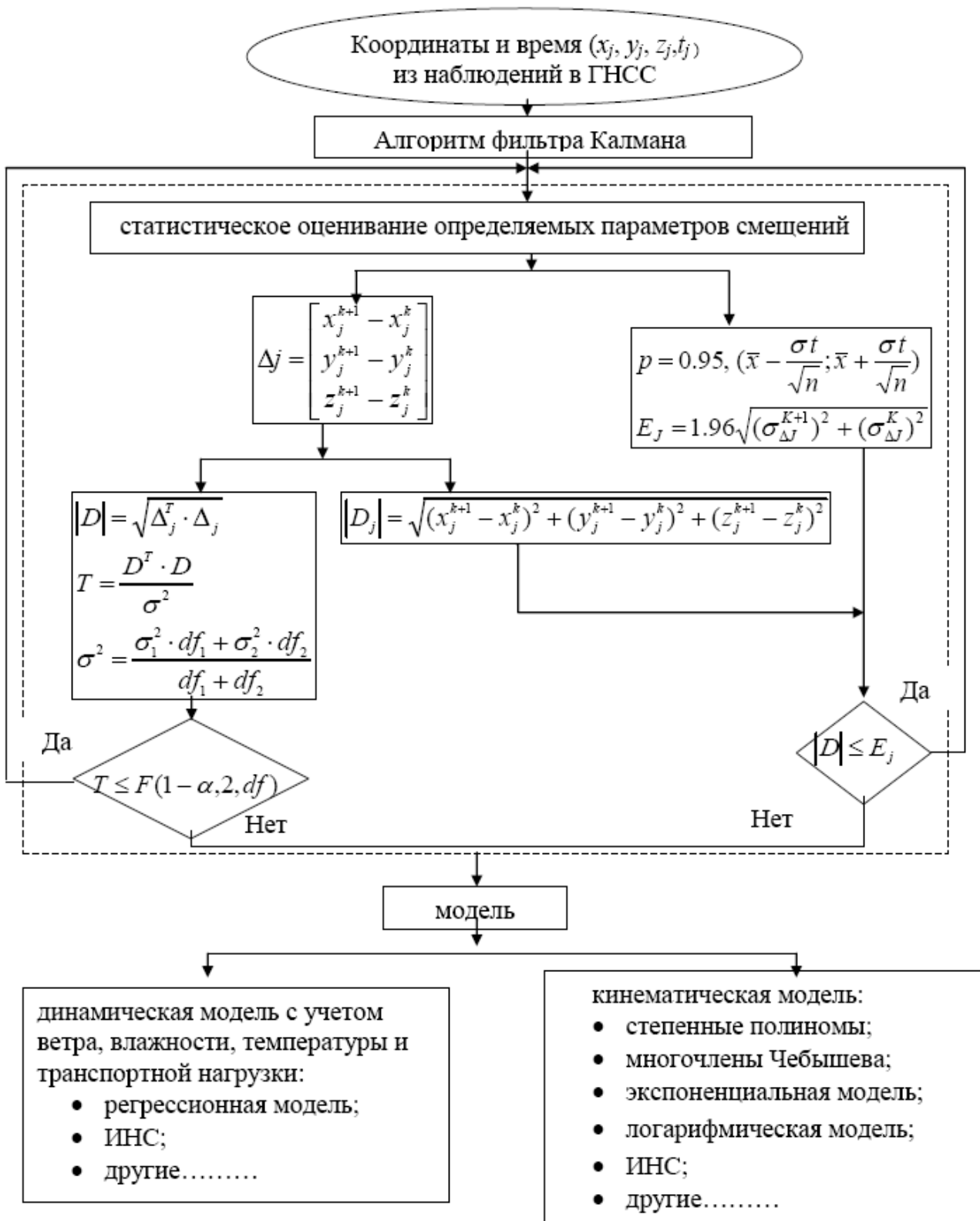


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма нахождения аппроксимационной модели

Был рассмотрен метод информационной нейронной сети (ИНС). Для данного реального объекта именно этот метод оказался наиболее применимым к прогнозированию. Выполнена реализация алгоритма выбора прогнозных моделей, как кинематических, так и динамических, в системе программирования MATLAB. Основная идея алгоритма нейронных сетей показана на рисунке 3.

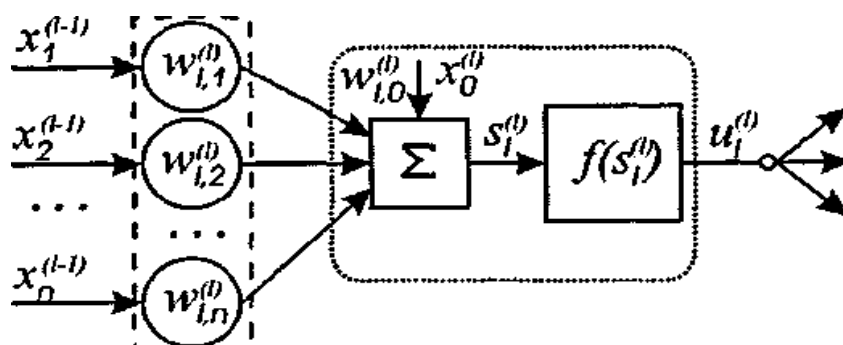


Рисунок 3 – Информационная нейронная сеть

В пятом разделе описано развитие вопросов улучшения качества координатных определений и возможностей использования ГНСС-технологий для крупных инженерных сооружений. Реальными объектами исследований были вантовые мосты (Хангу и Хуанпу в Китае) с данными геодезического мониторинга его кинематики в течение года. Приведены этапы вычислительного эксперимента на реальных данных (40000), его результаты, сопровождающие графики и рекомендации по выполнению математической обработки данных ГНСС-мониторинга.

Хангу-мост – вантовый мост (рисунок 4), построенный в городе Хангу. Он имеет четыре полосы движения общей длиной 510 м, а длина главного пролета моста – 260 м. Результаты обработки и прогноза даны в таблице 4.

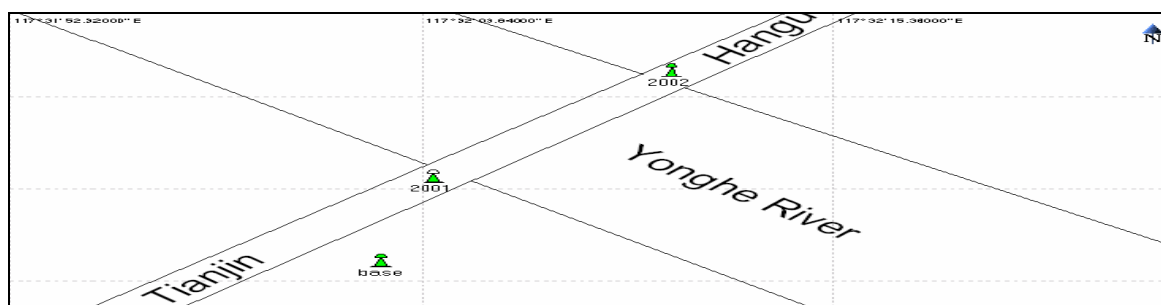


Рисунок 4 – Геометрия и расположение на мосту в г. Хангу приемников ГНСС

Таблица 4 – Средние значения наблюдений и прогноз

Смещения, см	6-2007	8-2007	10- 2007	1-2008	2-2008	4-2008 (прогноз)	6-2008 (прогноз)
dx_1	0,29	-0,23	2,44	8,30	8,82	5,37	-0,87
dy_1	-0,14	0,51	1,54	5,99	5,92	4,79	-0,11
dx_2	0,39	1,71	-0,68	-0,91	-0,71	-0,18	1,83
dy_2	0,46	-1,28	-0,88	-0,99	-1,43	-2,93	1,24

Достаточно убедительные результаты для целей прогноза смещений подвесного моста в условиях воздействия на него внешних сил были получены при использовании нейронных сетей. Различия между реальными и прогнозными значениями смещений не превысили 3 см. Наглядно показывают результаты сравнения прогнозных качеств степенных полиномов, кубических сплайнов и нейронных сетей рисунки 5 и 6.

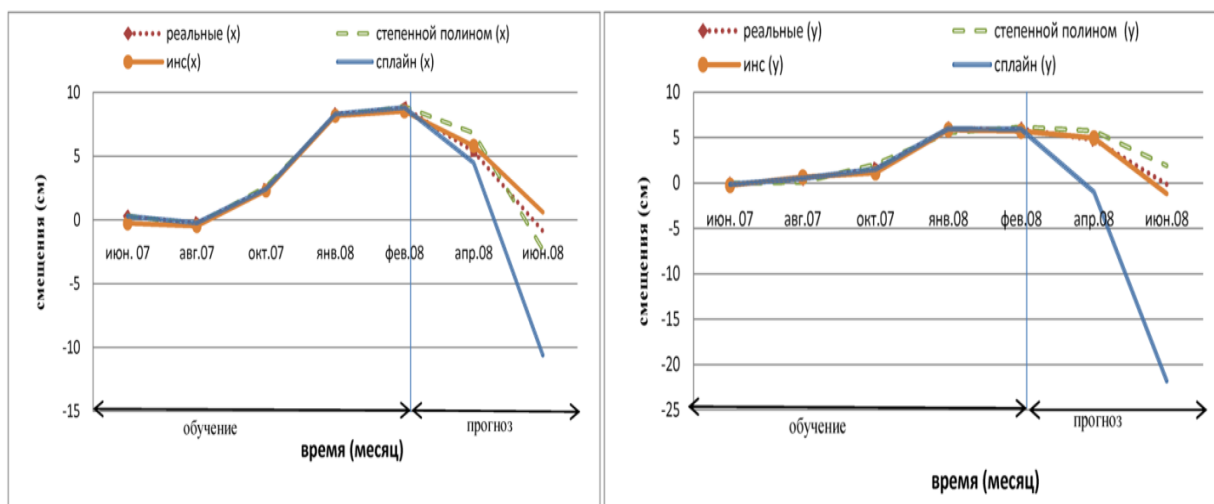
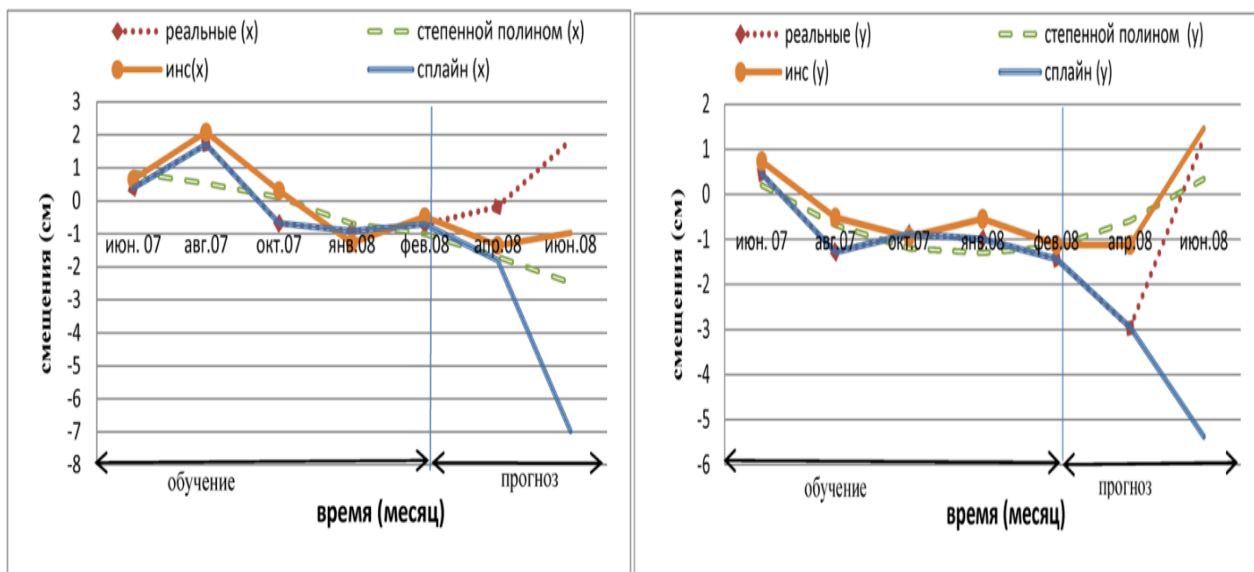


Рисунок 5 – Смещения x и y для пилона № 1Рисунок 6 – Смещения x и y для пилона № 2

Результаты обработки реальных данных показали, что южный пилон вернулся в исходное положение спустя десять месяцев. Отметим, что прогнозируемые значения зависят не только от времени – мы должны были учесть влияние транспортного движения и ветра.

Мост Хуанпу был открыт в 2008 году. Он был в то время третьим по длине подвесным мостом в Китае. Мост имеет общую длину 2,27 км.

Расстояние между базовой станцией и пунктом 107 составляет 1,0 км и 1,5 км от пункта 101 (рисунок 7).

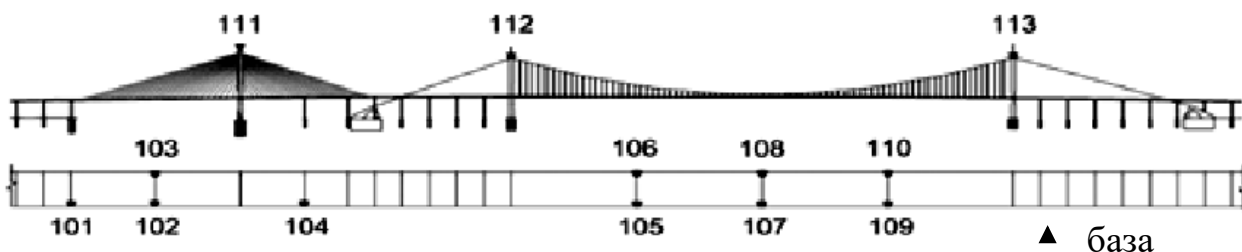


Рисунок 7 – Нумерация ГНСС наблюдаемых точек моста

(101-102-103-104-105-106-107-108-109-110)

Угловая характеристика продольного наклона по результатам мониторинга (как показано на рисунке 8) вычислялась по следующей формуле:

$$\theta = \arcsin \frac{z - \bar{z}}{B},$$

где z и \bar{z} – вертикальные смещения в симметричных участках;

B – расстояние между двумя станциями.

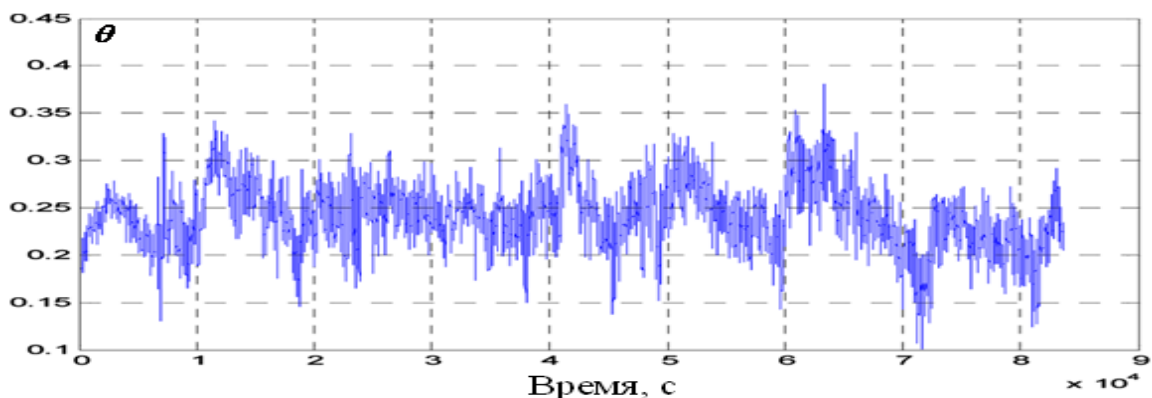


Рисунок 8 – Продольный наклон в зависимости от нагрузок

Описание метода определения смещений моста в зависимости от нагрузок:

- этап 1 – поиск всех критических точек моста;
- этап 2 – расположение в каждой критической точке приемника ГНСС;
- этап 3 – подготовка автотранспортного средства массой 50 т;
- этап 4 – расположение приемника ГНСС на автотранспортном средстве;
- этап 5 – начало движения автотранспортного средства массой 50 т со скоростью 64 км/ч;
- этап 6 – рассмотрение состояния критических точек в момент движения автотранспортного средства по мосту в реальном времени с использованием относительного метода;
- этап 7 – фиксация результатов наблюдений (составление графика смещений);

– этап 8 – повторение пятого, шестого и седьмого этапов эксперимента многократно для получения СКО.

В ходе эксперимента были определены отклонения по высоте с учетом влияния движения 50-тонного автомобиля. Рисунок 9 показывает высотную компоненту определений координат всеми приемниками ГНСС на пролетах моста. Выявлено, что мост отклоняется примерно на (15 ± 1) см.

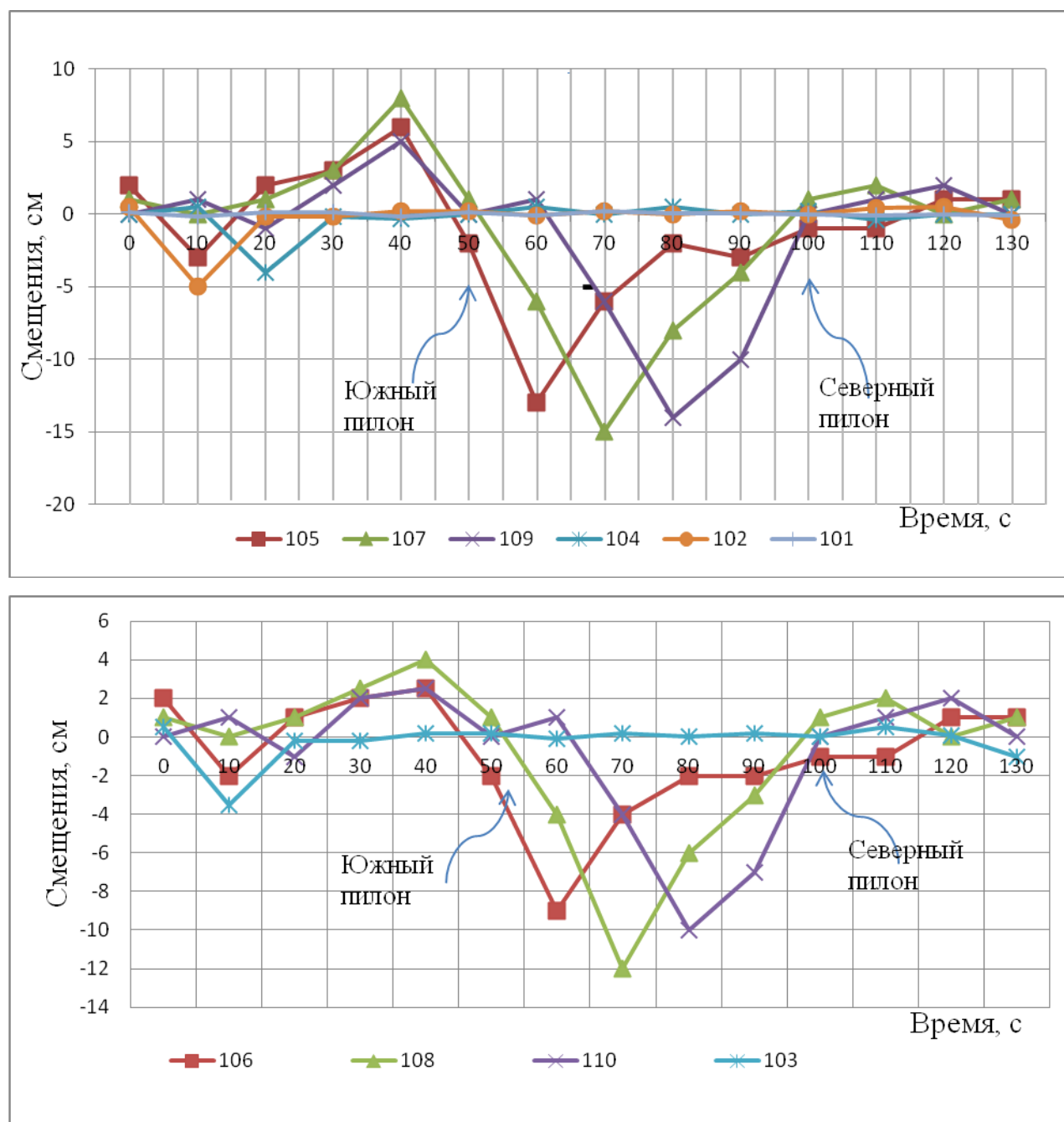


Рисунок 9 – Отклонение по высоте в зависимости от времени наблюдения

Модель мониторинга и прогнозирования

Блок-схема алгоритма основной программы прогнозирования следующая (рисунок 10).

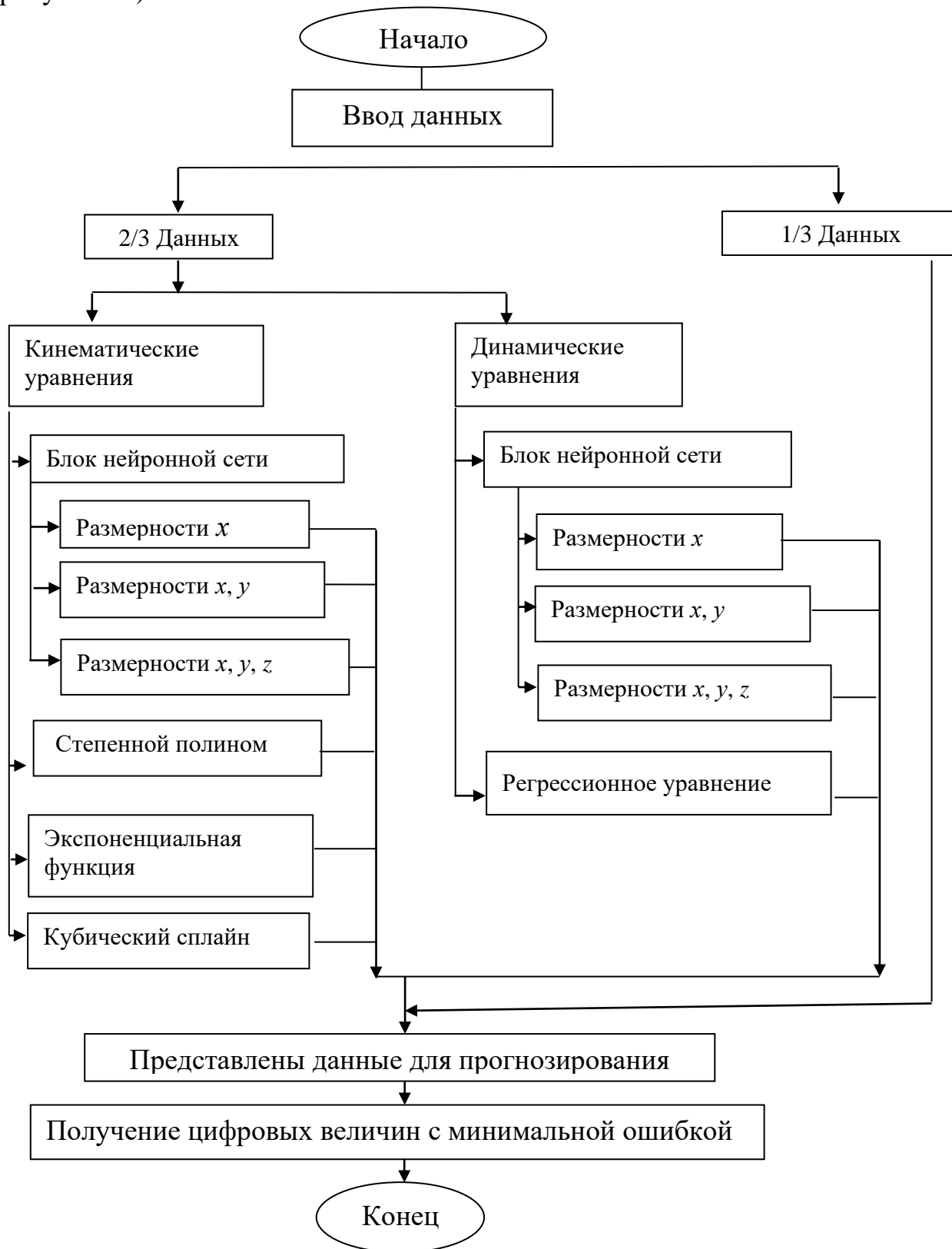


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма основной программы прогнозирования

Результаты прогнозирования различными моделями для x -смещений представлены на рисунке 11.

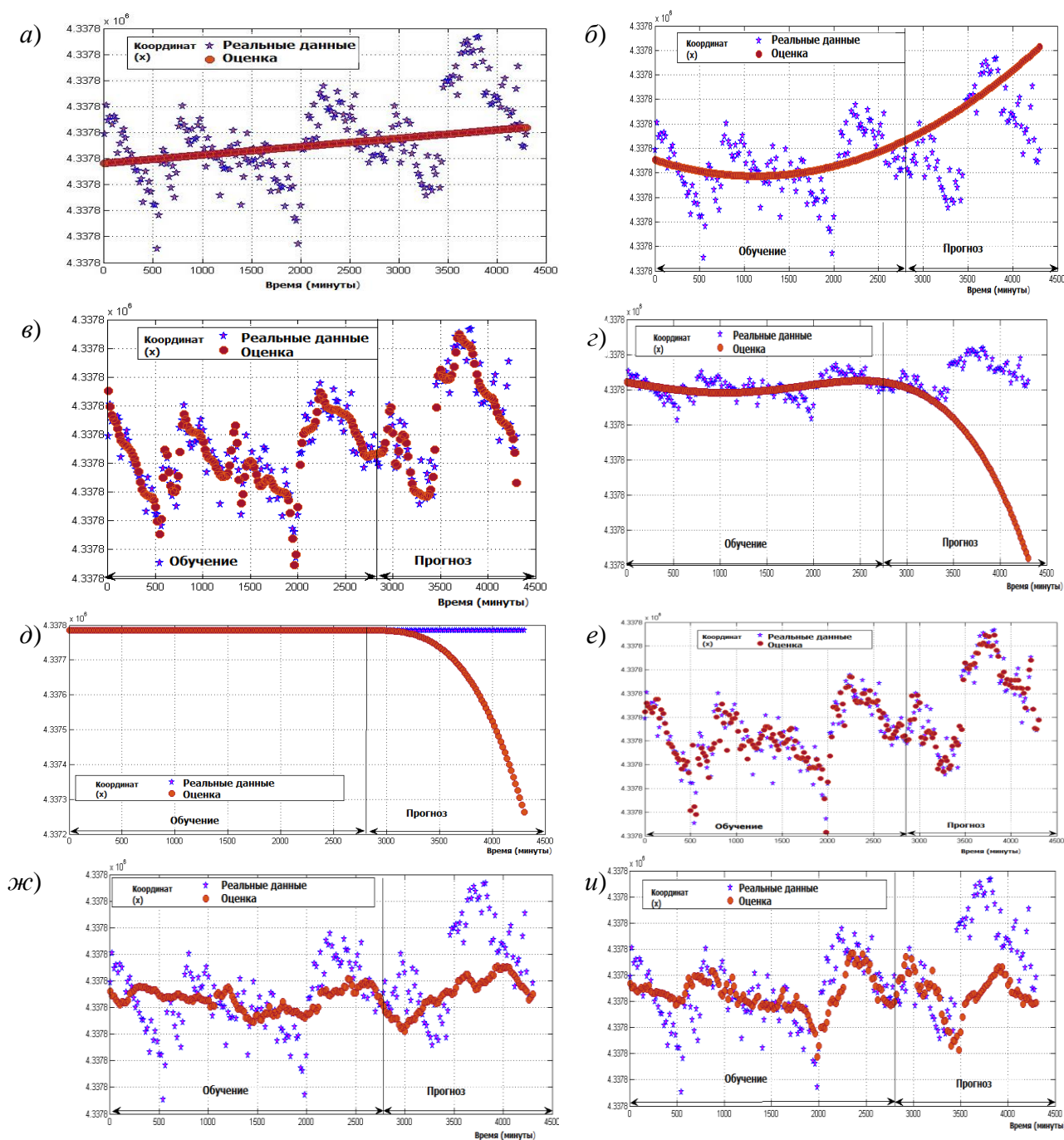


Рисунок 11 – Результаты прогнозирования для x -смещений с использованием:
 а) линейного уравнения; б) многочлена второй степени; в) кинематической нейронной сети; г) многочлена четвертой степени; д) кубического сплайна;
 е) динамической нейронной сети; ж) метода регрессии первой степени;
 и) метода регрессии второй степени

Эмпирически получены математические уравнения связи смещений с некоторыми метеорологическими факторами (ветром, температурой, влажностью) и транспортной нагрузкой.

Метод регрессии первой степени представлен формулой

$$xReg_1(H, F, T, W, X) = 0,120W - 0,131T - 0,0003F + 0,021H + 3,235. \quad (3)$$

Метод регрессии второй степени представлен формулой

$$xReg_2(H, F, T, W, X) = 0,03W^2 - 0,003T^2 + 0,008H^2 + 0,00F^2 - 0,002FW - 0,005FT + 0,040TW + 0,160HW - 0,016HT + 0,001HF + 0,774W - 0,043T - 0,015F - 0,352H + 2,640. \quad (4)$$

Развитие общеметодологических принципов ИНС было выполнено в определении блоков информационных нейронных сетей (системы уравнений) для каждого приемника, используемого в мониторинге вантовых мостов. Одним из результатов решения поставленной в диссертации цели является разработанная методика обработки данных ГНСС-измерений с целью получения прогнозных моделей, учитывающих влияние на динамику инженерных сооружений изменений ветра, температуры, влажности, транспортных нагрузок и др.

Взятая за алгоритмическую основу информационная нейронная сеть рекомендуется как часть новой методики прогнозирования деформаций вантовых мостов по данным ГНСС-измерений критических точек мостов, испытывающих влияние переменной транспортной нагрузки и различных метеорологических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования были получены следующие результаты:

– экспериментально доказано, что для системы OmniSTAR, применяемой в странах Среднего Востока, время наблюдений уменьшается на десятки про-

центров; доказано возможное повышение точности ГНСС-измерений при использовании метеосенсоров;

– установлено, что при измерениях с использованием одной станции (взамен нескольких базовых) точность координирования при коротких расстояниях (до 10 км) практически не снижается;

– выполнен анализ математического обеспечения мониторинга с использованием ГНСС-технологий. Представлен анализ использования ряда математических методов для создания прогнозных моделей: метода наименьших квадратов с возможностью включения в состав различных опорных функций, регрессионных и других моделей. Эмпирически получены математические уравнения, указывающие на связь смещений с рядом погодных факторов (ветром, температурой, влажностью одновременно), которые при доверительном интервале $\Delta = \pm 2\sigma$ при вероятности $p = 0,95$ улучшают корреляцию до 0,81;

– показано применение метода информационной нейронной сети, который для доверительного интервала $\Delta = \pm 2\sigma$ при вероятности $p = 0,95$ обеспечил корреляцию 0,96. Доказано преимущество нейронных сетей для достоверной оценки как кинематики, так и динамики наблюдаемого объекта;

– разработаны алгоритм и комплекс вычислительных программ для обоснованного выбора прогнозных моделей смещений и деформаций вантовых мостов с возможностью их оперативного сравнения с допустимыми значениями в системе программирования MATLAB;

– экспериментально доказано, что для крупных инженерных конструкций при измерениях, например, величины и частоты прогибов моста наиболее перспективны ГНСС-наблюдения, обеспечивающие получение наиболее достоверной информации о состоянии инженерных сооружений, а, следовательно, делающие оценку их безопасности более надежной при эксплуатации.

Рекомендуется использование ИНС-моделей, как динамических, так и кинематических, при прогнозировании деформаций не только вантовых мостов, но и всех других инженерных сооружений. В этом плане перспективны даль-

нейшие научные исследования по поиску других динамических регрессионных формул и последующее их развитие и использование.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Зарзура, Ф. Х. Исследование кодовых и фазовых дифференциальных ГНСС и систем WADGPS и OmniSTAR [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 2–4.

2 Асташенков, Г. Г. Влияние количества базовых станций на точность ГНСС-измерений [Текст] / Г. Г. Асташенков, Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 62–63.

3 Мазуров, Б. Т. Оценка кодовых и фазовых решений ГНСС [Текст] / Б.Т. Мазуров, Л. К. Трубина, Ф. Х. Зарзура // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 64–65.

4 Зарзура, Ф. Х. Прогнозные модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров, М. Х. ЭссаиАли // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 40–44.

5 Зарзура, Ф. Х. Повышение точности дифференциальной GPS и кинематики реального времени для GPS-сетей [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 200–205.

6 Зарзура, Ф. Х. Мониторинг мостов с использованием ГНСС [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 175–180.

7 Зарзура, Ф. Х. Динамика мостов по результатам геодезического мониторинга с использованием ГНСС-технологий в условиях влияния ветра и транспортного движения [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 181–185.

8 Зарзура, Ф. Х. Алгоритм определения прогнозной модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС-мониторинга [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров, С.Х. Ахмед // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 174–178.

9 Зарзура, Ф. Х. Аналитический метод для улучшения коэффициентов корреляции между результатами наблюдений [Текст] / Ф. Х. Зарзура, Б. Т. Мазуров, С.Х. Ахмед // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 179–182.

10 Zarzoura, F. Accuracy Improvement of GNSS and Real Time Kinematic Using Egyptian Network as a Case Study [Text] / F. Zarzoura, R. Ehigiator, B. Mazurov // The International Institute for Science, Technology and Education (IISTE) 2013, Vol. 4, No. 12, 2013. – P. 1–9.

11 Zarzoura, F. Investigating Accuracy Enhancement of Global Navigation Satellite System [Text] / F. Zarzoura, R. Ehigiator, B. Mazurov // British Journal of Earth Sciences Research, Vol. 1, No. 1, December 2013. – P. 1–9.

12 Zarzoura, F. Improve the Accuracy of SPP and Reduce the Cost When Using Global Navigation Satellite System [Text] / F. Zarzoura, B. Mazurov // FIG

Congress 2014, Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance, Kuala Lumpur, Malaysia 16–21 June 2014, ID No7070, 11p.

13 Zarzoura, F. B. Utilizing of Mathematical Frame Work in Bridge Deformation Monitoring [Text] / F. Zarzoura, R. Ehigiator, B. Mazurov // Asian Journal of Engineering and Technology (ISSN: 2321 – 2462) Volume 02 – Issue 04, August 2014. – P. 293–300.

14 Zarzoura, F. Geodetic monitoring cable-stayed bridges using GNSS [Text] / F. Zarzoura, B. Mazurov, C. Ahmed // FIG Working Week 2015, From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World, Sofia, Bulgaria, 17–21 May 2015, ID No 7717, 10 p.

15 Zarzoura, F. Deformation analysis of cable-stayed bridges using neural networks [Text] / F. Zarzoura, B. Mazurov, C. Ahmed // 2nd International workshop on «Integration of Point- and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects», March 23–24, 2015, Stuttgart, Germany. – P. 179–182.