

*The paper analyzes the obtained results on readiness of regions of the Russian Federation to introduce the technology of the electronic government. Experience of modernization of the public and municipal administration through introduction of this technology in the Udmurt Republic is considered.*

**Key words:** electronic government, rating of readiness of regions to the electronic government, modernization of the public and municipal administration.

УДК 539.37

А. В. Воробьев, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОДРАБОТАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Приведены результаты краткосрочного прогноза величины оседания земной поверхности по данным мониторинга на подработанной территории Пермского края, которые получены при помощи адаптивных статистических моделей Брауна и Хольта.*

**Ключевые слова:** адаптивная модель прогнозирования, краткосрочный прогноз, модель Брауна, модель Хольта, подработанная территория, оседания поверхности, мониторинг, мульда сдвижения, метод конечных элементов.

В результате добычи полезных ископаемых жилая и промышленная застройка отдельных регионов Пермского края оказалась подработана горными работами.

В связи со сложившейся ситуацией для дальнейшей безопасной эксплуатации жилых и промышленных зданий необходимо прогнозирование процесса деформирования грунтового массива и зданий, расположенных на подработанной территории.

Под прогнозированием мы понимаем научное (т. е. основанное на системе фактов и доказательств, установленных причинно-следственных связей) выявление вероятностных путей и результатов предстоящего развития явлений и процессов, оценку показателей, характеризующих эти явления, и процессы для более или менее отдаленного будущего.

Процесс прогнозирования, опирающийся на статистические методы, распадается на два этапа. Первый, индуктивный, заключается в обобщении данных, наблюдаемых за более или менее продолжительный период времени, и в представлении соответствующих статистических закономерностей в виде модели. Вторым этапом, собственно прогноз, является дедуктивным. На этом этапе на основе найденных статистических закономерностей определяется ожидаемое значение прогнозируемого признака [8].

Таким образом, прогнозирование – это научная деятельность, направленная на выявление и изучение возможных альтернатив будущего развития и структуры его вероятных траекторий. Каждая альтернативная траектория развития связывается с наличием комплекса внешних относительно исследуемой системы (явлений) условий.

Автором предлагается использовать для статистических прогнозов адаптивные модели, применяемые обычно в экономике.

Адаптивные методы прогнозирования временных рядов представляют собой методы, цель которых

заключается в построении самокорректирующихся (самонастраивающихся) экономико-математических моделей, которые способны отражать изменяющиеся во времени условия, учитывать информационную ценность различных членов временной последовательности и давать достаточно точные оценки будущих членов данного ряда. Такие модели предназначаются прежде всего для краткосрочного прогнозирования.

Особенностью адаптивных моделей является то, что они способны приспосабливать свою структуру и параметры к изменению внешних условий.

К простейшим адаптивным моделям относятся:

– экспоненциальное сглаживание;

– модель Брауна.

Модели линейного роста:

– модель Хольта;

– модель линейного роста Брауна – частный случай модели Хольта;

– модель Хольта – Уинтерса, учитывающая сезонность;

– модель прогнозирования Дж. Бокса и Г. Дженкинса – в модель Хольта включается разность ошибок.

Примем к рассмотрению в качестве базовых три модели: модель Брауна, модель Хольта и модифицированную модель Хольта – Уинтерса.

**Модель Брауна.** Главное достоинство этой прогнозной модели состоит в том, что она способна последовательно адаптироваться к новому уровню процесса без значительного реагирования на случайные отклонения.

Недостатком модели является то, что экспоненциальная средняя дает систематическую ошибку, когда временной ряд имеет тенденцию линейного роста.

**Модель Хольта.** Важной проблемой при использовании модели Хольта является выбор коэффициентов, которые определяют чувствительность модели.

Чувствительная модель быстро реагирует на реальные изменения, а нечувствительная не реагирует на шум и случайные отклонения. Недостатком модели является то, что учитываются лишь линейные тренды и не учитывается сезонность.

**Модель Хольта – Уинтерса.** На основе модели Хольта Уинтерс (Винтерс, Winters) создал свою прогнозную модель, которая учитывает экспоненциальный тренд и аддитивную сезонность. Учет сезонности крайне важен в рассматриваемой задаче о деформациях земной поверхности, так как увеличение скорости деформаций связано с затоплением подземных выработок.

Анализ адекватности адаптивных моделей осуществляется методом скользящего контрольного сигнала. При использовании модели прогнозирования временного ряда встает проблема адекватности этой модели. Пусть  $\varepsilon_t = y_t - \hat{y}_t$ , где  $y_t$  – данные, которые уже известны;  $\hat{y}_t$  – прогноз на момент  $t$ , полученный с помощью некоторой адаптивной модели. Если ошибка  $\varepsilon_t$  невелика, то есть разница между реальными данными и прогнозом мала, то использование данной модели оправдано.

Для выбора наиболее адекватной модели проведены прогнозные расчеты по данным мониторинга оседаний в Пермском крае (рис. 1).

Изолинии суммарных оседаний и горизонтальных деформаций на рассматриваемом участке приведены на рис. 1 и 2.

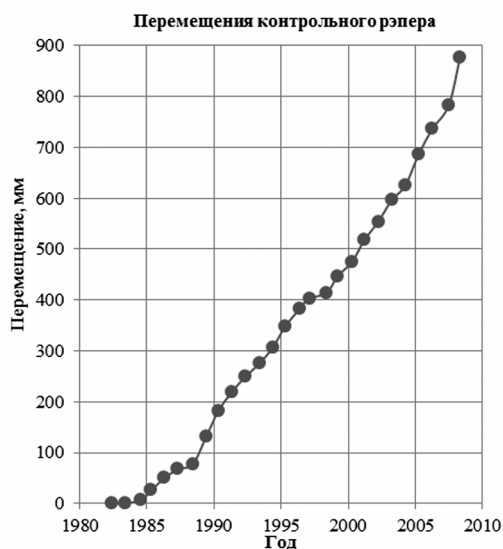


Рис. 1. График перемещений контрольного рэпера

Построим по натурным данным линейные модели Брауна и Хольта.

Все адаптивные модели делятся на два класса: модели скользящего среднего (СС-модели) и авторегрессии (АР-модели).

Согласно схеме скользящего среднего оценкой текущего уровня (наблюдения) является взвешенное среднее всех предшествующих уровней, причем вес (множитель), который отражает информационную

ценность наблюдения, тем больше, чем ближе оно находится к текущему уровню. Такие модели хорошо отражают тенденцию, но не позволяют отражать колебания, например сезонные.

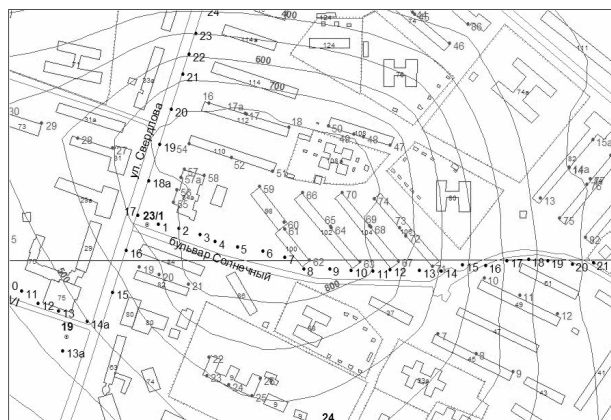


Рис. 2. План поверхности с изолиниями суммарных оседаний, мм

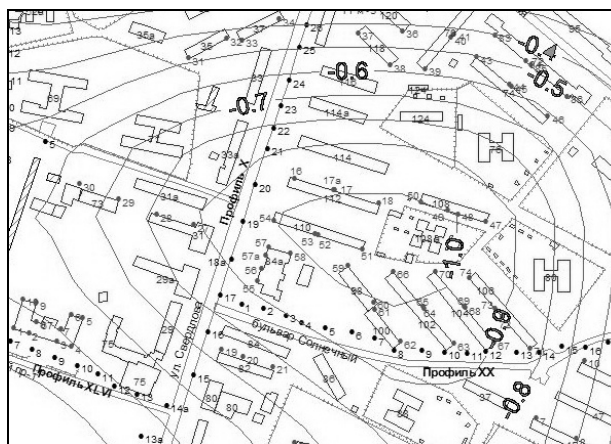


Рис. 3. План поверхности с изолиниями горизонтальных деформаций, мм/м

В СС-моделях сглаживание производится с помощью параметра сглаживания, который принимает значения в интервале от 0 до 1. Параметр сглаживания принимает значение больше 0,5 для быстроизменяющихся процессов и меньше 0,5 для относительно стабильных процессов.

Параметр сглаживания  $\alpha$  для метода Брауна определен методом подбора и принят равным  $\alpha = 0,57$ . В качестве критерия подбора параметра  $\alpha$  принято условие минимума суммарной погрешности результатов проверочного прогноза.

Графики натуральных и модельных значений оседания земной поверхности за период с 1982 по 2008 годы приведены на рис. 4.

Для оценки точности построения модели приведен график погрешности модельных значений относительно натуральных данных. Погрешность, полученная в результате моделирования, представлена на рис. 5.

На графике наглядно представлен механизм самонастройки модели. При достаточно обширной выборке погрешность моделирования находится в пре-

делах 5–7 %. Модель Хольта более точно описывает натурные данные.

Проверим точность краткосрочных (до пяти лет) прогнозов, выполненных при помощи созданных моделей Брауна и Хольта. Для этого выпол-

ним прогноз уже реализованных оседаний по данным 2005–2008 гг. Результаты прогнозирования представлены на рис. 6. Погрешность результатов прогноза относительно натуральных представлена на рис. 7.



Рис. 4. Графики натуральных и смоделированных значений



Рис. 5. Графики погрешности модельных значений

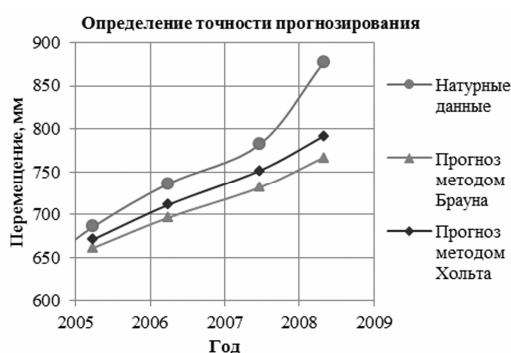


Рис. 6. Проверочный прогноз реализованных оседаний

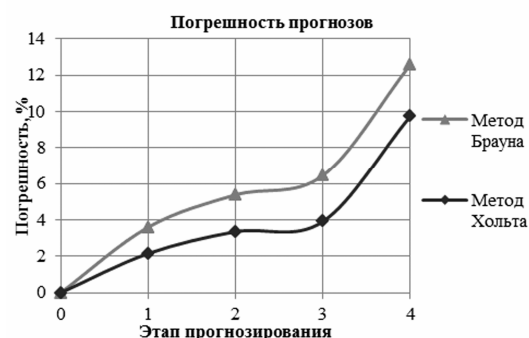


Рис. 7. Погрешность результатов прогноза

**Выводы**

По результатам проведенных расчетов из рассмотренных моделей краткосрочного прогнозирования лучшие результаты показала модель Хольта. Погрешность краткосрочного прогноза, выполненного при помощи этой модели, в первые три года не превышает 4 %, далее наблюдается значительное накопление погрешности.

Моделирование натуральных данных при помощи комбинированной модели Хольта – Уинтерса не представляется возможным, так как в предоставленной

выборке интервал значений не учитывает сезонность. Натурные данные представлены с шагом в один год, тогда как для реализации модели Хольта – Уинтерса требуются поквартальные либо помесечные данные.

**Библиографические ссылки**

1. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
2. Theil H., Wage S. Some observations on adaptive forecasting // Management Science. – 1964. – Vol. 10. – Mb 2.

3. *Winters P. R.* Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // *Management Science*. – 1960. – Vol. 6. – No. 3.

4. *Holt C. C.* Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages // *O.N.R. Memorandum, Carnegie Inst. of Technology*. – 1957. – No. 2.

5. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.

6. *Баклашов И. В., Скворцов А. А.* Разработка метода расчета деформированного состояния грунтового массива при подработке.

7. *Четыркин Е. М.* Статистические методы прогнозирования. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

8. *Федосеев В. В., Гармаш А. Н., Орлова И. В.* Экономико-математические методы и прикладные модели: учебник для бакалавров. – М.: Юрайт, 2012. – 328 с.

9. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского

месторождения калийных солей (технологический регламент).

10. *Кашеварова Г. Г., Воробьев А. В.* Численный анализ возможности сохранения жилых панельных зданий на подработанной территории // Актуальные проблемы комплексного моделирования конструкций и сооружений: Тез. докл. IV Междунар. симпозиума (Россия, г. Челябинск). – Изд. центр ЮУрГУ. – С. 77–79.

11. Программные средства для геотехнических расчетов / А. Г. Калинин, П. А. Калинин, С. А. Чернопазов, И. Л. Гладков, А. В. Воробьев // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2008. – № 1. – С. 11–14.

12. *Кашеварова Г. Г., Сон М. П., Воробьев А. В.* Определение предельно допустимых деформаций панельных зданий, эксплуатируемых на подработанной территории // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: Материалы Рос. конф. с междунар. участием (22-23 мая 2012 г., г. Уфа). – С. 51–55.

*A. V. Vorobyev*, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

### Adaptive Models for Short-Range Statistical Forecast of Surface Subsidence at Undermined Areas

*The paper presents the results of short-term forecast of the value of surface subsidence according to monitoring data for undermined areas of Perm region, which are obtained using adaptive statistical models of Brown and Holt.*

**Key words:** adaptive forecast model, short-range forecast, Brown's model, Holt's model, undermined area, surface subsidence, monitoring, displacement trough, finite-element method.

УДК 624.03

**Г. Г. Кашеварова**, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**А. В. Воробьев**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**И. Н. Фаизов**, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖИЛЫХ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ПОДРАБОТАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Рассматриваются жилые панельные пятиэтажные здания типовой серии 1-468А, находящиеся в потенциально опасной зоне сдвижения земной поверхности. Для оценки несущей способности зданий и прогнозирования развития процесса деформирования применялось численное моделирование и программный комплекс ANSYS. В результате проведенных вычислительных экспериментов выявлены наиболее нагруженные стыки панелей и перекрытий в зависимости от расположения здания относительно мульды сдвижения.*

**Ключевые слова:** горные работы, жилая застройка, мульда сдвижения, панельные здания, напряжения, метод конечных элементов, адаптивная модель прогнозирования.

**В** Пермском крае в потенциально опасной зоне влияния горных работ на подработанной территории оказалась жилая и промышленная застройка. Большую часть жилой застройки составляют дома панельной конструкции. Неравномерное оседание земной поверхности приводит к возникновению дефектов и повреждений в несущих и ограждающих конструкциях зданий.

При сдвижении земной поверхности основными показателями, позволяющими прогнозировать и оценивать состояние зданий и сооружений, являются: оседание земной поверхности  $\eta$ , радиус кривизны  $R$  и горизонтальные деформации земной поверхности  $\varepsilon$

в основаниях зданий. Механическая безопасность и эксплуатационная пригодность отдельного здания зависят от его расположения относительно мульды сдвижения.

В зданиях с кирпичными стенами наиболее типичными дефектами являются трещины, характер которых соответствует форме деформаций земной поверхности [1]. В панельных зданиях такую закономерность проследить сложно. В ходе многолетнего мониторинга и обследования технического состояния жилых зданий установлено, что основная доля усилий при неравномерном оседании таких зданий приходится на металлические закладные де-