

НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 4 (978). – С. 55-60. – Бібліогр.: 6 назв.

В статье разработан алгоритм и модель выбора рациональной информационной технологии по управлению многономенклатурным запасом. Данная методика позволяет эффективно контролировать затраты на внедрение информационной технологии в торговую организацию, что в свою очередь способствует повышению прибыли предприятия.

**Ключевые слова:** информационная технология, алгоритм, управленческое решение, многономенклатурные запасы.

In the article was developed algorithm and model choice rational of information technology management stock. This technique is useful to control the costs of the introduction information technology in the trade organization, which in turn contributes to the company's profit.

**Keywords:** information technology, algorithm, administrative decision, multinomenclature stock.

**УДК 625.7/.8:658.562**

*А. Г. БАТРАКОВА*, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харьков

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

Предложена модель обработки и интерпретации данных о физико-механических характеристиках дорожных одежд, основанная на результатах георадарного обследования.

**Ключевые слова:** георадар; дорожная одежда; диэлектрическая проницаемость.

#### **Введение**

В мировой практике практически в каждой системе управления автомобильными дорогами используется собственная модель оценки и прогнозирования состояния дорожных одежд [1-4]. Многообразии моделей объясняется тем, что изменение состояния покрытия зависит не только от его конструктивных особенностей, но и от множества случайных факторов (транспортных нагрузок, погодных-климатических факторов и пр.). В то же время работоспособность дорожной одежды и ее остаточный ресурс зависят не только от проектной надежности, но и от выбора и проведения наиболее эффективных видов работ по содержанию и ремонту. В свою очередь, назначение оптимальных мероприятий возможно только на основе полного набора данных, характеризующих фактическое состояние конструкции дорожной одежды в текущий момент времени.

Эффективным потенциалом для решения данной задачи обладают методы подповерхностного зондирования и соответствующие технические средства - георадары. Как показали георадарные обследования, выполненные на автомобильных дорогах Харьковской области, первичная обработка и последующая интерпретация результатов георадарного зондирования дорожных одежд позволяют дать количественную оценку «скрытых» параметров, таких как толщина конструктивных слоев, наличие скрытых дефектов в виде подповерхностных трещин, зон разуплотнения основания и переувлажнения грунтов земляного полотна.

#### **Постановка задачи**

В данной работе в качестве основных первичных параметров, характеризующих конструкцию дорожной одежды, будем использовать толщину конструктивных слоев и распределение в них диэлектрической проницаемости. Вторичными

© А. Г. БАТРАКОВА, 2013

параметрами, значения которых определяются в процессе математической обработки результатов зондирования, являются влажность и плотность слоев. Наконец, специфические особенности взаимодействия электромагнитных волн с различными неоднородностями в плоскостных средах являются основой алгоритмов и программного обеспечения для обнаружения, позиционирования и идентификации подповерхностных дефектов (в первую очередь трещин).

Конечным этапом обработки георадарных данных является пересчет скорости распространения волн в исследуемой структуре в значение эффективной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_{eff}$ ) и ее последующее использование для оценки толщины, влажности и плотности слоев дорожных одежд.

В свою очередь, связь эффективной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_{eff}$ ) композиционных материалов, используемых в дорожной отрасли, с их физико-механическими характеристиками (влажность, плотность) с достаточной степенью точности дается степенными представлениями [5-6] вида:

$$\theta_v = -1.98 \cdot 10^{-5} \cdot \epsilon^3 + 2.39 \cdot 10^{-4} \cdot \epsilon^2 + 1.95 \cdot 10^{-2} \cdot \epsilon - 2.08 \cdot 10^{-2}, \quad (1)$$

где  $\theta_v$  - объемное содержание воды;  $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная образца материала.

Согласно этим моделям по величине диэлектрической проницаемости как функции одной переменной определяются физико-механические характеристики материала (в рассмотренной модели – влажность), которые затем пересчитываются в технические показатели конструкции. Поскольку диэлектрическая проницаемость является функцией многих переменных, определяющих ее значения, то необходимо разработать модель, учитывающую влияние разных факторов, в первую очередь влажности и плотности, на значения измеряемой величины  $\epsilon_{eff}$ .

### Разработка модели получения данных

В таком случае предлагается ввести в рассмотрение степенную базовую модель общего вида, т.е. модель, отражающую связь физико-механических характеристик материалов слоев дорожной одежды (влажность, плотность) с электрофизическими характеристиками (диэлектрическая проницаемость):

$$W_{i=1...N}^{(j,k)} = C_0^{(j,k)} + C_1^{(j,k)} \cdot \epsilon + C_2^{(j,k)} \cdot \epsilon^2 + C_3^{(j,k)} \cdot \epsilon^3, \quad (2)$$

где  $W_{i=1...N}^{(j,k)}$  – искомый параметр;  $j$  – индекс параметра ( $j=1$  – влажность;  $j=2$  – плотность и т.д.);  $i$  – номер сечения (отсчета сигнала) при георадарном сканировании, соответствующий расстоянию данного сечения от начальной точки;  $k$  – номер слоя конструкции ( $k=1 \dots n$ );  $C_0^{(j,k)}, \dots, C_3^{(j,k)}$  – коэффициенты базовой модели, зависящие от вида материала (номера слоя конструкции), что отражает индекс  $k$ .

В зависимости от конкретных условий каждый слой конструкции локального участка будет иметь собственные текущие значения параметров  $W_i^{(j,k)}$ . Например,  $k$ -й слой  $i$ -го поперечного сечения конструкции (которому соответствует  $i$ -й отсчет, т.е. сигнал  $s_i(t)$  на радарограмме) будет иметь собственные текущие значения параметров  $W_i^{(j,k)}$ . Например, запись  $W_{488}^{(1,3)}$  означает влажность ( $j=1$ ) 3-го слоя конструкции на 488-м отсчете (ему соответствует сигнал  $s_{488}(t)$ ).

Отличие значений параметров от эталонных (соответствующих базовой модели) приведет к изменению значения эффективной диэлектрической проницаемости на

величину  $\Delta \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right)$ . Значение  $\Delta \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right)$  определяется при обследовании дорожной одежды. Наличие аргумента  $\left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right)$  подчеркивает тот факт, что изменения могут быть вызваны отклонениями разных параметров (влажности, плотности) от проектных (эталонных) значений.

При определении распределения  $\varepsilon_{eff}$  по глубине вдоль обследуемого участка дороги различия в свойствах материалов слоев будут приводить к изменению распределения амплитуды  $\Delta A_i(t)$  принимаемых сигналов, вызванному изменением коэффициента ослабления в слоях конструкции  $\Delta \alpha_i^{(k)}$ . Это означает, что, с математической точки зрения, значения искомых параметров будут зависеть не только от числовых значений (диэлектрической проницаемости), но также и от функции временного распределения отклонения амплитуды сигнала  $\Delta A_i(t)$ . Эту зависимость будем отображать соответствующим функционалом  $\Phi$ :

$$W_{i=1...N}^{(1,k)} = \Phi \left[ \left\{ \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) \right\}, \Delta \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right), \Delta A_i(t), \Delta \alpha_i^{(k)} \right]. \quad (3)$$

Множество значений диэлектрических проницаемостей  $\left\{ \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) \right\}$  функционально зависит от временного распределения соответствующих отсчетов. Будем отображать эту зависимость функционалом  $F$ :

$$\left\{ \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) \right\} = F[s_{i=1...N}(t)]. \quad (4)$$

Таким образом, в силу зависимости исследуемых параметров от многих факторов, в качестве основы алгоритмов обработки и интерпретации данных предлагается объединить соотношения (2 – 4) и ввести в рассмотрение следующую модель обработки данных общего вида:

$$\begin{cases} \left\{ \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) \right\} = F[s_{i=1...N}(t)]; \\ W_{i=1...N}^{(j,k)} = C_0^{(k)} + C_1^{(k)} \cdot \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) + C_2^{(k)} \cdot \varepsilon_{eff}^2 \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) + C_3^{(k)} \cdot \varepsilon_{eff}^3 \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right); \\ W_{i=1...N}^{(1,k)} = \Phi^{(1)} \left[ \left\{ \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) \right\}, \Delta \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right), \Delta A_i(t), \Delta \alpha_i^{(k)} \right]; \\ W_{i=1...N}^{(2,k)} = \Phi^{(2)} \left[ \left\{ \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right) \right\}, \Delta \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right), \Delta A_i(t), \Delta \alpha_i^{(k)} \right] W_{i=1...N}^{(1,k)}. \end{cases} \quad (5)$$

Первая строка в данной модели отражает связь между диэлектрическими проницаемостями слоев конструкции и георадарными данными  $s_{i=1...N}(t)$ . Вторая строка – исходная базовая модель. Две последние строки отражают функциональные связи между электрофизическими параметрами и искомыми значениями влажности и плотности.

Наличие в аргументах функций  $\varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right), \Delta \varepsilon_{eff} \left( W_{i=1...N}^{(j,k)} \right)$  полного набора всех параметров  $W_{i=1...N}^{(j,k)}$  отражает факт зависимости измеряемой величины (диэлектрической проницаемости) от совокупности текущих значений всех параметров (влажности, плотности). Кроме того, в правую часть последнего соотношения модели – в функционал  $\Phi^{(2)}$  включена величина  $W_{i=1...N}^{(1,k)}$ , чтобы подчеркнуть изменение плотности, обусловленное изменением влажности, т.е. взаимосвязь параметров.

Таким образом, используемые ранее модели преследовали одну общую цель – с помощью простых аналитических формул получить прямую связь между искомым (влажность или плотность) и измеряемым ( $\varepsilon_{eff}$ ) параметрами. Основным недостатком этих моделей в том, что, отражая влияние одного фактора (влажности), они не учитывают другой фактор (плотность). В то же время, прямые модели свидетельствуют об одновременном влиянии на  $\varepsilon_{eff}$  влажности и плотности [7].

Получить аналитически либо эмпирически требуемые соотношения для всех случаев в универсальном и простом виде не представляется возможным. Поэтому предлагаемая модель является определенным компромиссом между простотой базовой модели (2) и эффективностью всей схемы. Такая модель основана на привлечении некоторой априорной информации, характерной для каждого конкретного случая, и сравнении в процессе обследования текущих данных с эталонными (калибровочными), что позволяет повысить эффективность измерений.

### **Применение модели**

Схема применения георадарных данных для оценки фактического состояния дорожных одежд предполагает:

- а) сканирование обследуемого участка дороги с целью получения исходных данных (набор сигналов по профилю исследуемой структуры);
- б) вычисление значений  $\varepsilon_{eff}$  слоев конструкции;
- в) определение деформационных характеристик (модуля упругости) конструкции дорожной одежды;
- г) сравнение полученных данных с проектными значениями;
- д) назначение мероприятий по ремонту (дорожной одежды) согласно действующим нормативным документам и прогнозирование дальнейшего поведения системы.

### **Выводы**

Предложенная модель обработки и интерпретации данных о состоянии дорожных одежд с помощью технологий подповерхностного зондирования позволяет в компактной форме записать постановку задачи обработки георадарных данных, полученных в результате обследования автомобильных дорог. Формализация операций интерпретации радарограмм в виде схемы (5) является удобным способом создания основы вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для их автоматизированной обработки.

**Список литературы:** 1. Слободчиков Ю. В. Обоснование оценочных показателей выбора ремонтной стратегии автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами в изменяющихся условиях эксплуатации: дис. докт. техн. наук 05.22.11 / Ю. В. Слободчиков. – М.: МАДИ, 1995. – 333 с. 2. Ababutain A. Y. Multicriteria Decision-Making Model for Selection of Build-Operate-Transfer Toll Road Proposals in the Public Sector./ A. Y. Ababutain, A. Bullen. //Transportation Research Record – 2003. – No. 1848. – P.1-9. 3. Durango-Cohen P. Optimal Maintenance and Repair Policies in Infrastructure Management under Uncertain Facility Deterioration Rates: An Adaptive Control Approach / P. Durango-Cohen, S. Madanat // Transportation Research Part A. – 2002. - №36 (9). – P. 763-778. 4. Cafiso S. Analysis Method for Pavement Maintenance Management./ S. Cafiso, A. Di-Graziano, H. R. Kerali, J. B. Odoki // Transportation Research Record. – 2002. – №1816, P.73-84. 5. Grote K. Evaluation of infiltration in layered pavements using surface GPR reflection techniques./ K. Grote, S. Hubbard, J. Harvey, Y. Rubin. Journal of Applied Geophysics. – 2005. - №57 – P. 129–153. 6. Topp G. C. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines./ G. C. Topp, J. L. Davis, A. P. Annan //Water Resources Research. – 1980. – №16. – P. 574–582. 7. Mardeni R. Road pavement density analysis using a new

non- destructive ground penetrating radar system / R. Mardeni., Raja Abdullah, H. Z. M. Shafri. // Progress In Electromagnetic Research . – 2010. – №21. – P. 399-417.

*Надійшла до редколегії 25.12.2012*

УДК 625.7/.8:658.562

**Математическая модель обработки и интерпретации данных подповерхностного зондирования дорожных одежд** / Батракова А. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 4 (978). – С. 60-64. – Бібліогр.: 7 назв.

Запропоновано модель обробки та інтерпретації даних о фізико-механічних характеристиках дорожніх одягів, яка ґрунтується на результатах георадарного обстеження. **Ключові слова:** георадар; дорожній одяг; діелектрична проникність.

The model of processing and interpretation of the data concerning physicomachanical characteristics of the road pavements, based on the results of ground penetrating radar surveys is offered.

**Keywords:** ground penetrating radar; road surfacing; dielectric permittivity.

УДК 621.373.072.9

**В. В. РАПИН**, канд. техн. наук, доц., ООО Китмаш, Харьков

### **ВЛИЯНИЕ АРГУМЕНТНОЙ ФАЗОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Исследован одноконтурный автогенератор с аргументной фазовой обратной связью синхронизированный на основном тоне. Приведены математические модели и соотношения, описывающие влияние обратной связи на флуктуации фазы сигнала автогенератора в случае гармонической синхронизации и ее влияние на вторую гармонику сигнала при полигармонической синхронизации.

**Ключевые слова:** автогенератор, синхронизация, обратная связь.

#### **Введение.**

Автоколебательные системы (АКС) широко применяются в радиотехнике, связи, часто определяя предельные возможности по основным параметрам. Используемые в настоящее время системы связи, не удовлетворяют потребностям органов управления в скорости информационного обмена и уровне защищенности сообщений. Путем повышения их эффективности является использование сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ), [1, 2]. Для достижения высокой помехозащищенности и скрытности оптимальным считается количество скачков частоты в секунду от 600 до 2000. В Украине нет систем связи с ППРЧ. За рубежом они имеются, но и в них количество переключений не превышает 200. Ограничение обусловлено быстродействием и фазовым шумом синтезаторов частоты, основой которых является система ФАПЧ, [2, 3].

Разработка систем связи с ППРЧ требует соответствующей измерительной аппаратуры: генераторов сигналов, сканеров диапазонов частот, спектроанализаторов. Они должны иметь большую скорость перестройки частоты и меньшие фазовые шумы, чем тестируемые системы. Однако в них используются те же ФАПЧ синтезаторы с малым шагом перестройки частоты, не обеспечивающие требуемые показатели [3], по причине использования фильтра низких частот с узкой полосой пропускания, ограничивающего скорость перестройки, делителя в цепи обратной связи и фазового детектора, повышающих уровень фазового шума.

Аналоговые и цифровые синтезаторы имеют высокую скорость перестройки и

© В. В. РАПИН, 2013