

**Work results.** Fig. 1 shows a block diagram of intelligent system of construction and road-machines. The system includes the following modules: the coordination module – it generates the vector of weightage of the criteria of business processes optimization; optimization modules, which are for self-study and assesment of effectiveness of workflow control; the module of sensors failures control – for direct and indirect assessment of working condition of sensors integrated into the machine design elements; the module of efficiency and safety assesment – for fixing the failures of construction machines elements and turning off the machine in hazardous and emergency modes; the module of resource forecasting – to assess the residual life of structural elements of the machine to anticipate their scheduled replacement.

Modern means of technical communication allow realizing the modular approach to management in full, but the challenge of choosing the optimal quantity and range of diagnostic parameters necessary for processing and analysis of remote maintenance center arises.

The following factors can be the criteria that determine the need and possibility to use one of the structural, regulatory or diagnostic parameters in continuous monitoring of the technical state of the remote object:

- integrity of parameters (performance of the machine, engine power, fuel consumption) requires the following advanced troubleshooting, but can quickly respond to a possible change in performance efficiency of machines and reduce the amount of information transmitted;
- availability of the system of self-diagnosis of construction and road machines;
- the impact of controlled parameters on the intense wear of elements;
- the possibility to forecast on the base on the information obtained;
- the necessity to install additional sensors not native to a complete set;
- the cost of technical control of the selected parameters.

УДК 658.562

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.т.н. Н. А. Любимова<sup>1</sup>, д.т.н. В. Д. Сахацкий<sup>2</sup>

1. Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева

2. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Рассмотрены возможности использования вейвлет-преобразований при создании математических моделей контроля выбросов асфальтобетонных предприятий. Показана возможность обнаружения нестационарности процессов.*

*Розглянуто можливості використання вейвлет-перетворень при створенні математичних моделей контролю викидів асфальтобетонних підприємств. Показана можливість виявлення нестационарності процесів.*

*The possibilities of using wavelet transforms in developing mathematical models for plan control of emissions from asphalt concrete plants. The possibility of detection of time-dependent processes of air pollution for the adoption of adequate management decisions.*

To determine the optimal composition of diagnostic information based on the certain priorities (technical and economic indicators, resource indicators, safety indicators, the possibilities of communication systems, etc.) a matrix of diagnostic parameters is created. The physical nature of solution of this problem is the exclusion of faults that are incompatible with the existence of a certain combination of diagnostic parameters being measured. The process of discovering any malfunctions can be considered as reducing the degree of uncertainty of technical condition of the object being diagnosed.

**Conclusions.** The experience in development of theoretical foundations and practical implementation of CRM intelligent systems indicates their great promise for the use in roadwork.

Designing intelligent systems for CRM operator support is iterative in nature and is based on the design of individual modules, subsystems and their integration into a single unit based on artificial intelligence and the use of modern tools of creation of intelligent applications.

### REFERENCES:

1. Shabaev O.E. *The principles of intellectualization of working processes of mechatronic mine-extracting machine* / O.E. Shabaev, A.K. Semenchenko, N.V. Khytsenko // *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu: Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal hirnychoho profilu*. - 2010. - №1. - S. 68-77.
2. Amelin V.M. *Electronic systems of management and control of construction and road machines* / V.M. Amelyn, Yu.M. Ynkov, V.Y. Marsov. - M.: Intekst. - 1998. - 134 s.
3. Pluhyna T.V. *Design of intelligent operation stations of distribution management system* / T.V. Pluhyna, D.O. Markozov // *Vestnyk KhNADU*. - 2013. - Vyp.63. - S. 93 - 97.
4. Khmara L.A. *Net-centric technologies in efficient maintenance of road-construction machinery* / L.A. Khmara, S.Y. Kononov // *Vestnyk KhNADU*. - 2012. - Vyp.57. - S. 36 - 42.
5. Pluhina T.V. *The task of intellectualization of modern road-construction machines* / T.V. Pluhina, V.O. Stotskyi // *Tekhnolohiya pryborostroeniya: spets. vyp.* - 2014. - S. 40 - 43.

**Ключевые слова:** выбросы, контроль, план, экологический мониторинг, математическая модель, вейвлет-преобразования

**Актуальность работы.** Технологический процесс производства дорожных покрытий, обеспечивает целенаправленное и последовательное изменение свойств сырья, полупродуктов, вспомогательных материалов для получения нового продукта с заранее заданными свойствами.

К числу отходов, образующихся в ходе технологического процесса, относятся продукты побочных химических реакций, неполные или, наоборот, чрезмерные превращения сырья, вещества полимеризации или конденсации сырья и промежуточных продуктов, фильтраты, промывные воды,

воды от абсорбционных установок очистки хвостовых газов, отработанный воздух окислительных процессов, не полностью вступающие в реакцию газы, масла, растворы катализаторов и др. Отходы могут давать также вспомогательные вещества, применяемые в технологических процессах: отработанные катализаторы, адсорбенты, растворители, вода от промывки оборудования и тары, воздух для продувки осадков на фильтрах, невозобновляемая тара, фильтровальные материалы и др.

Классический асфальтобетон состоит из щебня, песка, минерального порошка (филера) и битумного вяжущего (битум, полимерно-битумное вяжущее). Асфальт — смесь битумов (60-75 % в природном и 13-60 % в искусственном) с минеральными веществами (известняком, песчаником и др.). Применяют в смеси с песком, гравием, щебнем для устройства шоссейных дорог, как кровельный, гидро- и электроизоляционный материал, для приготовления замазок, клеев. При его производстве в качестве отходов выделяются оксиды азота; сажа; ангидрид сернистый (серы диоксид –  $SO_2$ ); углерода оксид (CO); углеводороды предельные C12-C19; мазутная зола; пыль неорганическая ( $SiO_2 > 70\%$ ) динас и др.; пыль неорганическая ( $SiO_2 = 20-70\%$ ) цемент, шамот и др.; пыль неорганическая ( $SiO_2 < 20\%$ ) известняк и др. Основные загрязнители: свинец и его неорганические соединения.

В соответствии с международными экологическими требованиями необходимо осуществлять соответствующий планируемый контроль качества и количества отходов для выполнения регламента и не превышения норм выбросов и сбросов в окружающую среду.

**Анализ литературы и достижений.** Любая система измерительного контроля – это информационная структура, преобразующая первичную количественную измерительную информацию в информацию вторичную, представленную качественными решениями. Последние характеризуются вероятностями ошибок, минимизация которых достигается, не в последнюю очередь, за счет статистической обоснованности подготовки первичных данных с учетом вида математической модели их преобразования. Адекватность такой модели вероятностным свойствам объекта плана контроля обеспечивает отсутствие методических составляющих полной вероятности ошибки контроля. Процессы загрязнения воздушной среды – это сложные диффузные объекты контроля, вероятностные свойства которых отличаются неопределенностью, зависящей во времени от множества случайных факторов. Планирование контроля таких процессов – задача трудная в смысле минимизации ошибок контроля, так как она связана с контролем, учитывающим неопределенность в появлении локальных эффектов случайного факторного влияния, на фоне общей нестационарности контролируемых процессов.

Снижение неопределенности в оценке вероятностных свойств такого сложного, диффузного объекта контроля, как многокомпонентные, априори нестационарные, процессы загрязнения, достигается, в первую очередь, за счет изучения их спектральных особенностей [1]. Последние проявляются не только в случайности моментов времени появления

экстремальных выбросов, но и в случайностях их длительностей и интенсивности. Реальные процессы загрязнения достаточно узкополосны, их энергетические спектры сдвинуты в область низких частот, но для некоторых компонентов характерно наличие отдельных спектральных высокочастотных выбросов и спектров с практически постоянной спектральной плотностью типа спектральной плотности «белого шума» [2,3]. Последнее объясняется особенностями технологических операций физико-химической очистки выбросов предприятий в атмосферу [4] или биохимической очистки загрязняющих сбросов в водные объекты [2,4].

Использование априорной информации о спектральных особенностях контролируемых процессов загрязнения, безусловно, способствует повышению достоверности контроля последних, так как базируется на информационной и временной избыточности результатов измерений. Однако, такая избыточность, получаемая обычно на этапе обучения и калибровки системы контроля [4,5], по целому ряду причин не может быть связана с применением методов классического спектрального анализа.

Во-первых, процессы загрязнения характеризуются локальными нарушениями не только спектральной стационарности, так как эти процессы нестационарны [1] по целому ряду параметров, а именно – по математическому ожиданию, дисперсии, плотности распределения вероятностей и т.д.

Во-вторых, интервалы времени наблюдения таких процессов, особенно на этапе обучения систем контроля, ограничены.

В-третьих, измерительный контроль процессов загрязнения является периодическим, что приводит к потере части информации, поскольку реальные процессы заменяются дискретизированными случайными последовательностями отсчетов (временными рядами). Перечисленные причины должны быть учтены при планировании контроля многокомпонентных нестационарных процессов загрязнения атмосферы.

**Цель и задачи работы.** В большинстве задач планирования контроля процессами, последние принимаются стационарными. При этом задается вероятность ошибки только первого рода, а вероятностная модель факторного влияния во всех случаях – параметрическая. Эта же модель используется и в процедурах контроля нестационарности.

Рассмотрим возможности планирования объемов измерений с учетом заданных вероятностей ошибок контроля первого и второго рода при использовании однофакторного дисперсионного анализа группированной реализации контролируемого нестационарного процесса, когда последний представлен случайной моделью компонент дисперсий (моделью со случайными факторами) [2].

**Основная часть.** Перечисленные причины должны быть учтены при планировании контроля многокомпонентных нестационарных процессов загрязнения.

При существующей априорной ограниченности получаемой измерительной информации, наиболее эффективными являются модели выявления локальных спектральных изменений в случайных процессах на основе методов дисперсионного анализа

группированных, распределенных во времени, результатов измерений или методов локализованного спектрального вейвлет-анализа [1,5].

Задачи исследований, основанные на применении перечисленных методов для повышения достоверности контроля, следующие:

– разработка математической модели и метода планирования контроля нестационарности по группированным реализациям процесса загрязнения при случайных скачкообразных изменениях уровней нестационарности;

– разработка метода многофакторного дисперсионного анализа эффектов локально прогрессирующей нестационарности процесса загрязнения, представленного кусочно-линейной регрессионной моделью;

– разработка метода сравнительного оценивания априорных вероятностей выбросов по компонентам процесса загрязнения на основе двумерных вейвлет-преобразований результатов периодических измерений значений этих компонент на конечных интервалах времени.

Планирование контроля случайных скачкообразных локализованных изменений нестационарности в загрязняющих выбросах

Любая система измерительного контроля – это информационная структура, преобразующая первичную количественную измерительную информацию в информацию вторичную, представленную качественными решениями. Последние характеризуются вероятностями ошибок, минимизация которых достигается, не в последнюю очередь, за счет статистической обоснованности подготовки первичных данных с учетом вида математической модели их преобразования.

Адекватность такой модели вероятностным свойствам объекта контроля обеспечивает отсутствие методических составляющих полной вероятности ошибки контроля. Процессы загрязнения воздушной среды – это сложные диффузные объекты контроля, вероятностные свойства которых отличаются неопределенностью, зависящей во времени от множества случайных факторов.

Планирование контроля таких процессов – задача трудная в смысле минимизации ошибок контроля, так как она связана с контролем, учитывающим неопределенность в появлении локальных эффектов случайного факторного влияния, на фоне общей нестационарности контролируемых процессов.

В большинстве задач планирования контроля процессами, последние принимаются стационарными. При этом задается вероятность ошибки только первого рода, а вероятностная модель факторного влияния во всех случаях – параметрическая. Эта же модель используется и в процедурах контроля нестационарности [5,7].

Рассмотрим возможности планирования объемов измерений с учетом заданных вероятностей ошибок контроля первого и второго рода при использовании однофакторного дисперсионного анализа группированной реализации контролируемого нестационарного процесса, когда последний представлен случайной моделью компонент дисперсий (моделью со случайными факторами) [4,6].

Зададим вероятностную модель нестационарности. Пусть  $x(t)$  – контролируемый на отсутствие или наличие выбросов процесс случайного изменения во времени компонента загрязнения  $X$ .

Пусть  $A$  – влияющий на компонент  $X$  фактор, уровни которого представляют собой случайные независимые величины.

Изменение уровня фактора  $A$  во времени вызывает появление у процесса  $x(t)$  нестационарности по математическому ожиданию.

Пусть  $K$  – число случайных уровней фактора  $A$ . Выделим  $K$  групп последовательных результатов измерения процесса  $x(t)$ , соответствующих  $K$  уровням фактора  $A$ , по  $n$  измерений в каждой группе.

Модель группированных результатов измерений представим суммой

$$x_{ji} = \bar{x} + U_j + Z_{ji}, \quad (1)$$

где  $U_j$  – отклонение  $x_{ji}$  от общего среднего  $\bar{x}$ , обусловленное влиянием фактора  $A$ ;

$Z_{ji}$  – случайное остаточное отклонение;

$$j = \overline{1, K}; \quad i = \overline{1, n}.$$

Требования к случайным отклонениям  $U_j$  и  $Z_{ji}$ : равенство нулю математических ожиданий и постоянство их дисперсий, равных, соответственно,  $\sigma_u^2$  и  $\sigma_z^2$ .

Дисперсионное разложение полной суммы  $Q$  квадратов отклонений  $x_{ji}$  от общего среднего  $\bar{x}$

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

позволяет оценить среднее квадратическое отклонение между группами

$$\bar{Q}_1 = \frac{n}{(K-1)} \sum_{j=1}^K (\bar{x}_j - \bar{x})^2, \quad (3)$$

а также – среднее квадратическое отклонение внутри групп

$$\bar{Q}_2 = \frac{n}{(N-K)} \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^2, \quad (4)$$

где  $\bar{x}_j$  – среднее в  $j$ -той группе;  $N = n \cdot K$ .

Для выбора параметров плана контроля рассмотрим реальный случай, когда  $X(t)$  нестационарен по математическому ожиданию на всем периоде наблюдения, причем уровень этой нестационарности может изменяться в пределах периода ( $U_j \neq 0$  для всех  $j = \overline{1, K}$  выражение (1)).

Процедура измерительного контроля включает следующие этапы:

1. По выражениям (3) и (4) вычисляют суммы  $\bar{Q}_1$  и  $\bar{Q}_2$ ;

2. По суммам  $\bar{Q}_1$  и  $\bar{Q}_2$  вычисляют критериальную  $F$ - статистику контроля по формуле

$$F_{(k-1)(N-k)} = \bar{Q}_1 / \bar{Q}_2; \quad (5)$$

3. Статистику сравнивают с критической  $F_{кр}$ , которая является  $\alpha$ -процентной точкой центрального  $F$ -распределения и берется из соответствующей таблицы.

Принимают решение  $\gamma_0$  (выброс на периоде наблюдения – отсутствует), если

$$F_{(k-1)(N-k)} < F_{кр}$$

Если последнее неравенство не выполняется, то принимают решение  $\gamma_1$  (на периоде наблюдения присутствует статистически значимый выброс). Введем основную  $H_0$  и альтернативную  $H_1$  гипотезы:

$$H_0: \sigma_U^2 = \sigma_{U_0}^2$$

$$H_1: \sigma_U^2 = \sigma_{U_1}^2 > \sigma_{U_0}^2$$

Критериальная статистика (5)

$$F = F_{(K-1),(N-K)}$$

позволяет проверить справедливость любой из гипотез  $H_0$  или  $H_1$ . Следует отметить, что эта статистика является случайной величиной с центральным  $F$ -распределением (с  $(K-1)$  и  $(N-K)$  степенями свободы), но умноженной на соответствующую постоянную:

а) при справедливости гипотезы  $H_0$ :

$$F = F_{(K-1),(N-K)} \cdot \left[ 1 + n(\sigma_{U_0}^2 / \sigma_Z^2) \right]; \quad (6)$$

б) при справедливости гипотезы  $H_1$ :

$$F = F_{(K-1),(N-K)} \cdot \left[ 1 + n(\sigma_{U_1}^2 / \sigma_Z^2) \right]. \quad (7)$$

Пусть  $f(F / H_0)$ ,  $f(F / H_1)$  – условные плотности распределения критериальной статистики  $F$ , при справедливости основной и альтернативной гипотезы соответственно.

Введем критическую статистику  $F_K$ , такую, которая обеспечивает выполнение неравенств

$$\int_{F_K}^{\infty} f(F / H_0) dF \leq \alpha, \quad (8)$$

$$1 - \int_0^{F_K} f(F / H_1) dF \geq 1 - \beta, \quad (9)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  вероятности ошибок контроля, соответственно, первого и второго рода.

Введем в рассмотрение процентные точки  $F_{(K-1),(N-K),(1-\alpha)}$  и  $F_{(K-1),(N-K),\beta}$  для  $F$ -распределения.

Тогда неравенства (8) и (9) примут вид

$$F_{(K-1),(N-K),\beta} \geq F_K \left[ 1 + n(\sigma_{U_1}^2 / \sigma_Z^2) \right], \quad (10)$$

$$F_{(K-1),(N-K),(1-\alpha)} \leq F_K \left[ 1 + n(\sigma_{U_0}^2 / \sigma_Z^2) \right] \quad (11)$$

Из неравенств (10) и (11) следует совместное неравенство

$$\left[ 1 + n(\sigma_{U_1}^2 / \sigma_Z^2) \right] \cdot F_{(K-1),(N-K),\beta} \leq F_K \leq \left[ 1 + n(\sigma_{U_0}^2 / \sigma_Z^2) \right] \cdot F_{(K-1),(N-K),(1-\alpha)} \quad (12)$$

Значение  $F_K$ , удовлетворяющее последнему неравенству, соответствует выполнению условия

$$\frac{F_{(K-1),(N-K),(1-\alpha)}}{F_{(K-1),(N-K),\beta}} \leq \left[ \frac{1 + n(\sigma_{U_1}^2 / \sigma_Z^2)}{1 + n(\sigma_{U_0}^2 / \sigma_Z^2)} \right], \quad (13)$$

которое, при увеличении  $n$  превращается в базовое условие планирования числа групп измерений

$$\frac{\chi^2_{(K-1),(1-\alpha)}}{\chi^2_{(K-1),\beta}} \leq \frac{\sigma_{U_1}^2}{\sigma_{U_0}^2}. \quad (14)$$

Условию (14) удовлетворяет минимально возможное число групп  $K_{min}$ , для которого отношение соответствующих процентных точек  $\chi^2$ -распределения не превышает отношения

$$\frac{\sigma_{U_1}^2}{\sigma_{U_0}^2} = \delta^2, \quad (15)$$

Выражения (14) и (15) позволяют по заданным рискам  $\alpha$  и  $\beta$  и отношению  $\delta$  выбирать минимально возможное  $K_{min}$  число групп результатов измерений (фактически – длительность окна наблюдения при скользящем контроле локальных изменений стабильности процесса). Нахождение  $K_{min}$  проводится, например, по таблице процентных точек  $\chi^2$ -распределения.

В таблице 1 представлены значения минимального числа групп результатов измерений для заданных  $\delta$  и рисков контроля  $\alpha$  и  $\beta$  [5,6,7].

Таблица 1  
Значения минимального числа  $K_{min}$  групп измерений для заданных  $\delta$  и рисков контроля  $\alpha$  и  $\beta$

$\frac{\sigma_{U_1} = \delta}{\sigma_{U_0}}$	$K_{min}$		
	$\alpha = \beta = 0,1$	$\alpha = \beta = 0,05$	$\alpha = \beta = 0,01$
1,5	22	35	68
2	9	14	25
2,5	7	9	16
3	5	7	12

**Выводы** Из таблицы 1 видно, что для повышения чувствительности контроля выбросов (уменьшение отношения  $\delta$ ) необходимо увеличивать число групп  $K$ . Количество же измерений  $n$  внутри этих групп роли не играет. Главное, чтобы  $n$  было не менее двух [6,4]. Этот же математический подход возможно использовать при составлении плана контроля выбросов предприятий, изготавливающих дорожные покрытия. Перед составлением плана контроля необходимо для уточнения предварительно проанализировать априорную информацию контролируемой выборки конкретного объекта.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Щапов П.Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределенности / П.Ф. Щапов, О.Г. Аврунин // Харьков: ХНАДУ. – 2011. – 192 с.
2. Шестопалов А.В., Повышение точности контроля концентрации выбросов в атмосфере города стационарными источниками: Дисс. к. т. н: 05.11.13 / А.В.Шестопалов // Омск – 2007. – 114 с.
3. Масікевич Ю.Г. Методи вимірювань параметрів навколишнього середовища / Ю.Г. Масікевич, С.О.Гринь, В.К. Сівак, В.Д. Солодкий, В.Ф.Моїсєєв, В.П.Шапорєв, М.С.Рогозинський// Чернівці: Зелена Буковина. –2005.–344 с.
4. Новожилова Л.Л. Численные исследования аэродинамики дымовых труб с целью обеспечения достоверного контроля вредных выбросов ТЭС в атмосферу. Дисс. к.т.н. 05.14.14 / Л.Л. Новожилова / М. – 2009. – 181 с.
5. G.Ososkov. Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals / G.Ososkov, A.Shitov – Computer Physics Communication, Vol.126 (2000). – P. 149-157.
6. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф.Лион; пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого // М.: Мир. – 1981. – 520 с.
7. Любимова Н.А. Статистическая модель обнаружения нежелательных трендов контроля контролируемых параметров газообразных выбросов энергетических производств / Н.А.Любимова // К.:Электронное моделирование. –2014.–Т. 36, № 2.– С.97 –105