

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СКЛАДУ МОБІЛЬНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

¹Б.В. Коней, ²В.В. Лопатін, ³О.І. Стефанишин, ¹І.Б. Коней

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40534
e-mail: koreyb@pung.edu.ua

² Інститут геотехнічної механіки НАНУ, м. Дніпропетровськ, вул. Сімферопольська, 2-а,

³ ЦБВО ВАТ "Укрнафта", 79760, Львівська обл., м. Борислав, вул. Шевченка, 77-а

Сформульовано і вирішено завдання оптимізації (мінімізації) кількості давачів мобільної вимірювальної системи (МВС) контролю якості свердловинних штангових насосних установок і шахтного комплексу з використанням байєсівського підходу.

Запропоновано нестандартний підхід до вибору оптимального складу мобільної вимірювальної системи для свердловинних штангових насосних установок і шахтних комплексів на основі технологій, що застосовуються в космічній галузі. Задача контролю якості ШСНУ (ШПК) МВС розв'язується послідовно на різних рівнях ШСНУ (ШПК), тому виявляється доцільним в просторі результатів контролю (спостережень) X виділити область X_{n+1} , як таку, що при попаданні в неї результат контролю не фіксується, а МВС контролю якості ШСНУ (ШПК) переходить на поглиблений контроль параметрів ШСНУ (ШПК). Дане рішення дозволяє більш точно отримати результати вимірювання мобільної вимірювальної системи для свердловинної штангової насосної установки (ШСНУ) і шахтного комплексу (ШПК), що покращує метрологічну точність і підвищує достовірність отриманої інформації. Оптимізацію складу мобільної вимірювальної системи необхідно проводити на базі "завдання Ельвінга" (ЗЕ). У МВС для побудови алгоритму фільтрації ЗЕ використовується метод найменших квадратів. Коли обидві залежності початкового і кінцевого часу вимірювання являють собою строгі нерівності, зосередивши всі вимірювання на обох кінцях інтервалу, набудемо оптимального значення дисперсії при одночасному визначенні оцінки швидкості. При оптимальному розподілі вимірювань в МВС, їх загальне число n має бути розбите на дві рівні групи, розміщені з максимальною щільністю по краях мірного інтервалу T . Коли в МВС необхідно підвищити точність оцінки декількох скалярних параметрів ШСНУ (ШПК), то кожному з них повинен відповідати свій оптимальний склад МВС. При постановці ЗЕ бажано врахувати залежність граничних значень модуля коефіцієнта кореляції між двома вимірюваннями від проміжку часу, що розділяє ці вимірювання. Вибір універсального складу МВС необхідно проводити за універсальним критерієм В. Г. Єршова. При плануванні вимірювального експерименту, що має на меті визначення параметрів стану реальної ШСНУ (ШПК), необхідно насамперед визначити відповідну систему допущень про характер помилок даних і вибрати на основі цих допущень оптимальну стратегію проведення і обробки вимірювань МВС. Після закінчення обробки отриманих експериментальних даних слід провести апостеріорну перевірку правильності прийнятих допущень.

Ключові слова: мобільна вимірювальна система, верстат-гойдалка, редуктор, давач, відмова, надійність, ресурс

Поставлена и решена задача оптимизации (минимизации) количества датчиков мобильной измерительной системы (МИС) контроля качества скважинных штанговых насосных установок и шахтного комплекса с использованием байесовского подхода.

Предложен нестандартный подход к выбору оптимального состава мобильной измерительной системы для скважинных штанговых насосных установок и шахтных комплексов на базе технологий, используемых в космической отрасли. Задача контроля качества ШСНУ (ШПК) МИС решается последовательно на разных уровнях ШСНУ (ШПК), потому целесообразным является в пространстве результатов контроля (наблюдений) X выделить область X_{n+1} , при попадании в которую результат контроля не фиксируется, а МИС контроля качества ШСНУ (ШПК) переходит на углубленный контроль параметров ШСНУ (ШПК). Данное решение позволяет получить более точные результаты измерения мобильной измерительной системы для скважинной штанговой насосной установки (ШСНУ) и шахтного комплекса (ШПК), который улучшает метрологическую точность и повышает достоверность полученной информации. Оптимизацию состава мобильной измерительной системы необходимо проводить на базе "задания Ельвинга". В МИС для построения алгоритма фильтрации ЗЕ используется метод наименьших квадратов. Когда обе зависимости начального и конечного времени измерения представляют собой строгие неравенства, сосредоточив все измерения на обоих концах интервала, приобретем оптимальное значение дисперсии при одновременном определении оценки скорости. При оптимальном распределении измерений в МИС их общее число n должно быть разбито на две равные группы, размещенные с максимальной плотностью по краям мерного интервала T . Когда в МИС необходимо повысить точность оценки нескольких скалярных параметров ШСНУ (ШПК), каждому из них должен отвечать свой оптимальный состав МИС. При постановке ЗЕ желательно учесть зависимость предельных значений модуля коэффициента корреляции между двумя измерениями от промежутка времени, разделяющего эти измерения. Выбор универсального состава МИС необходимо проводить по универсальному критерию В. Г. Ершова. При планировании измерительного эксперимента с целью определения параметров состояния реальной ШСНУ (ШПК), необходимо, в первую очередь,

определить соответствующую систему допущений о характере ошибок данных и выбрать по этим допущениям оптимальную стратегию проведения и обработки измерений МИС следует провести апостериорную проверку правильности принятых допущений.

Ключевые слова: мобильная измерительная система, станок-качалка, редуктор, датчик, отказ, надежность, ресурс

The task of optimization (minimizations) of amount of sensors of the mobile measuring systems (MIS) for checking of quality of pumpings units and mine lifting complex system with the use of Bayesian approach was put and resolved in article.

The non-standard approach is offered for the choice of optimum composition of the mobile measuring system for pumpings units and mine liftings complexes on the basis of technologies, used in space industry.

The task of control of quality of PU(MLC) of MVS is untied consistently on the different levels of PU(MLC), that is why appears expedient in space of control (supervisions) results X to select the area of X_{n+1} , as such, that at a hit for it a control result is not fixed, and MVS of control of quality of PU(MLC) passes to deep control of parameters of PU(MLC). This decision allows more exactly to get the results of measuring of the mobile measuring system for the downhole pumping units and mine complex which improves metrology exactness and promotes authenticity of the got information. Optimization of composition of the mobile measuring system must be conducted on the base of "task of Elfing" (TE). In MVS for the construction of algorithm of filtration of TE a least-squares method is utilized. When both dependences of initial and eventual time of measuring show by itself strict inequalities, concentrating all of measurings on both ends of interval, will purchase the optimum value of dispersion at simultaneous determination of velocity estimation. At the optimum distributing of measurings in MVS, them the incurrence of n must be broken on two even groups, placed with a maximal closeness on the edges of the measured interval of T . When in MVS it is necessary to promote exactness of estimation of a few scalar parameters of PU(MLC), to each of them the optimum composition of MVS. It must answer and it is desirable to take into account dependence of maximum values of the module of coefficient of correlation raising of TE between two measurings from the interval of time which divides these measuring. For choice of universal composition of MVS it is necessary to conduct after the universal criterion of V. G. Ershov. During the planning of measuring experiment, that has for an object determination of parameters of the state of real PU(MLC), it is necessary above all things to define the proper system of assumptions about character of errors of information and choose on the basis of these assumptions optimum strategy of leadthrough and treatment of measurings of MVS it follows to conduct a posteriori verification of rightness of the accepted assumptions.

Keywords: mobile measuring system, pumping unit, reducer, transducer, failure, reliability, resource

Актуальність проблеми

Мобільні вимірювальні системи застосовуються для контролю як штангових свердловинних насосних установок (ШСНУ) так і шахтних підйомних комплексів (ШПК). Однією з важливих проблем контролю ШСНУ і ШПК мобільною вимірювальною системою (МВС) є визначення оптимальної кількості давачів на контрольованій ШСНУ(ШПК).

Аналіз стану проблеми

Вперше постановку завдання вибору оптимального складу некорельованих вимірювань при обмеженні їх числа здійснив Ельвінг – "завдання Ельвінга" (ЗЕ) [1]. У рішенні ЗЕ отримано оптимальний склад вимірювань, який містить m значень дисперсій вимірюваних величин, кожне з яких повторюється n_i разів. У МВС для побудови алгоритму фільтрації ЗЕ застосовується метод найменших квадратів.

Виділення невирішених частин проблеми

Це пов'язано з необхідністю задовольнити низку суперечливих вимог: з одного боку, бажано обмежитися якомога меншою кількістю давачів, щоб зменшити кількість необхідної апаратури МВС і спростити процес оброблення показів; з іншого – для отримання максимальної кількості даних і підвищення точності контролю ШСНУ(ШПК) необхідно збільшити кількість давачів МВС контролю.

Постановка задачі досліджень

Особливо необхідно визначити оптимальну кількість давачів МВС для контролю свердловинної штангової насосної установки (ШСНУ) і шахтного комплексу (ШПК) мобільною вимірювальною системою (МВС).

Як відомо [4], поняття якості істотно залежить від способу його використання. Під надійністю ШСНУ (ШПК) розуміється здатність зберігати у встановлених межах технічні показники під час експлуатації, тобто якість, розгорнута в часі. Таким чином, якість ШСНУ (ШПК) – похідна за часом надійності ШСНУ (ШПК). Надійність ШСНУ (ШПК) безпосередньо пов'язана з властивостями, якими володіла установка на момент виготовлення чи перевірки перед експлуатацією. Не має сенсу говорити про ненадійність ШСНУ (ШПК) відносно певної дії, якщо властивість захищеності від цієї дії не була врахована при розробці ШСНУ (ШПК). Тому під надійністю ШСНУ (ШПК) розуміється ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого проміжку часу. Річ у тому, що, по-перше, багато властивостей механізмів і пристроїв ШСНУ (ШПК), що впливають на їх якість, або дуже важко, або взагалі неможливо перевірити через руйнівний характер випробувань, по-друге, недоброякісність механізмів та пристроїв ШСНУ (ШПК) спричиняє нестабільність їх технічних характеристик. Під час контролю мобільних вимірювальних систем (МВС) їх значення цілком прийнятні для експлуатації, проте, після незначного часу експлуатації, неприпустимо змінюються. Тому проведення контрольної операції за визначенням ступеня при-

датності механізмів та пристроїв ШСНУ (ШПК) вимагає спеціальних попередніх досліджень за методикою випробувань (контролю) і розробки МВС контролю механізмів та пристроїв ШСНУ (ШПК).

Можливі два способи контролю механізмів та пристроїв ШСНУ (ШПК): за кількісною ознакою (реєструються точні чисельні значення технічних параметрів механізмів та пристроїв ШСНУ(ШПК)) і за якісними ознаками (перевірка механізму (пристрою) ШСНУ (ШПК) на придатність). Контроль МВС за якісною ознакою механізмів та пристроїв ШСНУ(ШПК) володіє низкою переваг: по-перше, він не залежить від виду розподілів (перевірки); по-друге, не залежить від виду розподілів вимірюваних параметрів механізмів та пристроїв ШСНУ(ШПК), і тому є більш універсальним, в той час як контроль за кількісною ознакою передбачається нормальний розподіл, контрольованих параметрів механізмів та пристроїв ШСНУ (ШПК). Недоліком контролю МВС за якісною ознакою є використання незначної частини інформації, отриманої від МВС, що призводить до необхідності проведення великої кількості вимірювань. Оскільки потрібно своєчасно виявити виниклі відхилення від нормального перебігу процесу зниження якості механізмів та пристроїв ШСНУ (ШПК), то бажано використовувати всю інформацію, одержану в результаті вимірювань (контролю) МВС. Так, за критерій визначення якості механізмів та пристроїв ШСНУ(ШПК) частіше беруть кількісну ознаку.

Основний матеріал дослідження

Для вирішення завдання оптимізації кількості і способу розміщення давачів МВС контролю якості ШСНУ (ШПК) використовуємо байєсівський підхід. Цей підхід полягає у логічно несуперечливій постановці завдання контролю якості ШСНУ (ШПК).

Нехай ШСНУ (ШПК) перебуває в одному з K станів, а випадкова зовнішня силова дія на ШСНУ (ШПК) знаходиться в одному з L станів. Позначимо через N число можливих пар станів механізмів ШСНУ(ШПК) дії на них ($N \leq KL$), а через P_n - апіорну вірогідність цих пар станів. Нехай Q – число вібродавачів МВС контролю, x – область результатів контролю (вимірювань). Виділимо $\{C_{mn}\}$ як матрицю витрат. Елемент C_{mn} відповідає вірному або невірному визначенню пари станів з номером m , коли реалізується пара станів з номером n . Тоді математичне очікування витрат виражатиметься формулою:

$$R = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N P_{m/n} P_n C_{mn} + C_1(Q\lambda) + C_2(QT), \quad (1)$$

де: λ – параметр, що характеризує спосіб розміщення давачів контролю МВС на ШСНУ (ШПК); $C_1(Q\lambda)$ – витрати, пов'язані з монта-

жем давачів та передаванням їх показів з МВС; $C_2(QT)$ – витрати, пов'язані з прийомом і обробкою показників давачів у МВС, Q – кількість вібродавачів МВС контролю, T – інтервал часу, протягом якого знімаються показники з давачів МВС.

Значення Q і T , за яких досягається мінімальне значення математичного очікування витрат, дають шуканий розв'язок. Перший доданок у формулі (1) із зростанням Q і T зменшується, другий - збільшується із зростанням Q , а третій – необмежено зростає із зростанням Q і T . Тому і R із зростанням Q і T необмежено зростатиме, що означатиме існування оптимальних значень Q і T .

Якщо не брати до уваги втрати $C_1(Q\lambda)$ і $C_2(QT)$, то задачу про оптимізацію кількості і способу розміщення давачів МВС контролю якості ШСНУ (ШПК) не вдається сформулювати. У цьому випадку може бути сформульована задача мінімізації, якщо на середнє значення витрат накладене обмеження зверху.

Авторами пропонується така постановка завдання. Вимагається знайти мінімальну кількість давачів МВС контролю якості ШСНУ (ШПК), за якої ще можливе виконання обмеження:

$$R \geq \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N P_{m/n} P_n C_{mn}. \quad (2)$$

У виразі (2) видно неявно використане припущення про те, що час контролю (спостереження) МВС - фіксований. Від величини T залежить умовна ймовірність $P_{m/n}$. Зокрема, чим більшою є величина T , тим більше матриця $P_{m/n}$ наближатиметься до одиничної. Тому, для R обмеження знизу:

$$R \geq \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N P_n C_{mn}. \quad (3)$$

Задача про мінімум кількості давачів МВС контролю якості ШСНУ (ШПК) може бути сформульована також в термінах теорії інформації. Вважатимемо МВС контролю якості ШСНУ (ШПК) вимірвальним каналом. Задамо обмеження на втрати інформації в каналі.

Задача формулюється в такій послідовності. Вимагається знайти мінімальну кількість давачів, за якої ентропія не перевищуватиме заданого значення:

$$H = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N P_{m/n} \ln P_{m/n} \leq H. \quad (4)$$

Розглянемо формулу (1). Перший доданок може бути зменшений за рахунок підвищення точності контролю якості ШСНУ(ШПК). Цього можна досягти шляхом підвищення якості вибору областей X_n . Наприклад, при виборі цих областей можуть бути використані результати чисельного аналізу механічних властивостей конструкції контрольованого МВС механізму ШСНУ (ШПК).

Другий доданок може бути зменшений за рахунок мініатюризації давачів МВС, зменшення ваги вузлів, кріплення давачів тощо.

Третій доданок може бути зменшений шляхом зміни способу обробки результатів МВС контролю якості ШСНУ(ШПК). Однак спрощення способу обробки знижує третій доданок, але може підвищити перший за рахунок зниження точності контролю.

Можлива постановка задачі про отримання оптимального способу обробки контролю якості конкретної ШСНУ(ШПК).

Задача контролю якості ШСНУ (ШПК) МВС розв'язується послідовно на різних рівнях. Відповідно до цього третій доданок може бути розбитий, наприклад, на дві частини. В цьому випадку перша частина відповідатиме втратам при оперативному контролі якості ШСНУ (ШПК) на підставі результатів обробки показників давачів МВС спрощеними методами, а друга частина – втратам при поглибленому контролі якості ШСНУ (ШПК) МВС. При оперативному контролі якості ШСНУ (ШПК) МВС виявляється доцільним виділити в просторі результатів контролю (спостережень) X таку область X_{n+1} , що при потраплянні до якої результат контролю фіксується, а МВС контролю якості ШСНУ(ШПК) переходить до поглибленого контролю параметрів ШСНУ(ШПК).

Також авторами пропонується нестандартний підхід до вибору оптимального складу мобільної вимірювальної системи для свердловинної штангової насосної установки і шахтного комплексу на основі технологій, що використовуються в космічній галузі.

Завдання вибору оптимального складу мобільної вимірювальної системи (МВС) для свердловинної штангової насосної установки (СШНУ) і шахтного комплексу (ШПК) за класичної постановки призводить до фільтрації даних за методом найменших квадратів (МНК). У МНК збільшення кількості додаткових вимірювань покращує (принаймні, не погіршує) точність отриманої оцінки. Тому, за великої кількості можливих вимірювань МВС оптимальним є використання всіх його елементів. Однак при цьому задача не матиме розв'язку на всіх скінченно-мірних векторах вимірювання d .

$$d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, \quad (5)$$

де n – число вимірювань.

Завдання вибору оптимального складу МВС набуває сенсу, коли на вектори d накладаються обмеження за числом використовуваних вимірювань. Вперше таку (некласичну) постановку завдання вибору оптимального складу некорельованих вимірювань при обмеженні їх числа сформулював Ельвінг – "завдання Ельвінга" (ЗЕ) [1]. Внаслідок розв'язку ЗЕ отримано, що оптимальний склад вимірювань включає m значень \tilde{d}_i ($i = 1, 2, \dots, m$), кожне з яких повторюється n_i разів. У МВС для побудови алгоритму фільтрації ЗЕ використовується метод найменших квадратів.

Розглянемо можливість застосування ЗЕ для вибору оптимального складу МВС ШПК при визначенні руху підйомної посудини за вимірами (довжиною) пройденого нею шляху $s = a + vt$. Вимірювання довжини проводяться в довільні моменти t часу. Модельна залежність між величинами $s(t)$ і вектором $q = \{a, v\}$ визначається вимірюваною функцією. Потрібно вибрати з нескінченної безлічі можливих n виміри, що забезпечують досягнення мінімумів дисперсій оцінок \mathcal{E} і \mathcal{E} . У ЗЕ існує оптимальний вимірювальний базис, що відповідає вимірам в моменти $t_1 = t_n$ і $t_2 = t_k$. Знаходимо із ЗЕ відповідні оптимальні кількості вимірів для моментів t_1 і t_2 :

$$n_1 = \frac{|t_k|}{|t_k| + |t_n|} n, \quad n_2 = \frac{|t_n|}{|t_k| + |t_n|} n$$

при $l=a, n_1 = n_2 = \frac{n}{2}$ при $l=v$. (6)

Як бачимо, навіть за наявності універсального оптимального вимірювального базису d_m відповідний цьому базису оптимальний розподіл кількостей n_i вимірювань не є універсальним, а залежить від вибору оцінюваного параметра l .

Із залежностей (6) видно, що однаковий для визначення обох оцінок \mathcal{E} і \mathcal{E} оптимальний склад МВС отримуємо при $t_n = -t_k$. Можна довести, що мінімальні значення дисперсій оцінок \mathcal{E} і \mathcal{E} можуть бути отримані за оптимального складу МВС:

$$D_{\min}(\mathcal{E}) = \frac{\sigma^2}{n} \cdot \frac{(|t_n| + |t_k|)^2}{T^2}; \quad (7)$$

$$D_{\min}(\hat{v}) = \frac{\sigma^2}{n} \cdot \frac{4}{T^2},$$

де $T = t_k - t_n$ - тривалість мірного інтервалу МВС.

В тому випадку, коли

$$t_n \leq 0, \quad t_k \geq 0, \quad (8)$$

вираз (7) набуває вигляду

$$D_{\min}(\mathcal{E}) = \frac{\sigma^2}{n}, \quad (9)$$

тобто, не залежить від часу t_n і t_k . Пояснюється це тим, що величина a визначає положення підйомної посудини чи ланок ШСНУ у момент $t = 0$. В цьому випадку оптимальним (з огляду на значення оцінки \mathcal{E}) є проведення всіх вимірювань при $t = 0$, що безпосередньо приводить до виразу (9) (рис. 1). Проте за такого складу МВС величина v не визначатиметься.

У тому випадку, коли обидві залежності (8) є строгими нерівностями, то, зосередивши всі вимірювання на обох кінцях інтервалу, отримаємо оптимальне значення $D(\mathcal{E})$ при одночасному визначенні оцінки \mathcal{E} . Таким чином, існують випадки, коли оптимальний склад МВС, що

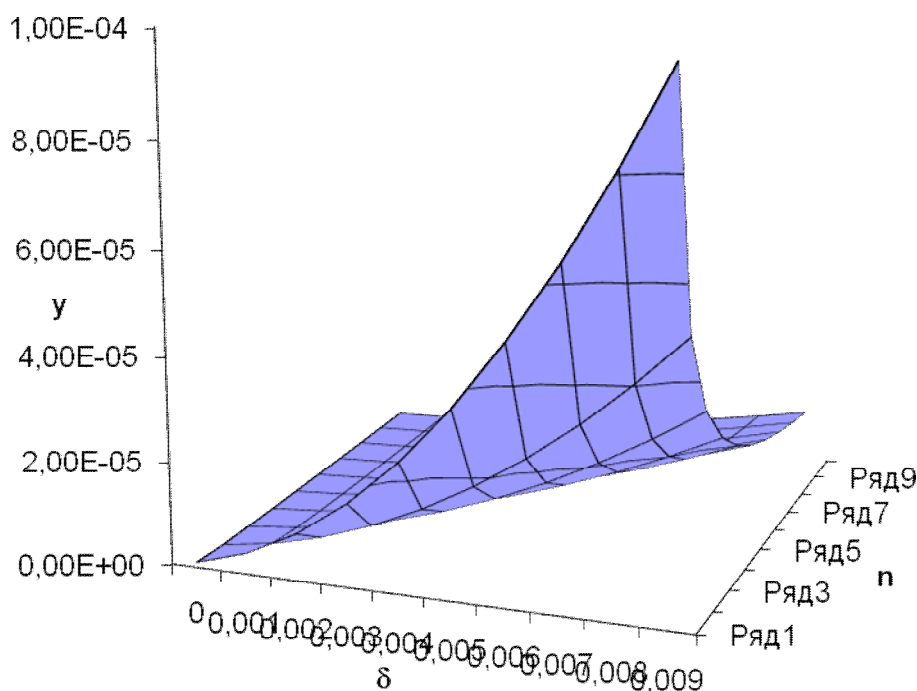


Рисунок 1 – Залежність (9) у вигляді поверхні, яка дає змогу оцінити мінімальну дисперсію положення підйомної посудини у момент $t = 0$ із збільшенням n (по осі Z величина n змінюється від 0 до 10)

відповідає деякому оцінюваному параметру ШПК l , виявляється неповним і не дозволяє визначити всі складові вектора q . Це відбувається, коли деякі з елементів рядка X_m коефіцієнтів алгоритму фільтрації ЗЕ [1] наближаються до нуля.

Порівнюємо дисперсії $D_{\min}(\hat{\xi})$ і $D_{\min}(\hat{v})$, отримані у МВС при оптимальному виборі n вимірювань із значеннями $D_{\text{рив}}(\hat{\xi})$ і $D_{\text{рив}}(\hat{v})$, які відповідають рівномірному розподілу часу вимірів МВС. З виразів (7) і (8) знаходимо, що при достатньо великому n :

$$\begin{aligned} D_{\text{рив}}(\hat{\xi}) &\approx 4D_{\min}(\hat{\xi}), \\ D_{\text{рив}}(\hat{v}) &\approx 3D_{\min}(\hat{v}). \end{aligned} \quad (10)$$

З виразу (10) видно, що оптимальний склад МВС забезпечує точність на протигагу рівномірному розподілу.

Вважаємо мірний інтервал МВС симетричним відносно початку відліку часу в МВС:

$$-T \leq t \leq T,$$

де $T = 1/2(t_n - t_k)$.

Як оцінюваний параметр ШПК (ШСНУ) l прийемо швидкість підйомної посудини (устьового штока) v . Тоді:

$$q = \{a, v\}, \quad \psi_1 = t, \quad \psi_2 = l. \quad (11)$$

Використовуємо вище згаданий розв'язок ЗЕ для ШПК, за яким оптимальний час t_1, t_2 і відповідні числа n_1 і n_2 вимірів МВС визначаються рівністю:

$$t_1 = -T, \quad t_2 = T, \quad n_1 = n_2 = n/2. \quad (12)$$

Із виразів (11), (12) і матриці ЗЕ для фільтрації згідно методу найменших квадратів [2] знаходимо, що:

$$v_1 = 1, \quad v_2 = 0, \quad x(t) = t^2. \quad (13)$$

Таким чином, характеристика щільності вимірювань $x(t) = t^2$ є параболою. З виразу (13) випливає, що за оптимального розподілу вимірювань у МВС їх загальну кількість n слід поділити на дві рівні групи, розміщені з максимальною щільністю по краях мірного інтервалу T .

Згідно з дослідженням, проведеним в роботі [3], точність від використання отриманого оптимального розподілу вимірювань МВС порівняно з рівномірним розподілом в МВС збільшується приблизно в три рази.

Нами було розглянуто завдання вибору оптимального складу МВС за умови мінімізації деякої характеристики точності оцінки заданого скалярного параметра ШПК (СШНУ) l . У випадку, коли необхідна точність оцінки декількох скалярних параметрів СШНУ (ШПК), кожному з них відповідатиме свій оптимальний склад МВС. У зв'язку з цим викликає інтерес вибір універсального складу МВС, який оптимізує одночасно точність оцінки декількох параметрів, що утворюють вектор $l = \{l_1, l_2, \dots, l_k\}$.

У теорії оптимального планування експериментів для цієї мети використовуються різні універсальні критерії оптимальності [4,5], на основі яких здійснюється вибір складу МВС. Недоліком цих критеріїв є те, що вони не завжди характеризують точність оцінки досліджуваних параметрів.

Вдалішим, на наш погляд, є універсальний критерій оптимальності, використаний в роботі

В. Г. Єршова [6]. При цьому визначається мінімальна кількість вимірювань

$$D(\hat{\xi}_i) \leq \sigma_i^2, i = 1, 2, \dots, k, \quad (14)$$

де σ_i^2 – задане позитивне число.

У роботі [6] завдання вибору оптимального складу вимірювань за цим критерієм розглядається при постановці ЗЕ. При цьому доведено, що в кількості оптимальних складів вимірювань є принаймні один, відповідає проведенню n_i - кратному різних вимірювань γ . При цьому

$$\gamma = [m(m+1) - (m-r)(m-r+1)]/2$$

$$\sum_{i=1}^{\gamma} n_i = n, \quad (15)$$

де $r = D_{\text{pis}}(\hat{v})/D_{\text{min}}(\hat{v})$.

Легко перекоонатися, що при $r=1$, $\gamma = m$, це відповідає результату, отриманому при розв'язку ЗЕ.

Один з варіантів оптимального складу МВС описано нами в роботі [7].

Висновки

1. Контроль якості механізмів і пристроїв ШСНУ(ШПК) за кількісною ознакою є основним методом контролю ШСНУ(ШПК).

2. Мініально-достатню кількість давачів МВС контролю якості ШСНУ(ШПК) можна знайти з виразів (6)-(9).

3. Задача контролю якості ШСНУ(ШПК) МВС розв'язується послідовно на різних рівнях ШСНУ(ШПК), тому доцільним є виділення в просторі результатів контролю (спостережень) X такої області X_{n+1} , при потраплянні до якої результат контролю не фіксується, а МВС контролю якості ШСНУ(ШПК) переходить до поглибленого контролю параметрів ШСНУ(ШПК).

4. Дане рішення дає змогу отримати точніші результати вимірювання МВС для свердловинної штангової насосної установки і шахтного комплексу, що покращує метрологічну точність і підвищує достовірність отриманої інформації.

5. Оптимізацію складу мобільної вимірювальної системи необхідно проводити за методом "завдання Ельвінга".

6. У МВС для побудови алгоритму фільтрації ЗЕ використовується метод найменших квадратів.

7. Коли обидві залежності (8) є строгими нерівностями, зосередивши всі вимірювання на обох кінцях інтервалу, отримаємо оптимальні значення $D(\hat{\xi})$ при одночасному визначенні оцінки (\hat{v}) .

8. При оптимальному розподілі вимірювань в МВС, їх загальне число n має бути розбите на дві рівні групи, розміщені з максимальною щільністю по краях мірного інтервалу T .

9. Коли в МВС необхідно підвищити точність оцінки декількох скалярних параметрів ШСНУ (ШПК), то кожному з них повинен відповідати свій оптимальний склад МВС.

10. При постановці ЗЕ бажано врахувати залежність граничних значень модуля коефіцієнта кореляції між двома вимірюваннями від проміжку часу, що розділяє ці вимірювання згідно залежності (12) і (13).

11. Вибір універсального складу МВС необхідно проводити за універсальним критерієм В.Г.Єршова за залежностями (14) і (15).

12. При плануванні вимірювального експерименту, що має на меті визначення параметрів стану реальної СШНУ (ШПК), необхідно насамперед визначити відповідну систему допусків про характер помилок даних і вибрати на основі цих допусків оптимальну стратегію проведення і обробки вимірювань МВС. Після закінчення обробки отриманих експериментальних даних слід провести апостеріорну перевірку правильності прийнятих допусків.

Завдання наступних досліджень

Для обробки отриманих даних необхідно провести експерименти на натурних чи модельних об'єктах і уточнити оптимальне число давачів та склад МВС.

Література

- 1 Elfing G., Optimum allocation in linear regression theory / G.Elfing // Ann. Math. Statist. – 1952. –23, 225. – Р. 154-187.
- 2 Козлов Н.Н. Об оптимизации процесса траекторных измерений / Н.Н.Козлов // Космические исследования. – 1978. – Т. 9, вып. 1. – С. 134-140.
- 3 Ершов В.Г. Об оптимизации программы траекторных измерений/ В.Г.Ершов // Космические исследования. – 1981. – Т. 7, вып. 1. – С.86-91.
- 4 Kiefer J. Optimum experimental designs. Actes du congres international des mathematicians. / J.Kiefer . – 1980. – Nice, France. – Т.3. – Р. 346.
- 5 Алиев Т.А. Экспериментальный анализ / Т.А Алиев. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
- 6 Ершов В.Г. Оптимальная программа траекторных измерений / В.Г.Ершов // Космические исследования. – 1971. – Т. 9, вып. 1. – С.46-55.
- 7 Копей Б.В. Вимірювальні засоби контролю та експрес-діагностики обладнання нафтогазового машинобудування / Б.В.Копей, В.В.Лопатін, І.Б.Копей // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – №1(6). – С.129-133.

Стаття надійшла до редакційної колегії
03.03.11

Рекомендована до друку професором
В.С. Костишиним