

**К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ПОГРЕШНОСТИ МОБИЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ШАХТНЫХ
ПОДЪЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

В роботі викладено практичний аналіз похибки в мобільних інформаційно-вимірювальних системах шахтних підйомних комплексів на основі досвіду ІГТМ НАН України.

**TO A PROBLEM OF ANALYSIS OF INACCURACY OF A MOBILE
INFORMATIONAL - MEASURING SYSTEM OF MINE
ELEVATING COMPLEXES**

In operation the practical analysis of inaccuracy in a mobile informational - measuring system of mine elevating complexes is explained on the basis of expertise IGTM NAS of Ukraine.

Известно, что методика исследования процесса динамического взаимодействия подъемного сосуда с жесткой армировкой сложна [1,2]. Натурные измерения – единственный способ получения количественной информации о величинах ускорений или усилий, характеризующих происходящие в шахтном стволе динамические взаимодействия подъемного сосуда с жесткой армировкой. Учитывая, что уменьшение погрешности мобильных информационно-измерительных системных комплексов (МИИСК) шахтных подъемных установок на каждые 0,5% достигается понижением быстродействия и чувствительности, уменьшением диапазона и надежности (в силу своей сложности чаще выходит из строя), большей стоимостью. Поэтому, большим тормозом является замена анализа погрешностей ссылкой на «запас» на случай «наихудшего стечения обстоятельств». В данной работе дается попытка разобраться в этом вопросе, используя двенадцатилетний опыт ИГТМ НАН Украины (ИГТМ).

В основе используемых ИГТМ экспериментальных методов лежит закон больших чисел, согласно которому при большом количестве опытов вероятности событий могут быть заменены соответствующими частотами, а математические ожидания – их средними арифметическими значениями. Однако в шахтной практике определение характеристик процессов проводится по результатам небольшого количества опытов, но применяются те же формулы, которые применяются при большом количестве опытов [3, 4]. Возникает дополнительная задача оценки точности получаемых из натурального эксперимента характеристик и сравнение ее с потенциально возможным (предельным) МИИСК. При этом в качестве показателей, характеризующих точность, используются: смещение, дисперсии и корреляционные функции оценок.

Определение погрешности каналов МИИСК, как правило, сводится к определению суммарного действия погрешностей всех его преобразователей. В метрологии известны два класса преобразователей: прямого и уравнивающего дейст-

вия. В шахтной практике в основном используются прямые преобразователи из-за своей простоты, имеющие большую надежность, меньшую стоимость и высокое быстродействие датчика, хотя обладающие более низким к.п.д. по сравнению с уравнивающими. Тем не менее, для решаемых нами задач указанные преобразователи обеспечивают необходимую точность до 1%. Известно, что измерительные цепи прямого преобразования делятся на две группы: генераторные и параметрические. За редким исключением, в МИИСК в основном применяются параметрические преобразователи, причем все три существующих вида их цепей: последовательного включения, в виде делителей и в виде неравновесных мостов. Простейшим параметрическим преобразователем является последовательный датчик с относительной чувствительностью $\Delta R/R$ где ΔR - приращение сопротивления датчика под воздействием полезного сигнала, а R - сопротивление датчика, при этом напряжение питания датчика E ограничено допустимой мощностью рассеивания, из-за превышения которой следует перегрев и выход из строя датчика. Поэтому, с соблюдением условий согласования, напряжение на датчике примерно равно $3/4E$. Основным недостатком системы является большая погрешность линейности его характеристики. Изменения представляют собой участок гиперболы. Недостаток может быть исправлен различными методами, но в основном за счет бортового компьютера МИИСК.

Параметрический преобразователь в виде делителя напряжения имеет большие возможности, чем цепь последовательного включения, т. к. параметрический преобразователь может быть включен как в одно, так и другое электрическое плечо, т. е. позволяет использовать как прямую, так и обратную гиперболу характеристики датчика. Кроме того, возможно дифференциальное подключение, когда используются обе половины преобразователя, причем второе плечо в этом случае получает приращение сопротивления обратного знака. Таким образом выполнено, например, подключение датчиков типа МП-95 в МИИСК «МАК-1», чем обеспечивается полная линейность функции преобразования датчика МП-95. Основным недостатком вышеперечисленных преобразователей является индивидуальная аддитивная помеха (смещение нуля), легко устранимая бортовым компьютером МИИСК.

Основная идея построения параметрических преобразователей в виде неравновесных мостов состоит в исходной компенсации аддитивной помехи смещения нуля. Из теории электрических мостовых схем известно, что чувствительность моста растет как с числом рабочих плеч, так и при увеличении напряжения источника питания моста. Однако, повышение напряжения питания ограничено предельно допустимым значением мощности рассеяния используемых преобразователей. Определяющим параметром чувствительности неравновесного моста является мощность. Удвоение относительной чувствительности можно обеспечить путем соответствующего учетверения его мощности. Существуют оптимальные (для достижения максимальной чувствительности) соотношения в неравновесных параллельно-симметрических мостах постоянного тока, которые технически ограничены рядом коэффициентов (1/16, 1/12, 1/8 и 1/4), различающихся не более, чем в четыре раза. По вышеперечисленным при-

чинам использование мостовых преобразователей в МИСК более проблематично и не всегда оправдано.

Функционально-структурная схема МИИСК разработана таким образом, что структурные подсхемы этих цепей практически подобны. Поэтому также подобными являются и описывающие их математические модели. На наш взгляд это очень удобно при анализе, когда получаемые выражения остаются справедливыми для электрических цепей совершенно разной физической природы и принципа действия рассматриваемого датчика или прибора. Основным принципом эффективного МИИСК является принцип согласования импедансов (комплексных сопротивлений), т.е. выходной импеданс датчика должен быть согласован с входным импедансом МИИСК. Однако в шахтных условиях нередко от условия согласования приходится отказываться ради упрощения практических методов эксплуатации МИИСК. Как правило, находится компромисс между понижением абсолютной чувствительности МИИСК за счет отступления условий согласования и, естественно, возрастания остальных погрешностей путем нахождения приемлемого минимума результирующей погрешности. Так как МИИСК представляет собой одновременно канал приема, преобразования и передачи информации, необходимо корректно использовать известный в теории информации негэнтропийный принцип Бриллюэна (обозначающий понятие «меры упорядочности» – определение численного значения точности, как отношение значения измеряемой величины к достигнутому интервалу неопределенности) для отыскания оптимальных соотношений эксплуатационных, технических и экономических параметров каждого из входящих в его состав преобразователей.

Рассмотрим работу параметрического преобразователя. Его характерной особенностью является то, что его э. д. с. постоянно и принадлежит внешнему источнику напряжения, а функция измеряемой величины $\pm X$ является приращением $\pm \Delta R$ внутреннего сопротивления преобразователя с начальным значением сопротивления R_0 (при $X=0$).

Теоретически удобно рассматривать отдельно два режима:

1. Режим покоя (возбуждения), когда $\pm R = 0$
2. Режим полезного сигнала, когда под действием входной величины X происходит отклонение от режима покоя вследствие изменения R на $\pm \Delta R$.

Такие зависимости можно получить, например, с помощью теоремы Мильштейна об эквивалентном генераторе. Удобство применения теоремы Мильштейна в том, что ее применение позволяет отдельно рассчитывать режим покоя и режим полезного сигнала.

Следует принимать во внимание методические погрешности, погрешности от нестабильности объекта измерения, отсчета показаний, обработки результатов и т.д. Например, использование на выходе преобразователя (датчика) не той физической величины которая требуется в шахтном эксперименте, а которая отражает требуемую лишь приблизительно, но проще реализуемую (методическая погрешность), в значительной мере устраняется применением более точного (чувствительного) преобразователя (датчика). Аналогичным способом уст-

раняется и инструментальная погрешность МИИСК. Следует также учитывать, что чувствительность каждого преобразователя постоянна (функция его преобразования строго линейна) только на определенном участке рабочей характеристики, ограниченном пределом преобразования и порогом чувствительности датчика (прибора). На практике возникает и обратная задача, т. е. подавление чувствительности преобразователя от мешающих шахтных факторов. Задача технически решается относительно легко, пока погрешности составляют 10-15% и очень проблематично, когда уже требуется 0,5-2,0%. В общем, трудности решения такой задачи заключаются в том, что все составляющие погрешности должны рассматриваться, как случайные величины, принимающие в каждой частной реализации самые различные значения. По теории вероятности они могут быть описаны целым рядом законов распределения, а их совместное действие – соответствующими многомерными законами распределения. Причем, особенность законов распределения таких случайных величин, как погрешность приборов и датчиков МИИСК, состоит в большом разнообразии. Результирующая погрешность складывается из ряда составляющих, а при сложении погрешностей результирующий закон их распределения существенно деформируется. Поэтому закон распределения суммы даже двух погрешностей может резко отличаться от законов распределения составляющих. Закон распределения $P(x) = P(x_1+x_2)$ суммы двух независимых случайных величин, имеющих распределение $P_1(x)$ и $P_2(x)$, называется композицией [5] и выражается:

$$P(x) = \int_{+\infty}^{-\infty} P_1(z)P(x-z)dz$$

В такой постановке эта задача нахождения закона распределения погрешностей МИИСК неразрешима если число составляющих погрешностей более трех. Поэтому задачу мы видим в том, чтобы подобрать для характеристики составляющих такие числовые оценки, оперируя которыми можно было бы найти соответствующие числовые оценки результирующей погрешности без определения многомерных или результирующих одномерных законов распределения измеряемых параметров как, например, выполнено в работе [6]. Многолетняя шахтная практика выявила, что при этом необходимо учитывать следующие факторы:

1. Числовые характеристики законов распределения часто изменяются по диапазону измеряемого параметра.
2. Составляющие погрешностей часто коррелированы между собой.
3. Законы распределения резко деформируются при суммировании погрешностей.

Первый фактор разрешим путем отдельного рассмотрения аддитивных и мультипликативных погрешностей [7].

Второй фактор учитывается путем использования среднеквадратического значения и коэффициентов взаимной корреляции линейных ускорений или уси-

лий следующим образом:

– если коэффициент корреляции меньше 0,7, то погрешности суммируются обычным способом без учета их знаков (геометрически);

– если коэффициент корреляции больше 0,7, то погрешности суммируются с учетом их знаков (алгебраически).

Это правило распространяется как на случайные, так и на систематические погрешности МИИСК, возникающие от случайно изменяющихся факторов в шахтном стволе или специальной лаборатории.

Третий фактор, к сожалению, не может быть учтен использованием оценки погрешности, так как она не отражает деформацию формы законов распределения. Вопрос выходит за рамки классической теории вероятности, требуя привлечения приемов и методов теории информации. В настоящее время в МИИСК третий фактор не учитывается, а является перспективным направлением дальнейших исследований.

Выводы.

1. Применение предлагаемого подхода обеспечит переход процесса оценки погрешности МИИСК на новый уровень путем анализа погрешностей без ссылки на «запас» на случай «наихудшего стечения обстоятельств».

2. Накопленный опыт по использованию МИИСК свидетельствует о том, что предлагаемый подход является необходимым и достаточным условием состояния надежного геомониторинга горных выработок и разрушения горных пород с их применением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.Г. Гаркуша, В.И. Дворников, В.К. Куриленко Моделирование параметрической системы сосудармировка вертикального ствола шахты // Горная электромеханика иавтоматика. – Харьков, 1973. – Вып. 23. – С. 47-53.

2. С.Р. Ильин, В.В. Лопатин Критерии оценки динамических режимов взаимодействия подъемных сосудов с проводниками жесткой армировки шахтных стволов// Системные технологии: Региональный межвуз. сб. науч. тр.: - Днепропетровск, 2000. –Вып.1(9) С.43-48.

3. В.В. Лопатин Математическая модель сигнала при контроле плавности движения подъемного сосуда в проводниках жесткой армировки // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов/ НАН Украины ИГТМ: –Днепропетровск, 1999. –Вып.11. – С. 348-351.

4. В.В. Лопатин Вопросы адекватного сопряжения в мобильных информационно-измерительных системах шахтных подъемных комплексов и горных выработок // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов/ НАН Украины ИГТМ: – Днепропетровск, 2005. – Вып. 55. – С. 45-51.

5. У. Мезон Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвукике/ М. Изд-во иностр. лит, 1952. – 448 с.

6. В.В. Лопатин Квантование ударных импульсов взаимодействия подъемного сосуда с армировкой по уровню и методика оценки квантования // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов/ НАН Украины ИГТМ: - Днепропетровск, 2004. –Вып. 50. – С. 45-49.

7. В.В. Лопатин Анализ динамических погрешностей мобильных информационно-измерительных систем для шахтных подъемных комплексов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов/ НАН Украины ИГТМ: – Днепропетровск, 2005. –Вып.58. – С 45-52.