

УДК 519.688

Сергиенко В. Н., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Красовский И. С., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДАПТИВНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Сергієнко В. М., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Красовський І. С., магістр
(ІГТМ НАН України)

**ПРО АВТОМАТИЗОВАНУ АДАПТИВНУ СТАТИСТИЧНУ ОБРОБКУ
РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ**

Sergienko V. N., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Krasovskiy I. S., M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**ABOUT THE AUTOMATED ADAPTIVE STATISTICAL PROCESSING
OF THE MEASURING RESULTS**

Аннотация. Объект исследований – автоматизированная первичная статистическая обработка массива числовых данных непосредственно при выполнении измерений. Цель работы – разработка алгоритма для микропроцессора с целью получения значения информативного параметра с заданной степенью вариации при оптимизации числа измерений.

Показано влияние основных факторов, определяющих разброс показаний средств контроля элементов геотехнических систем при выполнении измерений в массиве: собственная погрешность средства измерения, субъективный фактор, пространственно-временная изменчивость объекта измерений. Отмечено противоречие между необходимостью повышения достоверности измерений и снижением трудозатрат при их выполнении. Один из путей его разрешения – выполнение первичной статистической обработки непосредственно на месте выполнения измерений. Разработан алгоритм, предусматривающий использование микропроцессора. Его особенностями является гибкое программирование значений параметров обработки с помощью внешнего компьютера индивидуально для каждой выполняемой работы. При заданных требованиях к достоверности осуществляется автоматическая отбраковка аномальных значений и определение необходимого числа измерений в цикле. По окончании цикла результаты заносятся в память, а их конечную обработку снова осуществляют на внешнем компьютере.

Ключевые слова: вариация значений параметра, статистическая обработка, микропроцессор, средство измерений, достоверность результатов.

Выполнение измерений в шахтных условиях имеет свою специфику. Одной из особенностей является значительная вариация значений регистрируемого информативного параметра. К основным причинам относятся: собственная погрешность средства измерения, субъективный фактор, пространственно-временная изменчивость объекта измерений.

Практически во всех измерительных средствах первичный преобразователь

преобразует интересующую нас физическую величину в электрический сигнал, для определения параметров которого в настоящее время имеется достаточно широкая гамма функционально законченных устройств с высокими метрологическими характеристиками. Собственная относительная погрешность средств колеблется в пределах от десятых долей процента до нескольких процентов и вносит в вариацию показаний наименьший вклад.

Субъективный фактор при выполнении измерений определяется изменением степени разброса показаний при смене оператора. Он может быть обусловлен недостаточным опытом оператора, преднамеренным отступлением от методики выполнения измерений, иногда индивидуальными психофизическими особенностями, которые трудно предусмотреть при составлении инструкции. Вклад данного фактора в разброс массива полученных данных может быть существенно уменьшен повышением квалификации оператора.

Геосистемы в целом и отдельные их структурные элементы характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью. Породный массив является открытой системой, в котором постоянно происходят процессы преобразования энергии, имеющие по своей физической природе статистический характер. Поэтому измерения значений, являющихся характеристиками физических полей, выполненные в одной точке с соблюдением идентичной методики, но в разное время будут отличаться. Естественная пространственная неоднородность породного массива обуславливает соответствующий разброс показаний при измерении в различных точках на выбранном участке. В рамках данной публикации предполагается, что разброс значений информативного параметра, вызванный естественными причинами, подчиняется нормальному закону распределения и в нем отсутствует составляющая, определяющая закономерное изменение свойств объекта в пространстве и во времени.

Анализ значительного объема результатов геофизических измерений, выполненных в подземных условиях, как самими авторами, так и их коллегами, позволил оценить вклад указанных факторов в величину разброса показания для различных видов измерений. В качестве оцениваемой величины для вариации было взято отношение размаха распределения к величине среднего арифметического значения. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Степень влияния различных факторов на разброс результатов измерений

| Вид измерений | Определяемый параметр | Вклад факторов в разброс, % | | |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| | | приборная погрешность | субъективный фактор | изменчивость объекта |
| электроразведка | сопротивление ρ_k | 2,5 | 5 -7 | до 50 |
| регистрация ЭМИ | частота импульсов f | 1,0 | 3-5 | до 30 |
| ультразвуковая дефектоскопия | скорость C_p | 2,0 | 1-2 | до 20 |
| | скорость C_s | 2,0 | 3-5 | до 20 |
| виброакустическая диагностика | амплитуда A | 1,5 | 5-15 | до 30 |
| | к-во колебаний n | 1,0 | 5-10 | до 30 |

На практике выполнение измерений сводится к двум основным случаям: многократное выполнение измерений в одной точке для получения возможно более точной характеристики одного конкретного объекта и совокупность однотипных измерений на некотором участке (линейном, площадном или объемном) для получения его усредненной характеристики. В первом случае преобладающую роль в разбросе играет субъективный фактор, а во втором – естественная вариация свойств породного массива и конструкций техногенного происхождения.

Во многих случаях зависимость между значением информативного параметра и определяемой характеристикой элемента геотехнической системы носит резко нелинейный характер. В качестве примера на рис. 1 представлена схематическая зависимость между временем релаксации свободных колебаний в отслоившейся нижней пачке кровли выработки и ее толщиной (мощностью), полученная экспериментальным путем при выполнении виброакустических измерений в условиях гипсовых шахт.

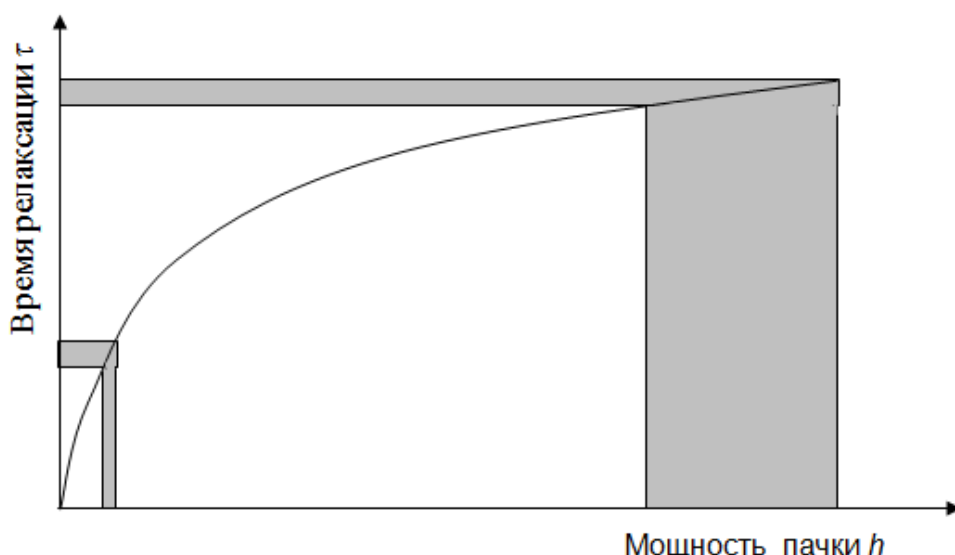


Рисунок 1 – Нелинейная зависимость времени релаксации собственных колебаний отслоившейся породной пачки в кровле камеры от ее мощности

В приведенном выше примере показано, как одна и та же степень неопределенности значения информативного параметра $\Delta\tau$ приводит к приемлемой неопределенности определения мощности отслаивающейся пачки при ее незначительной мощности и к значительной, недопустимой для инженерных расчетов неопределенности при большой мощности. В этом случае для уточнения параметров отслоения используют дорогостоящее контрольное бурение. Реальная граница оценки мощности отслоения в условиях гипсовой шахты методом неразрушающего виброакустического контроля составляет порядка 1 м. Повышение достоверности определения информативного параметра позволило бы увеличить диапазон контроля и в ряде случаев исключить контрольное бурение.

Повышение достоверности измерений напрямую связано с увеличением ко-

личества измерений в одной точке [1-3]. Отсюда следует наиболее простой путь решения проблемы, заключающийся в выполнении достаточно большого числа измерений их регистрации в первичной форме и камеральной обработке массива данных в соответствии с требованиями национальных нормативных документов [4, 5]. Однако, шахтным измерениям присущи две особенности. Первая – это неблагоприятные условия измерения и регистрации, которые не позволяют одновременно охватить большую площадь контроля по густой сетке и выполнить в каждой точке избыточное количество измерений. Вторая особенность связана с субъективным фактором. Количество аномальных показаний, вызванных ошибочными действиями оператора в неблагоприятных условиях, также возрастает и вносит ощутимый сдвиг в определяемое среднее значение.

Интуитивно понятно, что для получения информации с одним и тем же уровнем достоверности количество измерений в различных точках может быть различным. Минимальное количество измерений по умолчанию обычно принимают равным трем. Если при этом показания средства измерения с цифровой формой представления будут одинаковыми, то для данной точки их можно считать законченными. В другой же точке размах распределения массива данных будет настолько значителен, что при камеральном анализе массива и десяти измерений окажется мало для определения среднего значения параметра с требуемой достоверностью. В процессе выполнения измерений оператор руководствуется инструкцией, которая определяет необходимое количество измерений в одной точке. Однако инструкция подготовлена не для условий конкретной выработки, а носит общий характер. В одних случаях количество измерений в точке оказывается избыточным, приводя к лишним трезатратам, а в других недостаточным. Опытный оператор может по своему усмотрению отсеять аномальные показания и добавить количество измерений, однако его действия в этом случае носят субъективный характер.

Рассмотренное выше противоречие между необходимостью повышения достоверности значения информативного параметра и выбором экономически приемлемого числа измерений можно решить путем выполнения первичной статистической обработки данных непосредственно в процессе измерения. Ниже представлен один из возможных вариантов общего алгоритма такой обработки, технически реализуемый с использованием перепрограммируемого микропроцессора.

Предполагается, что отсутствует априорная информация об ожидаемой величине информативного параметра и характеристиках его разброса.

На первом этапе выполняют предварительно заданное количество измерений N_1 , сохраняя информацию о них в памяти устройства. По окончании промежуточного цикла выполняется автоматическое определение статистических характеристик полученной малой выборки [6 - 8]:

- среднего арифметического значения параметра P_{1cp} .

$$P_{1cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} P_i}{N_1};$$

- среднеквадратичного отклонения малой выборки

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} (P_{1i} - P_{1cp})^2}{N_1 - 1}};$$

- средней абсолютной ошибки малой выборки

$$\Delta P_1 = \frac{\sigma_1}{\sqrt{N_1}};$$

- предельной абсолютной ошибки малой выборки

$$\Delta P_{1np} = t \Delta P_1.$$

Коэффициент Стьюдента t в последнем выражении выбирают по специальным таблицам, задаваясь известным количеством измерений N_1 и требуемой доверительной вероятностью α . Фрагмент общей большой таблицы представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Фрагмент таблицы для определения коэффициента Стьюдента

| Число степеней свободы $f=N_1-1$ | Доверительная вероятность α | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|--------|--------|---------|
| | 0,90 | 0,95 | 0,99 | 0,999 |
| 1 | 6,314 | 12,706 | 63,657 | 636,619 |
| 2 | 2,920 | 4,303 | 9,925 | 31,598 |
| 3 | 2,353 | 3,182 | 5,841 | 12,941 |
| 4 | 2,132 | 2,776 | 4,604 | 8,610 |
| 5 | 2,015 | 2,571 | 4,032 | 6,859 |
| 6 | 1,943 | 2,447 | 3,707 | 5,959 |
| 7 | 1,895 | 2,365 | 3,499 | 5,405 |
| 8 | 1,860 | 2,306 | 3,355 | 5,041 |
| 9 | 1,833 | 2,262 | 3,250 | 4,781 |
| 10 | 1,812 | 2,228 | 3,169 | 4,587 |

Обычно задаются значением $\alpha = 0,95$ и количеством измерений N_1 в пределах от 5 до 10.

Определяют для полученной выборки предельную относительную ошибку:

$$\delta P_{1np} = \frac{\Delta P_{1np}}{P_{1cp}}.$$

Вычисленную величину предельной относительной ошибки сравнивают с заранее заданной допустимой $\delta P_{\text{доп}}$. Если она больше допустимой, то буфер памяти обнуляется, и выполнение текущего цикла прекращается. Процесс начинается снова по описанному выше алгоритму. Если же ошибка меньше, то полученная выборка и результаты ее статистической обработки сохраняются в памяти в качестве первого приближения для последующего улучшения.

Каждое новое значение параметра P_i проходит проверку на критерий 2σ . Если оно попадает в интервал от $P_{\text{лср}} - 2\sigma$ до $P_{\text{лср}} + 2\sigma$, то пополняет первичную выборку, а в противном случае отбраковывается. При каждом добавлении нового i -ого элемента в выборку определяют величину предельной относительной ошибки $\delta P_{i \text{ пр}}$ и сравнивают ее с заданной конечной допустимой $\delta P_{\text{к доп}}$. Процесс будет сходящимся по причине постепенного увеличения объема выборки. Окончание цикла определяется условием

$$\delta P_{i \text{ пр}} \leq \delta P_{\text{к доп}}.$$

При выполнении указанного условия усредненное значение информативного параметра выводится на дисплей и заносится в долговременную память, а остальные данные удаляются из оперативной памяти. Устройство готово к новому циклу.

Техническая реализация устройства, обеспечивающего выполнение данного алгоритма, может быть осуществлена различными путями. Первый вариант, традиционный для геофизической аппаратуры конца прошлого столетия, предусматривает выполнение всех функций измерения и предварительной обработки сигнала в одном устройстве. Такой вариант является допустимым для многопрофильной наземной аппаратуры, для которой зачастую предусмотрены возможности транспортирования транспортными средствами с разворачиванием на месте выполнения измерений. К аппаратуре, предназначенной для работы в шахтных условиях, накладываются жесткие ограничения по весу, габаритам и энергопотреблению. Зачастую предъявляются также требования к искробезопасности и пылевлагозащищенности. Есть и другая сторона проблемы. Устройство с широким диапазоном возможностей должно иметь доступные для оператора органы управления для выбора режима работы. Наличие дополнительных органов на панели управления снижает надежность аппаратуры и уменьшает производительность при работе оператора. Немаловажную роль играет и стоимость аппаратуры. Современная геофизическая аппаратура в Украине практически не выпускается серийно, а российские, европейские и американские образцы аппаратуры стоят десятки и сотни тысяч гривен. Проблемой удешевления средств контроля озабочены и производители в гораздо более богатых странах, чем Украина. Общемировой тенденцией является разработка сравнительно дешевых измерительных блоков, имеющих связь с компьютером [9 - 11]. Флагманом в этом направлении является американская фирма National Instruments (г. Остин, Техас, США). Ее специалисты отказались от наиболее дешевого варианта: передачи на компьютер аналогового электрического сигнала.

ла, поскольку при этом существенно снижается помехоустойчивость. В выносном измерительном блоке для первичной обработки аналогового сигнала используют цифровые сигнальные процессоры (DSP – digital signal processor). Последующая, более глубокая обработка входной информации, представленной уже в цифровой форме, осуществляется с использованием специализированных вычислительных микропроцессоров. И только после этого сигнал по проводной или беспроводной линии поступает на компьютер для окончательной обработки и хранения.

Описанный выше принцип сбора и переработки данных может быть с успехом использован в системах автоматизированного контроля над состоянием горных выработок при стационарном расположении точек наблюдения. Однако для мобильного устройства он неприемлем. Авторы видят перспективность другого подхода. Он использует идею развитой первичной обработки сигнала, включающую и описанную ранее статистическую обработку, в выносном блоке, который является полностью автономным. Однако указанный блок перед началом выполнения работы подсоединяют к компьютеру и программируют его параметры применительно к решению конкретной задачи. После выполнения работы, результаты, сохраненные в памяти выносного блока, загружают в память основного компьютера и работают с ними с использованием мощного специализированного программного обеспечения.

Для выполнения предварительной статистической обработки программируются следующие параметры:

- количество измерений N_I для первоначальной базовой выборки;
- доверительная вероятность α ;
- допустимая относительная ошибка для предварительной выборки $\delta P_{I \text{ доп.}}$;
- конечная допустимая относительная ошибка результата $\delta P_{к \text{ доп.}}$.

Рассмотрим основные принципы выбора указанных программируемых параметров.

Обследование горных выработок может быть обзорное и детальное. При обзорном обследовании необходимо обнаружить наиболее крупные аномалии в пределах обследуемой геотехногенной системы. При этом выбирают редкую сеть точек наблюдения и высоких требований к достоверности результата в одной, отдельно взятой точке, не предъявляют. По результатам обзорного обследования выделяют участки, которые необходимо обследовать более тщательно. При этом, естественно, повышаются требования и к достоверности результатов.

Перед началом работы в новых условиях необходимо выполнить предварительную «пристрелочную» проверку выбранных параметров на полигоне – участке с заведомо известными условиями. Произвольный выбор параметров может привести к двум крайностям:

- очень жесткие условия отбора данных, при которых конечный результат будет иметь высокую достоверность, но достигаться путем выполнения слишком большого числа измерений;
- быстрое завершение цикла с незначительным процентом отбраковки результатов измерений, но невысокой достоверностью.

Наиболее просто решается вопрос с доверительной вероятностью α . Как правило, принимают $\alpha = 0,95$ и когда исчерпаны все другие возможности снижают ее до $\alpha = 0,90$.

Малой выборкой в статистике принято считать значения N_I от 4 до 30. При малых значениях N_I процесс формирования первичной выборки будет идти быстрее, но при этом велика вероятность прерывания цикла по причине большого разброса внутри выборки. Следующий цикл может закончиться тем же и так далее. В результате общее время выполнения измерений может оказаться значительно большим, чем при выборе изначально увеличенного значения N_I . Оптимальное значение этого параметра рекомендуется подобрать на полигоне.

Величина допустимой предварительной ошибки $\delta P_{I доп.}$ примерно на порядок должна превышать собственную относительную погрешность средства измерения.

Значение конечной допустимой ошибки $\delta P_{к доп.}$ должно быть существенно меньше величины допустимой предварительной ошибки $\delta P_{I доп.}$, но в несколько раз превышать погрешность средства измерения.

Для реализации требуемого алгоритма, рекомендуется микропроцессор ATmega 128A фирмы Atmel. Это 8-битный микропроцессор типа AVR, у которого есть 128 кБ внутренней программируемой FLASH памяти, а также 4 кБ EEPROM и SRAM памяти, 10-битный аналогово-цифровой преобразователь, и 4 таймера-счетчика. Этот микропроцессор может работать при температурах до 85 °C, что позволяет использовать его в шахтном оборудовании.

Выводы.

1. Для достижения оптимального соотношения между количеством измерений в одной точке и достоверностью полученного усредненного значения предложено автоматическое выполнение первичной статистической обработки средствами измерений непосредственно на месте обследования состояния элементов геотехнической системы.

2. Предложен один из вариантов адаптивного алгоритма первичной обработки малой выборки с автоматической отбраковкой аномальных значений и получением конечного результата измерений с заданной достоверностью.

3. Изложены общие требования к технической реализации устройства с гибким программным обеспечением для выполнения указанного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, Б.Я. Планирование измерительного эксперимента / Б. Я. Авдеев. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ «ЛЭТИ», 2005. - 56 с.
2. Захаров, І.П. Взаємне перерахування похибок та невизначеності вимірювань / І.П. Захаров // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. - № 5. – С.49-56.
- 3 Methodology – FAO Corporate document repository. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/005/y2791e/y2791e04.html>.
4. ДСТУ ISO 3494:2007 Статистичне опрацювання даних. Потужність статистичних критеріїв, що стосуються середніх значень і дисперсій: Чинний з 01.10.2009. - К.: Держспоживстандарт, 2009. – 23 с.
5. ДСТУ ISO 8258:2001. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта: Чинний з 01.07.2003. - К.: Держспоживстандарт, 2003. – 38 с.
6. Ефимова, М. Р. Общая теория статистики / М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев. - М.:

ИНФРА-М, 2013. - 416 с.

7. Freedman, D. A. *Statistical Models: Theory and Practice* / D.A. Freedman. - Cambridge: Cambridge University Press, 2005. – 458 p.

8. Rubin, D.B. *Statistical analysis with missing data* / D.B. Rubin, J.A. Roderick. - New York: Wiley, 2002. – 408 p.

9. Суроги́на, В. А. Информационно-измерительная техника и электроника. / В.А. Суроги́на, В.И. Калашников, Г.Г. Раннев - М.: Высшая школа, 2006. – 512 с.

10. Волков, В.Л. Программное обеспечение измерительных процессов / В.Л. Волков. - Арзамас. ОО “Ассоциация ученых”, 2008. - 132 с.

11. Латышенко, К.П. Автоматизация измерений, испытаний и контроля / К. П. Латышенко. - М.: МГУИЭ, 2006. - 312 с.

REFERENCES

1. Avdeev, B. Y. (2005), *Planirovanie izmeritelnogo eksperimenta* [Planning for measuring experiment], The Leading Saint Petersburg State Electrotechnical University named after V.I. Uljanov, St. Petersburg, Russia.

2. Zaharov, I. P. (2005), “Mutual transfer of errors and measurement uncertainty”, *Standardization, certification, quality*, no. 5, pp. 49-56.

3. FAO Corporate document repository (2005), “Methodology”, available at: <http://www.fao.org/docrep/005/y2791e/y2791e04.htm>, (Accessed 5 August 2015).

4. State Standards of Ukraine (2009), *ISO 3494:2007: Statichne opratsuvannya dannykh. Potuzhnist statichnykh kriteriev, shcho stosuyutsya serednykh znachen i dispersiy* [ISO 3494:2007: Statistical analysis of data. Statistical criteria power regarding the average values and variances], Derzhspozhivstandart, Kiev, Ukraine.

5. State Standards of Ukraine (2003), *ISO 8258:2001: Statistichniy control; Controlni karti Shuharta* [ISO 8258:2001: Statistical control; Shewhart control charts], Derzhspozhivstandart, Kiev, Ukraine.

6. Efimova, M. R., Petrova, E. V. and Romyancev, V. N. (2013), *Obshchaya teoriya statistiki* [General theory of statistics], INFRA-M, Moscow, Russia.

7. Freedman, D. A. (2005), “Statistical Models: Theory and Practice”, *Cambridge University Press*, Cambridge, England.

8. Rubin, D. B. and Roderick, J. A. (2002), “*Statistical analysis with missing data*”, Wiley, New York, USA.

9. Surogina, V. A., Kalashnikov, V. I. and Rannev, G. G. (2006), *Informatsionno-izmeritelnaya tekhnika i elektronika* [Information and measuring equipment and electronics], Vyshaya shkola, Moscow, Russia.

10. Volkov, V. L. (2008), *Programnoe obespechenie izmeritelnykh protsessov* [The software measurement processes], Association of scientists, Arzamas, Russia.

11. Latishenko, K. P. (2006), *Avtomatizatsiya izmereniy, ispytaniy i kontrolya* [Automation of measurement, testing and monitoring], Moscow State University of Environmental Engineering, Moscow, Russia.

Об авторах

Сергиенко Виктор Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, sergienko.vic@yandex.ua.

Красовский Игорь Святославович, магистр, инженер в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, i.s.krasovskiy@gmail.com.

About the authors

Sergienko Viktor Nikolayevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Rock Mechanics Department, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergienko.vic@yandex.ua.

Krasovskiy Igor Svyatoslavovich, Master of Science, Engineer in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, i.s.krasovskiy@gmail.com.

Анотація. Об'єкт досліджень – автоматизована первинна статистична обробка масиву числових даних безпосередньо при виконанні вимірювань. Мета роботи – розробка алгоритму для мікропроцесора з метою отримання значення інформативного параметру з заданим ступенем варіації при оптимізації числа вимірювань.

Показано вплив основних факторів, що визначають розкид показань засобів контролю елементів геотехнічних систем при виконанні вимірювань в масиві: власна похибка засобу вимірювань, суб'єктивний фактор, просторово-часова мінливість об'єкту вимірювань. Відмічено протиріччя між необхідністю підвищення достовірності вимірювань та зниженням трудовитрат при їх виконанні. Один із шляхів його вирішення – виконання первинної статистичної обробки безпосередньо на місці виконання вимірювань. Розроблено алгоритм, що передбачає використання мікропроцесора. Його особливостями є гнучке програмування значень параметрів обробки за допомогою зовнішнього комп'ютера індивідуально для кожної виконуваної роботи. При заданих вимогах щодо достовірності здійснюється автоматичне відбраковування аномальних значень і визначення необхідного числа вимірювань в циклі. По закінченню циклу результати заносяться в пам'ять, а їх кінцеву обробку знову здійснюють на зовнішньому комп'ютері.

Ключові слова: варіація значень параметра, статистична обробка, мікропроцесор, засіб вимірювання, достовірність результатів.

Abstract. An object of the research was automated primary statistical processing of the numerical data array immediately in the process of measuring. Purpose of the research was to design an algorithm for the microprocessor for the purpose of obtaining a value for the informative parameter with a predetermined degree of variation in the optimization of the number of measurements.

Influence of the following key factors, which determine spread of control device indications on elements of geotechnical systems in the process of measuring, was shown: inherent accuracy of the measuring instrument, subjective factor, spatial-temporal variability of the object of measurement. A contradiction was noted between the need to improve reliability of the measurements and need to reduce labor costs of the measuring operations. One of the ways of solving this problem is in-situ primary statistical processing of the measuring results. An algorithm was designed which assumed usage of a microprocessor. This algorithm features flexible programming of parameter values per each work operation for their processing by an external computer. Under the given requirements to the data reliability, anomalous values are automatically rejected with simultaneous specifying a needed number of measurements per each cycle. At the end of the cycle, the results are saved in memory, and their final processing is performed by the external computer.

Keywords: variations of parameter values, statistical processing, microprocessor, measurement instrument, reliability of results.

Стаття поступила в редакцію 10.08.2015

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Скипочкой С.И.