

### **Исследование и разработка методики неразрушающего контроля электропроводных изделий и конструкций на основе резистивно-акустического эффекта**

Проблема обеспечения эксплуатационной надежности технических объектов и создание эффективных систем технического контроля состояния несущих металлических конструкций является важным направлением современных инженерных наук. В процессе длительной эксплуатации металлоконструкции технических объектов подвергаются постоянным механическим, физическим и химическим воздействиям, которые приводят к их физическому износу и снижению эксплуатационных параметров объектов. Известен целый ряд случаев, когда процессы износа металлоконструкций проходят практически незаметно до момента появления необратимых процессов и их катастрофического разрушения. Для оперативного контроля и разработки мероприятий по восстановлению эксплуатационных качеств конструкций необходимо проведение их постоянного обследования с целью контроля их технического состояния [1].

Одним из перспективных направлений современной дефектоскопии является применение резистивных методов неразрушающего контроля, которые основаны на зависимости электрического сопротивления или проводимости элементов металлоконструкций от эксплуатационных напряжений в них. Однако в последнее время, в связи с возрастающими требованиями к эксплуатационной защищенности промышленных объектов, возникает необходимость разработки новых более эффективных методов контроля, позволяющих осуществлять раннее обнаружение предаварийного состояния металлоконструкций на объекте контроля. Особенно эта проблема актуальна для промышленных и социальных объектов повышенной опасности [2].

Одним из возможных подходов к решению данной проблемы является одновременное применение резистивных и акустических методов. При этом в качестве регистрируемого параметра выступает электрическое сопротивление элемента контролируемой металлоконструкции, несущее информацию о взаимных эффектах электроакустических преобразований и соответственно о технологическом состоянии элемента.

Принципиальная возможность проведения технологического контроля металлоконструкций на основе резистивно-акустического метода определяется тем, что при упругом воздействии на проводящий элемент, его электрическое сопротивление изменяется за счет пьезорезистивной и тензорезистивной чувствительности, а также за счет зависимости магнитной проницаемости от механических напряжений в нем.

Целью данного исследования является научное обоснование и разработка методики применения резистивно-акустического метода в задачах неразрушающего контроля механических напряжений и дефектов в конструкциях из металлов и сплавов в природно-технических системах.

Предлагаемый новый дефектоскопический подход к проблеме контроля металлоконструкций позволит выполнить локализацию предполагаемых дефектов за счет использования дополнительного источника акустического воздействия на объект и соответственно значительно увеличить точность и надежность оценок.

Предварительно проведенные нами лабораторные исследования на стальном трубном прокате дали положительные результаты. В ходе исследований было обнаружено влияние упругих волн на результаты электрического профилирования труб малых диаметров. На участках труб длиной 3 метра, легко лоцировался дефект диаметром 2 см.

Акустическое воздействие позволяет локализовать аномальные участки в изучаемой проводящей среде. При использовании естественных акустических источников позволит обеспечить постоянный контроль и оперативность получения информации о состоянии контролируемых объектов в период эксплуатации, что позволит проводить раннее обнаружение предаварийного состояния.

Таким образом, совместное использование электрических и упругих полей в задачах контроля для получения дополнительной информации о состоянии объекта контроля является новым и перспективным. Предлагаемый метод может быть применим для контроля протяженных

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

электропроводных объектов, таких как стальные трубы, рельсы, железобетонные перекрытия и т.п. Причем важное значение имеет то, какие характеристики имеет упругая волна, воздействующая на контролируемый объект. Физически это означает, что акустическое воздействие как бы “подсвечивает” изучаемую среду. В контролируемые параметры добавляется дополнительная информация о структуре среды. Следовательно, структурные изменения в контролируемой среде могут быть обнаружены предлагаемым методом ранее, чем возникнет необратимое разрушение объекта.

### Литература

1. Кузичкин О.Р., Быков А.А., Кутузов А.С. Комплексирование сейсмических и геоэлектрических методов при геодинамическом контроле // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2012. №14. С. 45-48.
2. Быков А.А., Кузичкин О.Р. Исследование возможности применения сейсмоэлектрического метода в дефектоскопии // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – № 2. – С. 125–127. – Режим доступа: [http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/2\(6\)/S-SibSB\\_Issue\\_6.pdf](http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/2(6)/S-SibSB_Issue_6.pdf).

### Сравнительные испытания ножовок

Ножовка, изготовленная по нашей технологии, была испытана при резании дерева, фанеры, ДСП, шифера (асбестоцемента). Поломок зубьев пилы при разводке и в процессе испытаний не наблюдалось. Было пропилено шифера  $1,3 \text{ м} \times 32 = 42 \text{ м}$  и затупление ножовки не наблюдалось, тогда как у обычной ножовки затупление наступает после распиловки 6...8 листов. Откуда следует, что стойкость по шиферу испытываемой ножовки в 5...6 раз выше обычной.

Ножовки были испытаны также и на прочность при изгибе.

В условиях жёсткого нагружения ведущую роль играет эффективный модуль упругости. Испытания проводились по схеме консольной балки с переменной жёсткостью (рис. 1).

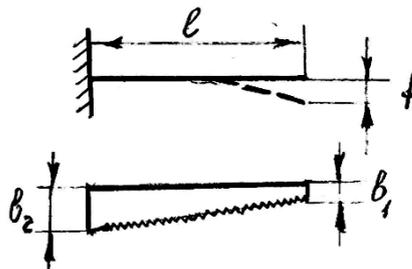


Рис. 1. Измерение гибкости гетерогенной ножовки

Таблица – Результаты измерения гибкости полотна ножовки

P, кг	f, мм	l, мм	b <sub>1</sub> , мм	b <sub>2</sub> , мм	b, мм	h, мм
0,7	45	270	37	63	50	1,15

где P – усилие, приложенное к концу ножовки;

f – величина прогиба;

l – длина ножовки;

b – ширина пилы;

h – толщина полотна.

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2} = 50 \text{ (мм)}. \quad (1)$$

Модуль упругости при испытании на изгиб составит

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot f \cdot J}, \quad (2)$$

где J – момент инерции;

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{50 \cdot 1,15^3}{12} = 6,3 \text{ мм}^4. \quad (3)$$

Тогда

$$E_{\text{эф}} = \frac{0,7 \cdot 270^3}{3 \cdot 45 \cdot 6,3} = 1,61 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Как видим, эффективный модуль упругости составил всего 77% от нормы ( $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ). Следовательно, создание гетерогенной макроструктуры вследствие появления дополнительных переходных зон, сопровождается снижением эффективного модуля упругости и появлением разномодульности. Оба эти явления приводят к уменьшению вероятности поломок при случайных изгибах или в процессе разводки.

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

Таблица – Результаты измерения гибкости полотна ножовки со сплошным двусторонним упрочнением

P, кг	f, мм	l, мм	b <sub>1</sub> , мм	b <sub>2</sub> , мм	b, мм	h, мм
0,9	45	270	36	70	53	1,15

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{36 + 70}{2} = 53 \text{ (мм)}.$$

Момент инерции J будет иметь вид

$$J = \frac{53 \cdot 1,15^3}{12} = 6,7 \text{ мм}^4.$$

Модуль упругости при испытании на изгиб составит

$$E = \frac{0,9 \cdot 270^3}{3 \cdot 45 \cdot 6,7} = 2,2 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Следовательно, сплошное упрочнение повышает E по сравнению с неупрочнённым, где  $E = 2,06 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2 = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

Как видим, разработанный нами макрогетерогенный материал позволяет:

1. сочетать твердость и пластичность;
2. снижает E, тем самым, снижая напряжения;
3. глушит вибрации;
4. обеспечивать самозатачивание.

### К вопросу обеспечения рационального энергопотребления технологических систем обработки резанием

Проблеме рационального энергопотребления технологических систем посвящены работы Г.И. Епифанова, П.А. Ребиндера, Г.И. Грановского, В.В. Швеца, Н.Н. Зорева, М.И. Клушина, В.С. Ивановой, В.К. Старкова, А.А. Фёдорова, В.В. Фёдорова, А.Д. Макарова, В.А. Веникова, В.Н. Подураева, А.Ю. Албагачиева, О.А. Горленко, С.С. Силина, Ф.Я. Якубова, В.С. Сальникова, Ю.Г. Кабалдина, В.Я. Коршунова, Е.М. Трента, П. Джоста, Дж. Шофилда, Р. Реебер и др.

В настоящее время общепризнанна перспективность использования энергетических показателей в качестве критериев оптимизации условий обработки резанием, поскольку такие показатели характеризуют физическую природу явлений, происходящих в зоне стружкообразования, и при этом имеют устойчивые функциональные связи с управляемыми параметрами системы резания [1]. В качестве энергетического показателя, например в работах В.К. Старкова, используется удельная энергоёмкость (удельные энергозатраты, удельная работа) процесса резания, определяемая отношением работы, совершаемой режущим инструментом, к объёму срезаемого слоя. Исследовано влияние параметров системы резания на удельную энергоёмкость, на основе соответствующих эмпирических выражений построены алгоритмы оптимизации распространённых методов механической обработки [2].

Удельная энергоёмкость служит, по сути, физическим показателем эффективности процесса резания, если в результате этого процесса стружкообразование осуществляется с приемлемой производительностью при обеспечении заданного периода стойкости инструмента, а обработанные поверхности получают с требуемой формой, размерами и качеством [3]. Чем меньше величина удельной энергоёмкости при соблюдении требуемых результатов обработки, тем более эффективно протекает обработка, тем более эффективными признаются условия резания. К несомненным достоинствам удельной энергоёмкости исследователи относят простоту определения этого показателя как теоретическими, так и экспериментальными методами.

Наряду с достоинствами показателя удельной энергоёмкости процесса резания следует привести ряд недостатков, обнаруженных нами при применении вышеупомянутых методик оптимизации [4].

Во-первых, удельная энергоёмкость является размерным показателем и не позволяет определить, какая часть энергии расходуется непосредственно на деформацию и (или) разрушение единицы объёма срезаемого слоя, либо образование единицы площади новых поверхностей (полезная составляющая), а какая часть энергии затрачивается на механические и физико-химические явления, неизбежно сопровождающие стружкообразование. Во-вторых, используя показатель удельной энергоёмкости, затруднительно сопоставлять уровень энергии, развиваемой в технологической системе, с предельным энергетическим состоянием обрабатываемого материала, определяемым его физико-механическими и теплофизическими свойствами. В третьих, оперирование удельной энергоёмкостью, выражаемой отношением работы резания к объёму срезаемого слоя, предполагает изотропию материала по сечению срезаемого слоя и стружки (наружный слой стружки «уравнивается» в свойствах с прирезцовым). В-четвёртых, удельная энергоёмкость процесса резания пропорциональна мощности резания, при этом сила и мощность резания полагаются постоянными в течение времени рабочего хода, что справедливо только для стационарного резания и встречается редко.

Нами предложен и исследован интегральный показатель энергетической эффективности резания  $K$  ("энергетический КПД резания"), записываемый в обобщённом виде следующим образом:

$$K = \frac{\{\text{полезная работа}\}}{\{\text{затраченная работа}\}} = \frac{\Delta w}{e} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $\Delta w$  – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм<sup>3</sup>, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения;  $e$  – удельная работа резания, Дж/мм<sup>3</sup>, т.е. работа режущего инструмента, отнесённая к единице объёма срезаемого слоя заготовки или поверхностного слоя детали.

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

Удельная энергоёмкость  $\Delta w$  есть критическое приращение плотности внутренней энергии обрабатываемого материала, т.е. разность между предельным  $[u]$  и начальным  $u_0$  уровнями внутренней энергии, отнесённой к единице объёма материала:

$$\Delta w = [u] - u_0. \quad (2)$$

При определении величины  $[u]$  будем руководствоваться следующей энергетической концепцией разрушения: объём материала разрушается, если накопленная в нём энергия вследствие внешнего воздействия достигла предельной величины. Тело считается разрушенным, если хотя бы в одном его локальном объёме плотность внутренней энергии возросла до критической величины  $[u]$ .

Получены выражения удельной энергоёмкости  $\Delta w$  для широкого спектра конструкционных материалов через их физико-механические и теплофизические свойства в зависимости от типа образующейся стружки и технологического назначения рабочего хода [3].

Удельная работа резания  $e$ , Дж/мм<sup>3</sup>, зависит как от характеристик заготовки (вид и свойства обрабатываемого материала, состояние поверхности), так и от управляемых факторов обработки, в случае процесса точения – от технологических параметров  $[(B \times H, \varphi, \varphi_1, r)$ , инструментальный материал,  $\gamma, \alpha, \lambda, t, s, v, n]$ . При этом

$$e = \frac{60 \cdot N \cdot k_N}{P}, \quad (3)$$

где  $N$  – мощность резания, Вт;  $k_N$  – коэффициент изменения мощности в течение времени рабочего хода инструмента;  $P$  – минутный съём стружки, мм<sup>3</sup>/мин.

Дальнейшее преобразование выражения (3), а, следовательно, и выражения (1) связано с необходимостью представления в том или ином виде мощности резания  $N$  через показатели свойств обрабатываемого и инструментального материалов, а также управляемые технологические параметры.

Предлагаемый нами показатель энергетической эффективности ("КПД процесса резания") позволит, во-первых, сопоставить величину удельной работы резания с удельной энергоёмкостью обрабатываемого материала, выражаемой его физико-механическими и теплофизическими свойствами, а, во-вторых, будет учитывать закономерное изменение мощности резания во времени рабочего хода инструмента. Всё это сделает методику оптимизации условий обработки более обоснованной и точной.

### Литература

1. Карпов А.В. Об оценке энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2014, № 2 (20). – С. 61-68.
2. Карпов А.В. К вопросу снижения энергоёмкости технологических процессов обработки резанием // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/108-8697> (дата обращения: 10.11.2014).
3. Karpov A.V. Towards Energy Intensity Reduction of Machining Fabrication Procedures // Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015). Pp. 111-115.
4. Karpov A.V. Determining the effective conditions for machining fabrication procedures based on the cutting process energy patterns // Procedia Engineering. Vol. 129 (2015). Pp. 116-120.

### **О результатах оптимизации технологических процессов обработки резанием по критерию минимальной удельной энергоёмкости**

В течение 2012-2015 гг. кафедрой технологии машиностроения Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета созданы и успешно апробированы методики структурной и параметрической оптимизации технологических процессов изготовления деталей машин, включающих операции обработки резанием, по критерию минимальной удельной энергоёмкости стружкообразования [1-3, 6]. Удельная энергоёмкость процесса резания численно характеризует количество энергии, затрачиваемой режущим инструментом на отделение в виде стружки единицы объёма срезаемого слоя, либо на образование единицы площади обработанной поверхности детали [4].

Теоретически и экспериментально исследовано влияние управляемых факторов системы резания (глубины резания, скорости подачи, скорости резания, геометрических параметров режущей части инструмента, вида инструментального материала) на удельную энергоёмкость точения и фрезерования заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей, серых и ковких чугунов.

Установлено [1-8]:

- снижению удельных энергозатрат при резании в наибольшей степени способствует форсирование минутной подачи до значений, ограничиваемых требуемыми показателями качества обработанных поверхностей, стойкостью инструмента и технологическими возможностями оборудования;
- при одной и той же производительности наружного точения энергетически более эффективным является увеличение подачи на оборот в противоположность увеличению скорости резания;
- при увеличении скорости резания удельные энергозатраты при токарной обработке сокращаются благодаря пропорциональному росту производительности, а фрезерной – увеличиваются ввиду уменьшения подачи на зуб;
- одновременное увеличение переднего угла с 0 до 10 градусов и главного угла в плане с 45 до 90 градусов твердосплавных токарных резцов способствует снижению удельных энергозатрат точения на 6-9 %. При использовании быстрорежущих резцов установлен экстремальный характер зависимости энергозатрат от главного угла в плане, имеющей минимум при значении этого угла 60 градусов;
- удельные энергозатраты при попутном цилиндрическом фрезеровании в среднем на 9-12 % меньше, чем при встречном.

При цилиндрическом фрезеровании заготовок из сталей впервые выявлена взаимосвязь энергетически экономичного распределения припуска между двумя последовательными технологическими переходами фрезерной операции с соотношением скоростей резания и минутных подач на этих переходах.

Создана и апробирована математическая модель регулирования скорости подачи дисковой пилы с сегментами из быстрорежущей стали (ГОСТ 4047-82) с целью стабилизации мощности разрезания стального цилиндрического проката на фрезерно-отрезных полуавтоматах модели 8Г663-100, что позволило увеличить производительность операции на 7-10%, сократить суммарные энергозатраты на 12-14% при обеспечении требуемой стойкости зубьев пилы.

Перечисленные результаты исследований легли в основу оптимизации технологических процессов изготовления ряда деталей на машиностроительных предприятиях г. Мурома в части коррекции режимов резания и геометрических параметров режущих инструментов [5-7]. В результате оптимизации отмечено сокращение энергетических затрат при осуществлении процессов точения, фрезерования и разрезания заготовок до 18% по отношению к применявшимся ранее технологическим условиям обработки при обеспечении требуемых значений производительности, стойкости инструмента и качества обработанных поверхностей [1, 5, 6].

В качестве интегральной характеристики эффективности процесса резания нами применялся безразмерный энергетический показатель  $K$  – "энергетический КПД":

$$K = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}} = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{\tau_{\text{ц}}} N(\tau) dt}, \quad (1)$$

где  $\Delta w$  – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм<sup>3</sup>, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения;  $V$  – объём срезаемого слоя;  $n_{\text{ц}}$  – число циклов изменения мощности резания  $N(\tau)$  в единицу времени;  $A_{\text{ц}}$  – работа резания за время  $\tau_{\text{ц}}$  одного цикла изменения мощности резания.

Уравнения показателя энергетической эффективности  $K$  получены для различных методов лезвийной обработки сталей, чугунов, цветных конструкционных сплавов и приведены в [1, 3, 6]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что предложенный показатель  $K$  отвечает всем требованиям, предъявляемым к критериям оптимизации технологических процессов: во-первых, он выражает КПД процесса резания и, следовательно, обладает физическим смыслом; во-вторых, он просто и однозначно описывается в математическом виде; в-третьих, он может быть сведён к виду целевой функции  $K \rightarrow \max$ , аргументами которой являются входные параметры системы резания. Таким образом, при оптимизации процессов обработки резанием по энергетическому критерию  $K$  в рассмотрение включается большое число факторов.

#### Литература

1. Karpov A.V. Towards Energy Intensity Reduction of Machining Fabrication Procedures // Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015). Pp. 111-115.
2. Karpov A.V. Determining the effective conditions for machining fabrication procedures based on the cutting process energy patterns // Procedia Engineering. Vol. 129 (2015). Pp. 116-120.
3. Албагачиев А.Ю., Карпов А.В. Энергетические критерии расчёта рациональных режимов механической обработки // Научные труды VII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права». Книга «Приборостроение». – М.: МГАПИ, 2004. – С. 4-12.
4. Игнатов С.Н., Карпов А.В., Распопин А.П. Оценка эффективности лезвийной обработки с использованием безразмерного энергетического критерия // СТИН. № 12. 2004. – С. 23-26.
5. Карпов А.В. К вопросу снижения энергоёмкости технологических процессов обработки резанием // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/108-8697>.
6. Карпов А.В. Показатели энергетической эффективности процесса резания // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. Том 14. № 1. 2012. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012. – С. 51-59.
7. Карпов А.В. Показатели энергоэффективности обработки заготовок режущими инструментами // Известия Орловского государственного технического университета. Серия «Машиностроение, приборостроение». № 1-2, январь-июнь 2003 г. – Орёл: ОрёлГТУ, 2003. – С. 15-19.
8. Карпов А.В., Распопин А.П., Лазуткин С.Л. Показатели энергоэффективности проектируемых и действующих технологических процессов машиностроительных производств // Механика и процессы управления. Труды XXXII Уральского семинара. Миасс, 24 декабря 2002 г. – Екатеринбург, Уральское отделение РАН, 2002. – С. 592-600.

### Структура модели рабочего процесса базовой машины с гидравлической импульсной системой

При создании или усовершенствовании машины стоит задача расчёта предполагаемых конструкционных и эксплуатационных параметров. Для исследования рабочих процессов, происходящих в динамической системе «привод – исполнительный орган – забой» целесообразно применить известные принципы математического моделирования [1-4]. Особенностью данной модели является, учёт взаимного влияния составных элементов системы друг на друга. Структурную схему математической модели базовой машины с гидравлической импульсной системой можно представить в виде (рис.).

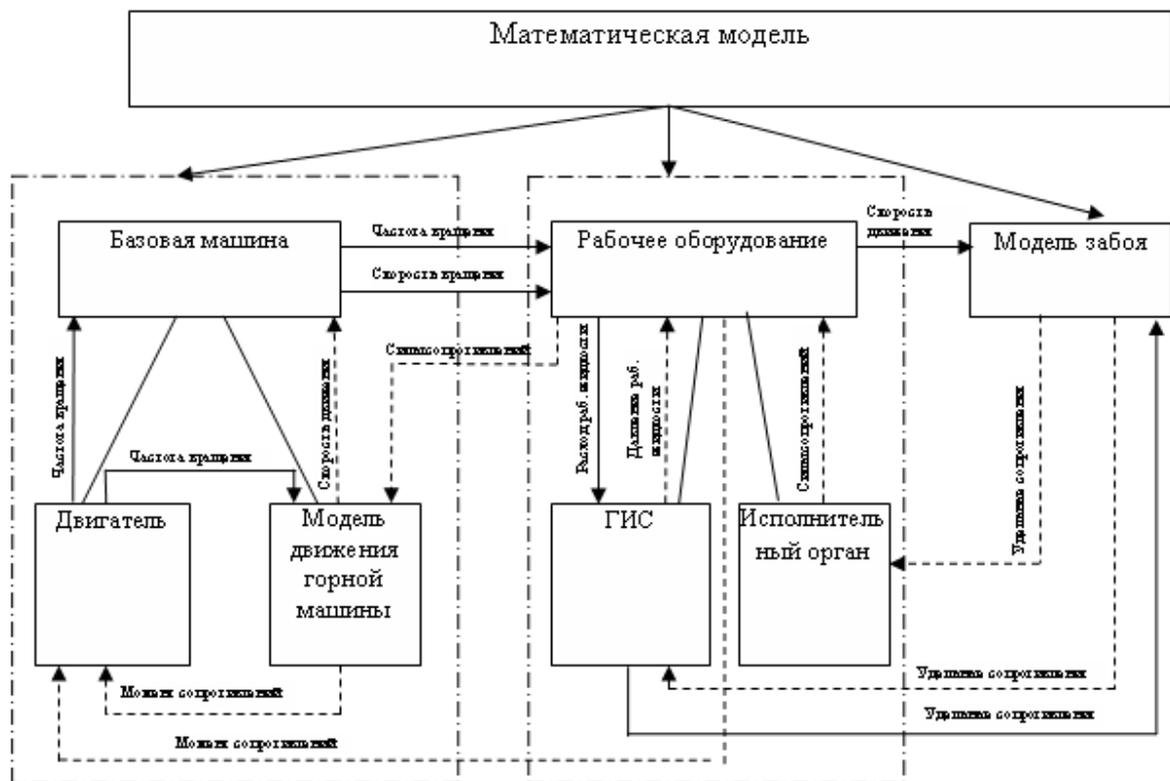


Рис. Структурная схема математической модели

Для удобства моделирования рабочего процесса рассматриваемую динамическую систему целесообразно представить в виде отдельных взаимосвязанных звеньев – двигателя, трансмиссии, движителя, исполнительного органа и гидравлической импульсной системы (ГИС), примененной в конструкции исполнительного органа. Сила сопротивления забоя, мощность, потребляемая гидравлической импульсной системой, силы сопротивления перемещению всей горной машины являются входными параметрами звеньев динамической системы двигателя, трансмиссии, движителя, выходными параметрами которых являются действительная скорость перемещения машины и подача насоса гидросистемы. Последний показатель, наряду со свойствами забоя, является входным параметром звена динамической подсистемы – гидравлической импульсной системы. Рабочий процесс совершается при работе двигателя на внешней скоростной характеристике с возможными переходами на регуляторную ветвь. Известно, что в трансмиссии при отсутствии демпфирующих устройств с непрозрачной характеристикой колебания нагрузки передаются на двигатель и вызывают изменение скорости вращения его вала и скорости

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

поступательного движения машины. При установившемся режиме показатели двигателя сохраняются неизменными, а крутящий момент равен моменту сопротивлений.

В конструкциях самоходных землеройных машин может применяться колесный или гусеничный движитель, и моделирование передвижения сводится к определению сопротивлений и действительной скорости перемещения машины по известной методике. Поэтому представляет интерес систематизация алгоритма математического моделирования процесса функционирования гидравлической импульсной системы.

### Литература

1. В.И. Баловнев Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин - М.: Высшая школа, 1981.
2. В.Ф. Горбунов, А.Г. Лазуткин, Л.С. Ушаков Импульсный гидропривод горных машин - Новосибирск: Наука, 1986. - 197 с.
3. Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко Гидравлические машины ударного действия. - М.: Машиностроение, 2000. - 415 с.
4. Н.С. Гамынин Гидравлический привод систем управления М.: Машиностроение, 1972. - 218 с.

### Энергосберегающий подход при конструировании грунтопроходчика

Известно [1, 2], что разрушение твердых тел является многостадийным процессом, протекающим во времени. При этом на разных стадиях деформирования и разрушения ведущую роль играют физические процессы, различные по энергиям активации, характерным масштабам, времени релаксации и структуре. Отсюда следует, что энергия должна передаваться обрабатываемому материалу в таком количестве, которое способно полезно поглотить обрабатываемое вещество. В результате материал, с которым взаимодействует рабочий орган машины, не перегружается излишней энергией. Таким образом, важное значение приобретает дозировка и локализация вводимой в обрабатываемый материал энергии [2]. Поэтому актуально исследование и установление зависимостей, описывающих взаимосвязь элементов системы «привод– исполнительный орган – забой» с учетом строения твердых тел и временного фактора. Это позволит более объективно и точно выполнять расчеты по определению геометрических параметров машин, их рабочих органов и технологических режимов, обеспечивающих оптимальные энергозатраты на добычу, обработку материала, и требуемое качество конечного продукта.

На основе анализа различных схем управления предложено принципиальное решение системы автоматического регулирования частоты ударов гидравлического ударного устройства в зависимости от нагрузки на рабочем инструменте [3, 4, 5].

Рабочий инструмент под действием гидравлического ударного устройства (ГУУ) передает в забой энергию  $E_{уд}$ . Для разрушения горной породы должно выполняться условие

$$E_{уд} \geq E_{сопр}, \quad (1)$$

где  $E_{сопр}$  - энергия необходимая для разрушения горной породы.

Для отделения от массива некоторого объема  $W$  требуется определенное время  $t_{разр}$ , в течение которого в забой будет передаваться энергия ГУУ  $E_{уд}$ . Тогда можно записать

$$E_{уд} = A_{уд} \cdot n_{уд} \cdot t_{разр}, \quad (2)$$

где  $A_{уд}$  - энергия единичного удара ГУУ;

$n_{уд}$  - частота ударов ГУУ.

Из (1) и (2) следует, что время разрушения

$$t_{разр} = \frac{E_{сопр}}{A_{уд} \cdot n_{уд}} = \frac{E_{сопр}}{N_{уд}} = \frac{\sigma_{эkv} \cdot S_{инс} \cdot X_{дин.}}{N_{уд}}, \quad (3)$$

где  $N_{уд}$  - ударная мощность ГУУ;

$\sigma_{эkv}$  - эквивалентное сопротивление материала разрушению;

$X_{дин.}$  - величина ударного внедрения рабочего инструмента;

$S_{инс}$  - площадь поперечного сечения рабочего инструмента.

Очевидно, что эффективность работы машины, оснащенной ГУУ, обуславливается необходимостью обеспечения постоянного контакта рабочего инструмента с забоем. Следовательно, перемещение исполнительного органа должно осуществляться со скоростью, позволяющей за время  $t_{разр}$  проходить путь, равный величине ударного внедрения  $X_{дин.}$ :

$$V_{п.} = \frac{X_{дин.}}{t_{разр}} = \frac{X_{дин.} \cdot N_{уд}}{\sigma_{эkv} \cdot S_{инс} \cdot X_{дин.}} = \frac{N_{уд}}{\sigma_{эkv} \cdot S_{инс}}, \quad (4)$$

Если скорость  $V_{п.}$  будет меньше расчетного значения, то избыток развиваемой ГУУ энергии будет поглощаться тормозной камерой [5]. Давление в тормозной камере  $p_{тр}$  служит управляющим сигналом для изменения режима работы ГУУ с целью ее настройки под заданную скорость перемещения. Для рассматриваемой схемы ГУУ можно записать

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

$$n_{уд} = f(Q_p), \quad (5)$$

где  $Q_p$  - расход рабочей жидкости, поступающий на вращающийся распределитель системы управления ГУУ.

Тогда, система регулирования ударной мощности должна связывать изменение давления рабочей жидкости в тормозной камере  $p_{тр}$  с расходом  $Q_p$ , меняя его, а, следовательно, и частоту ударов  $n_{уд}$  до необходимого уровня. Задача исследования заключается в изучении закономерностей, описывающих процесс, и установление функциональной зависимости вида

$$Q_p = f(p_{тр}), \quad (6)$$

и как следствие частоты ударов  $n_{уд}$  от давления рабочей жидкости в тормозной камере  $p_{тр}$ . При этом основным условием является достижение соответствия ударной мощности развиваемой ГУУ и необходимой в данный момент для нормального функционирования системы «привод – исполнительный орган – забой».

В соответствии с результатами анализа вышеприведенных зависимостей можно утверждать, что скорость перемещения  $V_{б.м.}$  определяется горно-геологическими условиями и расходом жидкости, проходящим через систему управления ГУУ. Если задать  $V_{п} = const$ , то справедливо выражение

$$Q_p = f(\sigma_{э.кв.}) \quad (7)$$

Таким образом, установлена обратная связь между нагрузкой на рабочем инструменте и параметрами рабочего тела ГУУ, что следует считать основой понятия адаптивное гидравлическое ударное устройство. Такая конструктивная схема расширяет технологические возможности и позволяет наиболее рационально использовать подводимую мощность, что приведёт к повышению коэффициента полезного действия системы «приводной двигатель – гидравлический насос – гидравлическое ударное устройство».

### Литература

1. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids. Phil, Trans, Roy. Soc. A221, 1920. - 220p.
2. А.Ф. Кичигин, Д.А. Егер, А.Г. Ивченко Глобальная энергия в энергосбережении, добычи и обработке материалов. – Киев: Кондор, 2006. -401с.
3. Сагинов А.С., Кичигин А.Ф., Лазуткин А.Г., Янцен И.А. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин. М.: Машиностроение, 1979. -200 с.
4. Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко Гидравлические машины ударного действия. М.: Машиностроение, 2000. 415 с.
5. Пат. 2361996 Российская федерация, МПК Е 21 В 1/26 Гидравлическое устройство ударного действия / Ушаков Л.С., Кантович Л.И., Фабричный Д.Ю., Лазуткин С.Л., Кравченко В.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования орловский государственный технический университет. - №2008113585/03; заявл. 07.04.09; опубл. 20.07.09; Бюл. №20.

### Использование температурной коррекции в системах автоматизированного полива

Использование геоэлектрических методов для контроля влагонасыщенности почвы в автоматизированной системе полива является актуальной задачей, данный подход позволяет обеспечить контроль на достаточно больших территориях. Для достижения поставленной цели необходимо учитывать особенности геоэлектрического метода контроля электропроводности почвы. На основании исследований [1,2] установлена зависимость влияния электропроводности почвы от ее влажности, следовательно применив геоэлектрические методы можно судить о ее влагонасыщенности. Применение геоэлектрических методов позволяет измерять комплексное сопротивление отражающее электропроводность почвы. В результате оценки текущей влагонасыщенности автоматизированная система полива позволит выбрать оптимальный режим орошения. Однако для оценки влагонасыщенности почвы с целью управления автоматизированным поливом требуется учитывать различные факторы, влияющие на значение электропроводности. Согласно [3] выявлено, что на результат измерений наибольшее мешающее воздействие оказывают температурные изменения. Температура окружающего воздуха является климатическим фактором и определяет интенсивность температурных помех и уровень их влияния. Для устранения влияния температурных помех на результаты геоэлектрических измерений требуется применять специализированные алгоритмы [4,5,6,7].

Для использования температурной коррекции нам необходимо разработать математическую модель, которая позволит описать геологические особенности исследуемого участка. Как правило, строение земной поверхности представляют в виде многослойной структуры, каждый слой отличается своими электрическими параметрами такими как удельное электрическое сопротивление  $\rho$  и диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$  [2]. Данный принцип позволяет выделить и описать плодородный слой, водоносный слой, зону аэрации и т.д. Модель каждого слоя представляется в виде диэлектрика с потерями, многослойная структура представляется в виде соединения нескольких параллельно соединенных сопротивлений и конденсаторов (рис. 1).

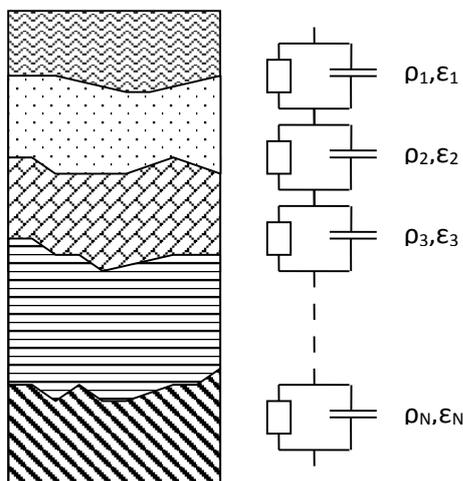


Рис. 1. Модель замещения геологического строения грунта

Данная математическая модель, описывает электрические и геометрические параметры геологической среды. Кроме этого предлагается использовать алгоритм коррекции временных рядов для устранения влияния температурных помех. Для проведения температурной коррекции полученных результатов предлагается использовать принцип регрессионной обработки временных рядов [5,6]. Данный метод основан на регистрации температуры в почве и на использовании базовой геоэлектрической модели, учитывающей влияния температуры. Данный алгоритм может использоваться в автоматизированных системах управления поливом и системах экологического мониторинга, применяющих геоэлектрические методы контроля.

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

Измеряя комплексное сопротивление, температуру и применяя математическую модель геологической среды при использовании алгоритма температурной коррекции можно оценивать существующую влагонасыщенность. По полученному значению делать вывод о необходимости полива, а так же выбирать оптимальный режим орошения.

### Литература

1. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температуре. М., 1979. 272 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 316 с.
3. Цаплев А.В., Кузичкин О.Р. Использование геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, ISSN 2222-5285 №3(21), 2014г., с.39-43
4. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Применение регрессионной обработки для компенсации температурных помех в системах геоэлектрического контроля // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 147-153.
5. Цаплев А.В. Применение температурной коррекции в системах геоэлектрического контроля геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных [Электронный ресурс]: Электронный научный журнал /под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова; - Вып. 2(20) - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012, с. 99-103
6. Tsaplev, A.V. Application of compensation of temperature interferences at geoelectric sounding of the karst (2012) CriMiCo 2012 - 2012 22nd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings PP. 1075 - 1076 IEEE Catalog Number CFP12788-PRT, SCOPUS
7. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Алгоритм параметрической температурной коррекции результатов геоэлектрического зондирования // Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ, 2010, вып.1. – С.128-133

### Особенности применения геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива

Орошение является важнейшим мелиоративным приемом стабилизации сельскохозяйственного производства в любые по влагообеспеченности годы. Однако часто при использовании существующих систем орошения возникают такие экологически неблагоприятные явления, как подъем уровня грунтовых вод, засоление и другие, снижающие плодородие почв. Причинами таких явлений являются не только потери из оросительной сети, отсутствие дренажных систем, но и инфильтрационные потери поливной воды на орошаемых полях, которые отдельно не определяются и, как правило, включаются в суммарное водопотребление, что приводит к завышению оросительных норм.

Поэтому в настоящее время существует важная задача разработки автоматизированных систем полива, позволяющих обеспечивать ресурсосберегающий режим орошения, а так же получать текущие параметры о влагонасыщенности почв и определять оптимальный ресурсосберегающий режим орошения.

На основании исследований [1,2] установлена зависимость влияния электропроводности почвы от ее влажности, следовательно применив геоэлектрические методы можно судить о ее влагонасыщенности. Применение геоэлектрических методов позволяет измерять комплексное сопротивление отражающее электропроводность почвы. Получив результаты измерения влагонасыщенности автоматизированная система полива позволит выбрать оптимальный режим орошения.

Целью работы является рассмотреть возможность использования геоэлектрических методов для оценки влагонасыщенности почвы с целью управления автоматизированным поливом.

Геоэлектрический метод контроля заключается в пропускании электрического тока через геологическую среду (рис. 1).

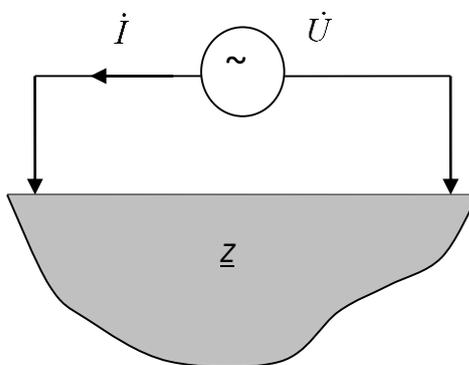


Рис. 1. Схема геоэлектрических измерений

По результатам измерения, учитывая приложенное переменное напряжение и ток получаем комплексное сопротивление грунта. Комплексное сопротивление характеризуется средним значением удельного сопротивления распределенного между двумя полюсами подключения источника тока. Удельное электрическое сопротивление  $\rho$  это параметр, который отражает в данном случае уровень электропроводности земли. Электропроводность почвы определяется наличием влаги и количеством растворимых веществ, а также температурой среды. [2].

В таблице 1 показана зависимость удельного сопротивления от влажности для тонкодисперсионной почвы, которая является наиболее плодородной.

Таблица 1. Зависимость удельного сопротивления от влажности

Влажность, %	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30
$\rho$ , Ом*м	2500	1650	1000	530	190	120	85	64

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

Таким образом, для контроля влагонасыщенности почвы представляем комплексное сопротивление  $Z$  как интегральный параметр:

$$Z = \{\rho(W, M, T), \omega\},$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление,  $W$  – влагонасыщенность грунта,  $M$  – минерализация почвы,  $T$  – температура,  $\omega$  – частота сигнала.

Исходя из предложенного для оценки влажности понадобится сделать следующее:

1) Определить степень минерализации исследуемого участка, построить корреляционные зависимости изменения удельного сопротивления почвы от концентрации растворимых веществ в почве. Построенные зависимости позволят для грунтов различного типа определить некоторые оптимальные значения влажности и содержания растворимых веществ, при которых  $\rho$  достигает минимума и максимума.

2) Определить температуру почвы  $T$ , однако данная величина изменяется по глубине плодородного слоя. Это связано с тем, что температура почвы  $T$  зависит как правило от температуры воздуха действующего на грунт и времени его удержания на поверхности. Температура окружающего воздуха является климатическим фактором и определяет интенсивность температурных помех и уровень их влияния. Отсюда следует, что наибольшее влияние на результаты измерений будут оказывать температурные помехи.

Для устранения влияния температурных помех на результаты геоэлектрических измерений требуется применять специализированные алгоритмы [3,4,5,6].

Таким образом при геоэлектрическом контроле влагонасыщенности почвы информативным параметром выбрано комплексное сопротивление. Зная измеренные комплексное сопротивление, температуру и геологические характеристики при использовании алгоритма температурной коррекции можно оценивать существующую влагонасыщенность. По полученному значению делать вывод о необходимости полива, а так же выбирать оптимальный режим орошения.

### Литература

1. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температуре. М., 1979. 272 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 316 с.
3. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Применение регрессионной обработки для компенсации температурных помех в системах геоэлектрического контроля // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 147-153.
4. Цаплев А.В. Применение температурной коррекции в системах геоэлектрического контроля геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных [Электронный ресурс]: Электронный научный журнал /под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова; - Вып. 2(20) - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012, с. 99-103
5. Tsaplev, A.V. Application of compensation of temperature interferences at geoelectric sounding of the karst (2012) CriMiCo 2012 - 2012 22nd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings PP. 1075 - 1076 IEEE Catalog Number CFP12788-PRT, SCOPUS
6. Цаплев А.В., Кузичкин О.Р. Использование геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, ISSN 2222-5285 №3(21), 2014г., с.39-43

П.С. Шпаков<sup>1</sup>, Ю.Л. Юнаков<sup>2</sup>, В.А. Чумляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: spsp01@rambler.ru

<sup>2</sup>Сибирский Федеральный университет. Институт горного дела геологии и геотехнологий  
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.  
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

### Инструментальный контроль относительных деформаций смещения по профильным линиям

Одним из элементов геомеханического мониторинга на карьере «Горевского ГОКа» является инструментальный контроль относительных деформаций смещения по профильным линиям.

Для проведения маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьера, дамбы и междамбового пространства (дамба – верхний контур карьера) заложена наблюдательная станция, состоящая из 11-ти профильных линий.

Каждая профильная линия состоит из опорных и рабочих реперов. Местоположение профильных линий выбирается в наиболее опасных направлениях, там где потенциально возможно сдвигание горных пород.

Закладка репера осуществляется следующим образом: в пробуренную скважину диаметром 160-200 мм на глубину, равную утроенной мощности зоны промерзания и оттаивания, помещают металлическую трубу соответствующих размеров так, чтобы верхний конец ее выступал над поверхностью на 0,5-1,0 м. Нижнюю часть трубы с якорем бетонируют ниже глубины промерзания. Пространство между стенками скважины и трубой выше бетонной подушки заполняется песком или шлаком и плотно утрамбовывается. Для предотвращения выпучивания репера трубу изолируют от заполняющего скважину материала (песка или шлака), смазывая техническим маслом и обворачивая прочной полиэтиленовой пленкой или толью.



При закладке репера в массив коренных пород скважину полностью заливают бетоном.

Рабочие реперы на уступах карьера забивные (стальные стержни диаметром 20 - 22мм, длиной 1,2 - 1,5м) закладывались с учетом сработки берм при выветривании горных пород.

Внешний вид опорного репера с отражателем и предохранительным ограждением представлен на рис.1.

Начальные наблюдения на заложенной наблюдательной станции выполнялись спустя 30 суток после закладки реперов и их стабилизации.

Рис. 1. Опорный репер с отражателем и предохранительным ограждением

Абсолютные параметры сдвижения. Для решения возможных неоднозначностей при анализе относительных смещений реперов наблюдательных станций необходимо, с достаточной периодичностью, производить определение абсолютных параметров смещений реперов. В цикле «Осень» нами произведено две опытные серии измерений при помощи с помощью тахеометра Topcon 7501 и комплекта спутниковой аппаратуры Topcon-Sokkia.

Подробно методика использования спутниковой аппаратуры изложена в разработанном во ВНИМИ «Практическом руководстве...» (С.-Пб, ВНИМИ, 1999,-68 с.).

## Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

Работы по определению плановых и высотных деформаций с применением спутниковой аппаратуры выполнялись нами в два цикла в течение 2 лет.

Все приборы были исследованы в метрологической лаборатории Федерального государственного учреждения «Российский Центр испытаний и сертификации - Красноярск». В результате исследований было установлено, что все приборы соответствуют своим характеристикам, и на них были выданы свидетельства о поверке.

В процессе полевых работ, для успешного выполнения высокоточной съемки GPS, наблюдения производились в «хорошие окна».

Подходящее окно для наблюдений должно обеспечивать наблюдения четырех или более спутников при GDOP < или = 8, угле отсечки 15 градусов на обоих приемниках (опорном и мобильном).

Величина GDOP помогает оценить геометрию спутникового «созвездия». Низкая величина GDOP соответствует хорошей геометрии. Высокое значение GDOP говорит о том, что спутниковое «созвездие» является плохим. Чем лучше GDOP, тем более вероятно, что получится хороший результат.

Плохая геометрия расположения спутников может быть сравнена с «кругом допустимых погрешностей» в классическом понимании. Если геометрия плохая, то решение при проведении «пост-обработки» будет не достаточно качественным.

При помощи спутниковых GPS приемников Topcon-SOKKIA были выполнены измерения. Измерения обработаны с помощью специальной программы Spectrum Survey, в результате получены координаты опорных реперов в цикле «Осень».

По результатам прогнозирования спутникового созвездия были определены оптимальные рабочие интервалы времени сеансов измерений, для определения координат и высот точек обоснования. На исходных и определяемых точках были выполнены независимые измерения в режиме статики с интервалом записи 5 сек., маской возвышения 15°. Обработка спутниковых измерений производилась в программе Spectrum Survey в ИГД проекта СК-42, в местной системе координат и балтийской системе высот. Для решения задачи по построению сети выполнено уравнивание с фиксацией на плоскости координат пунктов опорной сети с 95% доверительным интервалом. Желаемая точность была достигнута всеми векторами.

По результатам измерений был получен каталог координат опорных реперов профильных линий и приведена сравнительная таблица со сводным каталогом координат реперов профильных линий, полученными двумя методами.

Маркшейдерскими наблюдениями определяют следующие параметры, характеризующие процесс деформирования приборного массива:

- горизонтальные, вертикальные и полные векторы смещения реперов;
- горизонтальные деформации (растяжения или сжатия);
- наклоны поверхности, примыкающей к борту;
- сдвиг приборного массива;
- скорости смещения реперов по направлению векторов смещения.

Проведен анализ результатов маркшейдерских наблюдений. Выявлены участки карьера с наличием смещений.

Изменение во времени скоростей смещения характерных участков приборного массива прослеживали путем построения графиков зависимости  $v = f(t)$ , эти графики является основой для установления влияния различных факторов (атмосферных осадков, горных работ, буровзрывных работ и др.) на процесс развития деформаций.

Смещения реперов в вертикальной плоскости (оседания) и горизонтальной (горизонтальные сдвиги) зафиксированы на реперах профильных линий в районе от РЛ1 до РЛ1а. Максимальное оседание величиной 583мм зафиксировано на 12 репере, а максимальное горизонтальное сдвижение (растяжение) отмечено на интервале 1128-12 равное 638мм, скорости максимальных смещений составили соответственно: 4,4 мм/сут и 4,12 мм/сут.