

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ НЕСУЩИХ ТЯГ ПОДЪЕМНЫХ ШАХТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 620.179.14

*А. Кавка*

*ООО «Центр исследования и надзора подземной горной промышленности», г.Лендзины, Польша*

*Я. Юрашек*

*Технико-гуманитарный институт, г.Бельско-Бяла, Польша*

## Введение

ООО «Центр исследования и надзора подземной горной промышленности» (ЦИиНППГ) в качестве эксперта по вопросам работы горного предприятия, уполномоченный Председателем Высшего горного управления, выполняет периодические исследования, связанные с выявлением естественных угроз, а также периодические контрольные исследования и оценку технического состояния машин, оборудования и разного вида конструкций, эксплуатируемых в подземных выработках, а также в горных шахтах (в частности периодические исследования канатов, сосудов, подвесок и подъемных машин, шахтных каперов, оборудования горизонтальной транспортировки, напорных устройств).

Для транспортировки добычи, людей, материалов и оборудования в подземной горной промышленности применяются разного вида подъемные устройства (скипы, рамы, клетки, скипы-клетки). Это в большинстве стальные сварные конструкции грузоподъемностью до  $350kN$  и собственной массой до 30 т.

Главные несущие детали конструкции подъемных устройств соединены несущими тягами. Общие схемы конструкций подъемных устройств указаны на рис.1.

Учитывая появление усталостных трещин несущих тяг, а также, в соответствии с требованиями польских горных правил, не реже чем каждые три года, уполномоченный эксперт должен исследовать и проводить анализ состояния напряжений в несущих тягах подъемных устройств.

После анализа возможностей доступных методов исследования, а также проведения испытаний в условиях работы горных предприятий, ЦИиНППГ решил применить метод магнитной памяти металла для определения ресурса и исследования напряженных состояний в несущих тягах подъемных устройств.

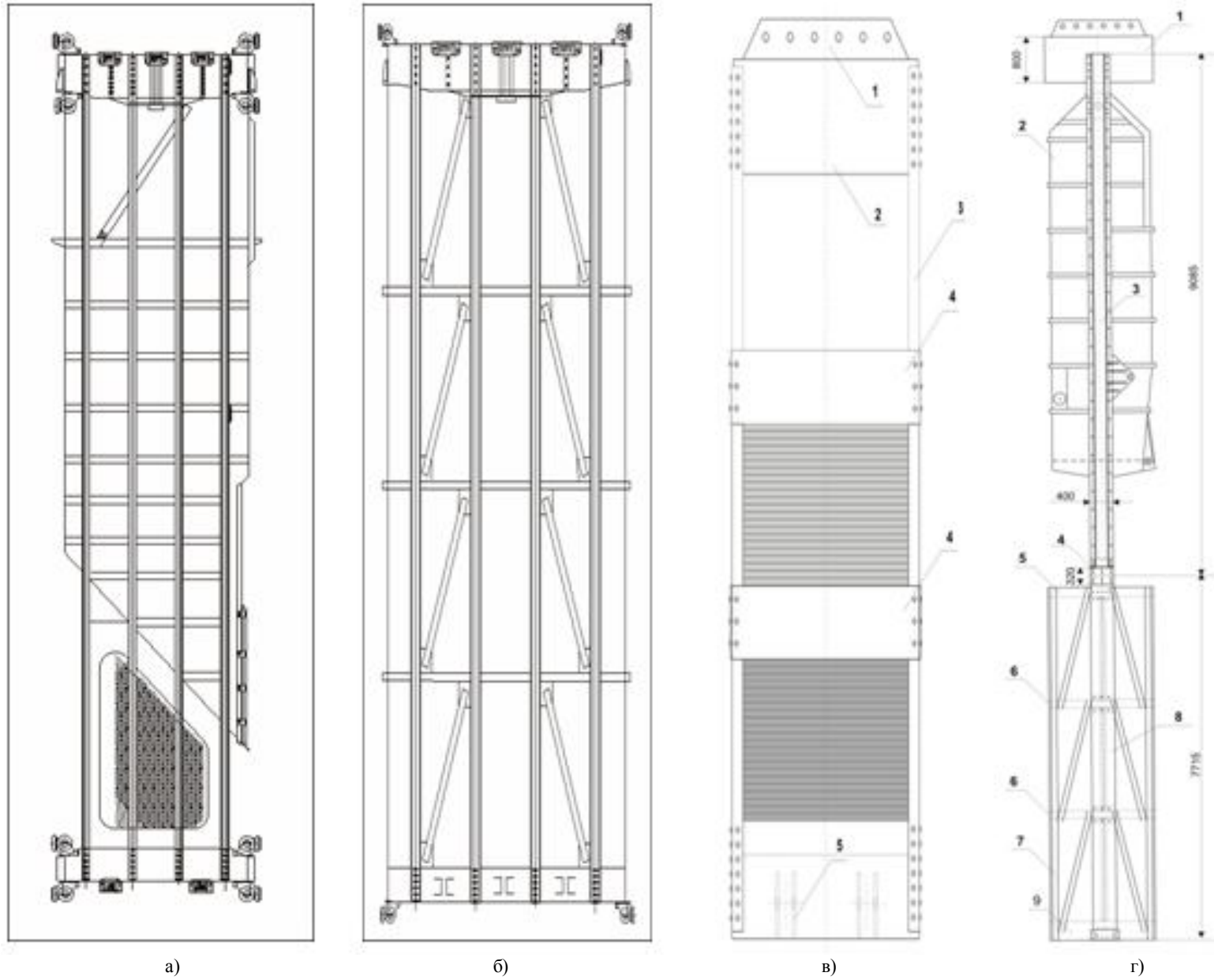


Рис.1. Примеры конструкций подъемных сосудов:  
а – скип; б – клеть четырех этажная; в – противовес; г – скип-клеть

Главной причиной этого решения был факт, что применение метода магнитной памяти металла предоставляет возможность:

- точного определения мест зон концентрации напряжений, представляющих главные источники развития усталостных повреждений;
- определения (с использованием магнитных параметров метода МПМ) максимального усталостного напряженного состояния несущих тяг по отношению к механическим свойствам материала, из которого они выполнены;
- выявление существующих трещин;
- оценочное определение предполагаемого времени безаварийной работы (ресурса) несущих тяг.

### 1. Применяемые магнитные параметры

Для оценки напряженных состояний в несущих тягах подъемных устройств используются типичные магнитные параметры, применяемые в методе МПМ:

**Напряженность собственного магнитного поля рассеяния изделия СМПР,  $H_p$  [А/м]** – это числовое значение напряженности магнитного поля рассеяния, измеренное на поверхности изделия. Основным диагностическим параметром, применяемым в диагностических процедурах метода МПМ, является линия изменения знака нормальной составляющей магнитного поля  $H_p^y$  – линия  $H_p^y=0$ . В результате лабораторных и промышленных исследований установлено, что линия эта определяет зону максимальной неоднородности структуры металла, концентрации дефектов и максимальной концентрации внутренних напряжений.

**Градиент собственного поля рассеяния изделия  $K_{in}$  [А/м<sup>2</sup>]** (магнитный коэффициент интенсивности напряжений) – представляет основной, количественный критерий для этого метода контроля. Это частное модуля разности магнитного поля рассеяния, измеряемого в двух точках контроля и расстояния между этими точками:

$$K_{in} = \frac{|\Delta H_p^y|}{\Delta l},$$

где  $\Delta l$  – расстояние между точками контроля, расположенными на равных расстояниях с обеих сторон линии концентрации напряжений (КН) (линии  $H_p^y=0$ ).

Значение градиента характеризует плотность накопления дислокаций (по ширине и глубине) в зоне концентрации напряжений.

**Предельный магнитный показатель деформационной способности металла ( $m_{gr}$ )** – это отношение максимального значения градиента СМПР, отвечающего пределу прочности металла ( $R_m$ ), к среднему значе-

нию градиента СМГР, отвечающему пределу текучести ( $R_e$ ). Показатель этот определяется в лабораторных условиях для определенного сорта стали.

Из проведенных лабораторных исследований [1, 3] вытекает следующая зависимость между магнитными параметрами  $m_{gr}$ ,  $K_B$ ,  $K_T$  и механическими свойствами металла  $R_m$  и  $R_e$ :

$$m_{gr} = \frac{K_B}{K_T} = \left( \frac{R_m}{R_e} \right)^2.$$

Показатель  $m_{gr}$  характеризует степень упрочнения металла и является магнитной мерой предельного усталостного напряженного состояния материала контролируемого элемента конструкции.

После определения среднего значения градиента из всех зон КН, выявленных во время исследования, выбирают 2-3 зоны КН с самыми большими значениями градиента поля и рассчитывают отношение, являющееся магнитным показателем  $m$ :

$$\frac{K_{in}^{max}}{K_{in}^{sr}} = m.$$

## 2. Ход измерений и анализ результатов

В соответствии с разработанной ЦИиНППП методикой исследований, измерения и анализ напряженных состояний в несущих тягах подъемных устройств охватывает:

- анализ документации шахтного подъемника и технической документации подъемного устройства;
- выполнение измерений и их регистрацию в памяти измерительного прибора;
- анализ магнитограмм, состоящий в
  - определении зон концентрации напряжений в несущих тягах;
  - определении для каждой исследуемой тяги значения магнитного показателя повреждаемости  $m$ , являющегося мерой действительного усталостного напряженного состояния материала тяги в день исследования;
- оценочное определение предполагаемого времени безаварийной работы, опираясь на принятые критерии.

В связи с тем фактом, что метод МПМ применяется ЦИиНППП недавно (оценочное время безаварийной работы несущих тяг превышает время применения этого метода), критерии, применяемые для оценки ресурса несущих тяг, были приняты, опираясь на критерии, предоставленные фирмой «Энергодиагностика», и применяемые для оценки технического состояния конструкции несущих тяг пассажирских лифтов.

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

№ п.п.	Полученные результаты выявленных дефектов	Предполагаемое время безаварийной работы
1	Недопустимых дефектов не установлено (трещины, пластическая деформация и т.д.) $m \leq 0,5m_{gr}$	6 лет
2	Недопустимых дефектов не установлено (трещины, пластическая деформация и т.д.) $0,5m_{gr} \leq m \leq 0,75m_{gr}$	5 лет
3	Недопустимых дефектов не установлено (трещины, пластическая деформация и т.д.) $0,75m_{gr} < m \leq m_{gr}$	3 года
4	Недопустимых дефектов не установлено (трещины, пластическая деформация и т.д.) $m > m_{gr}$	1 год Рекомендация о подробном контроле в ЗКН
5	Появляются недопустимые дефекты (трещины, пластическая деформация и т.д.)	Замена или ремонт

В соответствии с принятыми критериями оценки определение оценочного времени безаварийной работы состоит в сравнении определенного магнитного показателя  $m$ , являющегося мерой действительного усталостного напряженного состояния материала тяги с предельным значением магнитного показателя  $m_{gr}$  для сорта стали, из которой выполнены несущие тяги.

Если  $m$  превышает предельное значение  $m_{gr}$ , то это означает, что материал тяги в предельном состоянии, предшествующему усталостному повреждению.

В связи с тем, что оценочное время безаварийной работы не учитывает:

- ход коррозии исследуемых тяг;
  - аварийных нагрузок, и т.п.,
- к нему необходимо относиться, как к ориентировочному.

Комбинации нагрузок, которые могут воздействовать на подъемный лифт во время эксплуатации, очень разнообразны и сложные, а состоят они в частности из:

- статистических нагрузок, происходящих от веса транспортируемой горной массы или материалов, уравнивающих канатов, собственной массы;
- динамической нагрузки, возникающей во время загрузки и разгрузки (например, продолжающаяся несколько секунд загрузка или разгрузка);

- динамической нагрузки, возникающей во время перемещения лифта в шахте (неравности направляющих путей в шахте);
- динамических нагрузок, появляющихся во время аварийного торможения лифта в шахте;
- конструкционных ошибок и ошибок выполнения, приводящих к образованию зон концентрации напряжений.

В связи с этим, вышеуказанные критерии своевременно проверяются и приспособляются к специфике, а также условиям эксплуатации подъемных устройств.

В данный момент ЦИиНПП ведёт лабораторные исследования, относящиеся к сравнению магнитных параметров, применяемых в методе МПМ, с другими методами исследования, служащими для определения напряженных состояний в конструкционных элементах машин и оборудования.

### 3. Примеры результатов исследования несущих тяг и других стальных конструкций методом МПМ

Ниже представлено несколько примеров результатов измерений (распределение градиента магнитного поля) напряженных состояний в несущих тросах в разного типа подъемных устройствах, а также других стальных конструкциях.

#### 3.1. Результаты исследования несущих тяг скипа 270кН (рис.2)

Как видно из распределения градиента магнитного поля, несущие тросы исследуемого скипа не нагружены равномерно. Установлена заметная концентрация напряжений в нижних отрезках центральных тяг, а также верхних отрезках тяг с северной стороны.

Определенный для центральных тяг максимальный показатель  $m$ , являющийся мерой усталостного напряженного состояния материала тяги составляет:  $m=1,91 < m_{gr}=2,7$ , и в данный момент ниже, чем предельный показатель  $m_{gr}$  (для стали сорта 18G2A), характеризующий стадию упрочнения стали до повреждения.

Это позволяет установить, что в настоящее время состояние усталостного напряженного состояния исследуемых тяг не создает угрозы образования трещин.

В соответствии с примененной методикой и критериями оценки, для определенного значения коэффициента  $m$ , находящегося в пределе:

$$0,5m_{gr} < m \leq 0,75m_{gr}.$$

оценочное время безаварийной работы несущих тяг определено на 5 лет.

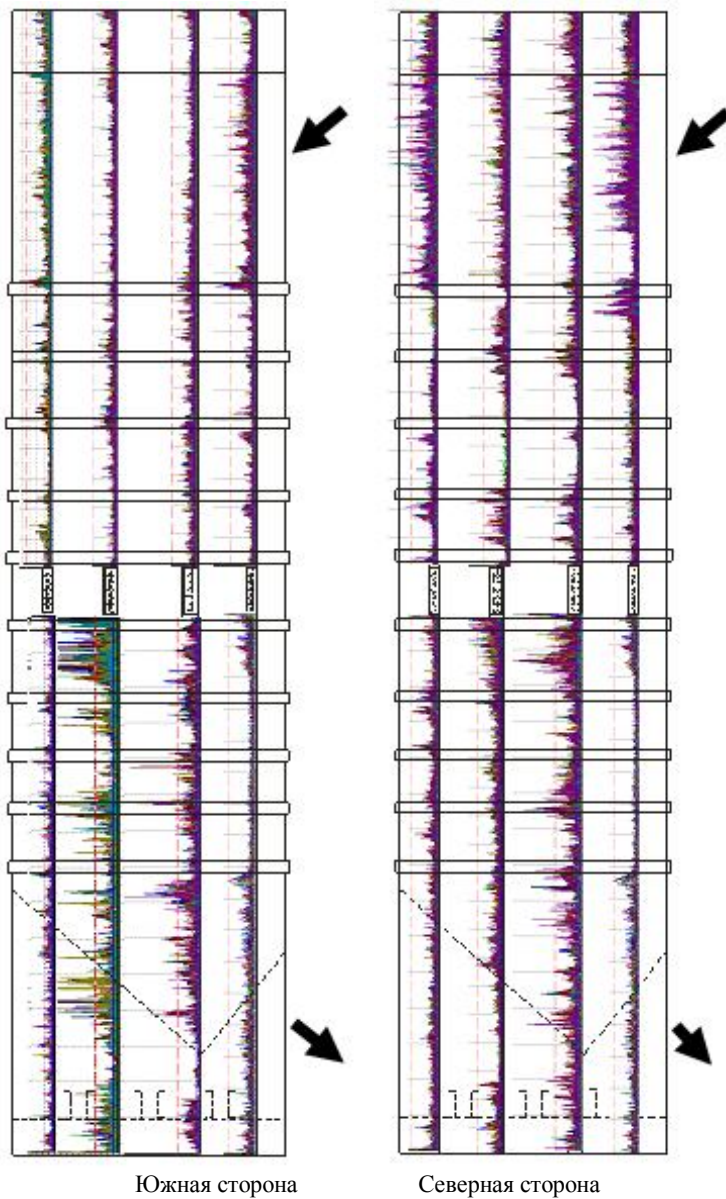


Рис.2. Распределение градиента магнитного поля в несущих тросах скипа 270кN

### 3.2. Результаты исследования несущих тяг скипа-клетки 17/15Mg (рис.3 и 4)

На основании анализа магнитограмм определен максимальный показатель  $m$ , являющийся мерой усталостного напряженного состояния материала тяг:  $m=2,42 > m_{gr}=2,4$ .

В соответствии с принятой методикой и критериями оценки оценочное время безаварийной работы определено на 1 год. Дополнительный контроль УЗК трещин не обнаружил. Выдана рекомендация подробного контроля в местах ЗКН.

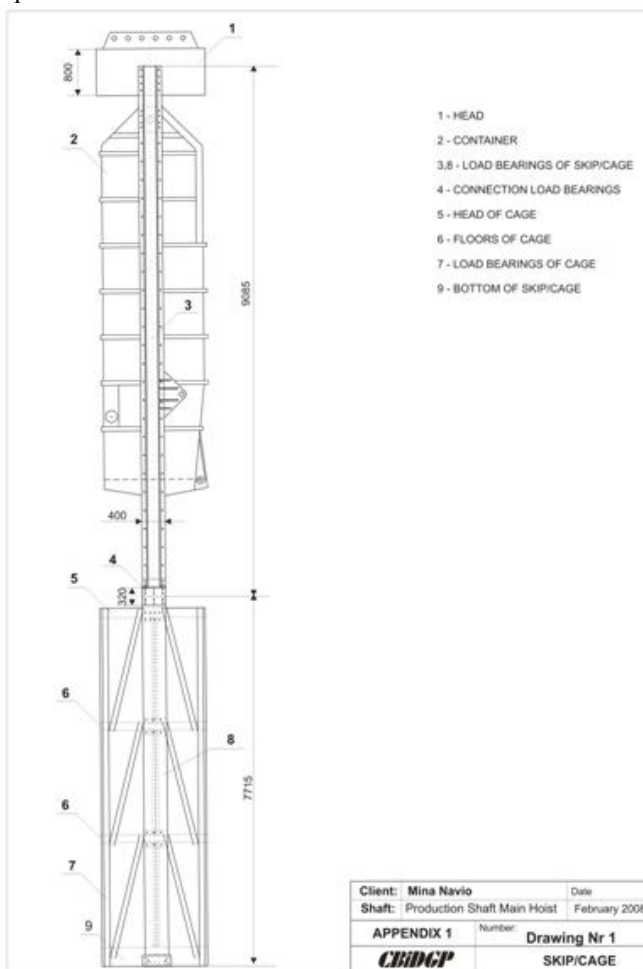


Рис.3. Конструкция скипа-клетки



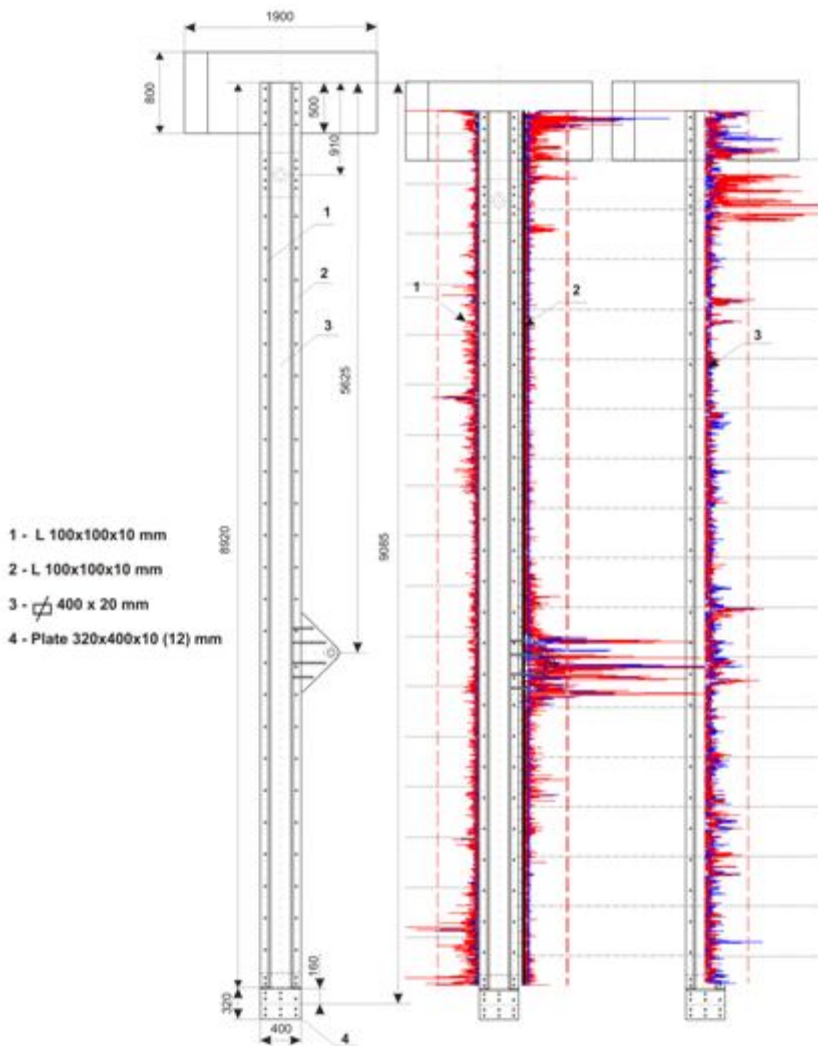


Рис.4. Распределение градиента поля в скиповой части

### 3.3. Примеры применения метода МПМ для исследования других конструкций

#### 3.3.1. Результаты исследования листов ствола скипа

На рис.5 указаны результаты исследования листов ствола скипа 20Mg, соединяющих головку скипа с несущей подвеской. Полученные магнитограммы однозначно указывают на неравномерную нагрузку листов ствола. Большое усталостное напряженное состояние проявляют части листов со стороны противоположной к загрузке. Исследования были использованы при повторной установке вышеуказанных листов после регенерации, то есть были установлены, наоборот, по отношению к предыдущей установке.



Рис.5. Распределение градиента магнитного поля по периметру листов ствола

#### 3.3.2. Исследования стальной дымовой трубы

На рис.6 представлены результаты исследования стальной дымовой трубы. Цель исследования определение зон концентрации напряжений для разработки инструкции по контролю конструкции дымовой трубы. Установлена максимальная концентрация напряжений во втором (центральном) сегменте дымовой трубы, что подтверждают приведенные магнитограммы.

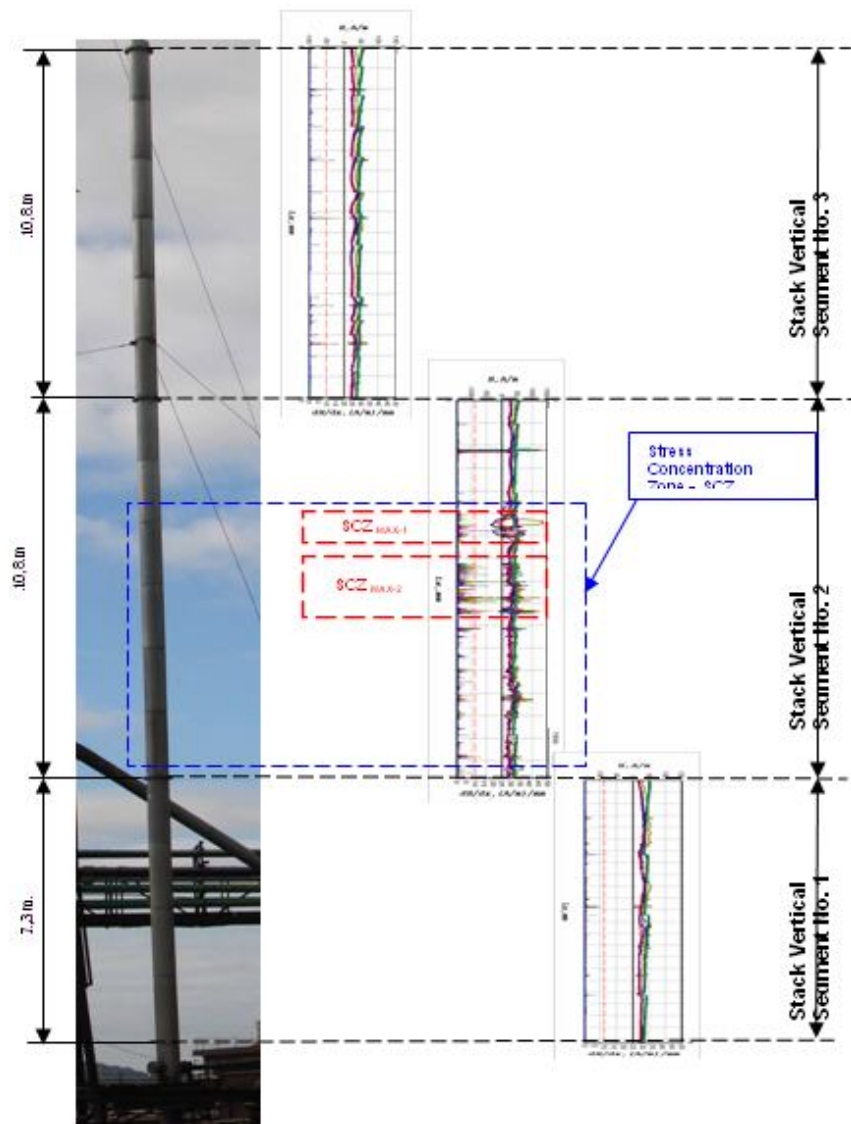


Рис.6. Распределение градиента магнитного поля в конструкции стальной дымовой трубы

### Выводы

На основе существующего опыта можно установить, что применение метода МПМ для исследования состояния напряжений в несущих тягах подъемных устройств позволяет получить ряд существенных информаций, которых не давали до сих пор применяемые методы диагностических исследований, а именно:

- а) определить и установить положение зон концентрации напряжений в несущих тягах, возникших в результате:
  - нагрузок, вызванных неровностями путей перемещения во время подъема лифта в шахте;
  - нагрузок, появляющихся во время загрузки и разгрузки лифта, подъема устройства при замене канатов и подвесок, опускания тяжелых и крупногабаритных материалов по подъемным лифтам, аварийного торможения лифтов в шахте, в капере и зумпфе;
  - неравномерности распределения нагрузок в несущих тягах, вызванных неточностью выполнения подъемного лифта, деформациями элементов, возникшими во время транспорта, установки или во время эксплуатации;
- б) раннюю диагностику усталостных повреждений (трещин) несущих тяг;
- в) определение для исследуемой тяги фактического усталостного напряженного состояния материала с применением магнитных параметров, применяемых в этом методе;
- г) оценочное определение предполагаемого времени безаварийной работы несущих тяг.

На основе проведенных исследований установлено, что главными достоинствами метода МПМ в условиях работы шахтных подъемников являются:

- отсутствие необходимости активного намагничивания, монтажа датчиков, прокладки кабелей и подключения к регистрирующей аппаратуре и т. д.;
- быстрое измерение, без необходимости осуществлять перемещение сосудов по всей длине шахты;
- измерения можно выполнять с мест, приспособленных для контроля подъемных сосудов;
- информация, относящаяся к расположению мест концентрации напряжений в тягах, актуального усталостного напряженного состояния, а также оценочного времени безаварийной работы может быть пригодной пользователю на практике для определения объема контроля подъемных устройств.

### Подведение итогов

Подводя итоги можно установить, что метод МПМ, применяемый для исследования подъемных устройств:

- представляет альтернативу для других методов в объеме диагностики и прогнозирования надежности конструкций подъемных устройств во время эксплуатации;
- он пригоден для исследования технического состояния остальных несущих деталей подъемных устройств, а также сварных соединений;
- может использоваться при неразрушающих исследованиях других машин и оборудования, эксплуатируемых в горной промышленности.

### Библиографический список

1. A.Dubow, A.Radziszewski. Prognozowanie resursu oprzyrządowania z wykorzystaniem metody magnetycznej pamięci metalu – materiały 31-szej krajowej konferencji badań nieniszczących – Szczyrk 2002 – R-10.
2. M.Roskosz. Zastosowanie metody magnetycznej pamięci metalu do badań kół zębatach – Politechnika Śląska w Gliwicach – Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych.
3. A.A.Dubow. Sposób określenia stanu granicznego metalu w obszarach koncentracji naprężeń na podstawie gradientu magnetycznego pola rozproszenia – materiały z II-giej międzynarodowej konferencji „Diagnostyka oprzyrządowania i konstrukcji z wykorzystaniem magnetycznej pamięci metalu – Moskwa 2001. Tłumaczenie – „Resurs” W-wa.
4. A.Dubow. Diagnostyka wytrzymałości oprzyrządowania i konstrukcji z wykorzystaniem magnetycznej pamięci metalu – Dozór techniczny 1/2002 s/14-18, 2/2002. S.37-40.
5. J.Deputat: Podstawy metody magnetycznej pamięci metalu – Dozór Techniczny 2/2002. S.97-105.
6. A.A.Dubow, E.A.Demin. Wyniki badań charakterystyk magneto-mechanicznych metalu próbek z wykorzystaniem metody magnetycznej pamięci metalu. – materiały z I-szej międzynarodowej konferencji „Diagnostyka oprzyrządowania i konstrukcji z wykorzystaniem magnetycznej pamięci metalu” Moskwa, 24-26 lutego 1999. Tłumaczenie „Resurs” W-wa.
7. Ничипурук А.П., Носкова Н.И., Горкунов Э.С., Пономарева Е.Г. Влияние дислокационной структуры, формируемой пластической деформацией, на магнитные и магнитоупругие свойства железа и низкоуглеродистой стали // Физика и металловедение, №12, 1992. С.81-87.
8. A.A.Dubow – Zapytania o fizyczne podstawy metody magnetyczne pamięci metalu – materiały z II-giej międzynarodowej konferencji „Diag-

- nostyka oprzyrządowania i konstrukcji z wykorzystaniem magnetycznej pamięci metalu – Moskwa 2001. Tłumaczenie „Resurs” W-wa.
9. Методические указания по магнитному контролю (метод магнитной памяти металла) металлических конструкций, кранов, подъемных кранов, подъемников. М.: ООО Энергодиагностика, 2007.