

С.Д. Приходченко

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ВНУТРИФАБРИЧНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА**

Рассмотрены предпосылки создания системы поддержки принятия решений; модель, лежащая в ее основе; экспериментальные исследования, уточняющие модель; и описан принцип действия разработанной системы.

Ключевые слова: гидротранспорт, горно-обогатительное предприятие, контроль параметров, автоматизация мониторинга состояния объекта.

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам повышения производительности оборудования горно-обогатительных предприятий, в свете чего на большинстве ГОКов проводятся комплексные мероприятия по повышению КПД оборудования. Такого рода мероприятия включают в себя автоматизацию технологических процессов и агрегатов. Вместе с тем, хотя автоматизация по уже существующим схемам приносит определенный эффект, однако современные условия требуют увеличения производительности одновременно с уменьшением энергопотребления. Для достижения этой цели необходима разработка новых более совершенных методов автоматизации, которые, в свою очередь, требуют построения более достоверных моделей горного оборудования, за счет применения которых можно достигнуть большего эффекта повышения производительности с одновременным повышением экономии энергии.

В тех случаях, когда полностью автоматическая работа оборудования невозможна по тем или иным причинам, на производстве внедряют автоматизированную систему, т.е. систему частично управляемую человеком. Для повышения производительности труда и уровня достоверности принимаемых решений этого человека обычно в программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы встраивают SCADA – инструментальную программу для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени.

В современных источниках обычно указывается, что процесс гидротранспортирования требует именно автоматизированного

управления, при этом разработки SCADA-системы для систем гидротранспорта в данных источниках не велись, что делает актуальной задачу построения SCADA-системы для этих потребностей.

Мощность, потребляемая насосом, не полностью реализуется в машине на полезную работу, но также теряется на преодоление гидравлических сопротивлений, протекание части расхода через уплотнения, механические потери (определяемые трением в сальниках, подшипниках и др.). По сравнению с обычными насосами в шламовых возникают дополнительные сопротивления вследствие взаимодействия твердых частиц с потоком, деградации частиц и других явлений. Наличие дополнительных потерь в насосах для гидросмесей уменьшает их КПД примерно на 10-20% по сравнению с насосами для воды; КПД уменьшается и по мере износа деталей машин.

Отсюда, а также из работ [1, 2], следует, что для диагностики состояния системы гидротранспорта будет достаточно контроля таких параметров, как показаний в реальном времени потребляемой насосом мощности, показаний датчика плотности пульпы и состояния заслонки насоса. Кроме того, нужно знать механические параметры насоса в идеальном состоянии.

Как было показано в работе [1], можно с высоким уровнем достоверности говорить об информативности энергетических сигналов горных машин. В то же время нерассмотренными являются вопросы управления гидротранспортными системами в условиях неустановившегося течения пульпы, динамических изменений ее плотности технологических режимов течения пульпы [3].

Для решения задачи определения амплитудно-частотных характеристик горной машин в целом, и шламовых насосов, как частного их случая, целесообразно применить метод моделирования, описанный в [4].

В рассматриваемой проблеме примем несколько допущений относительно модели агрегата, а именно: все элементы этой машины разделим на сосредоточенные массы и безынертные упругие соединения. Кроме того, предположим, что все соединения в создаваемой математической модели механизма имеют одну степень свободы по аналогии с моделями в [4].

В этом случае динамическую математическую модель механической системы можно назвать эквивалентной схемой.

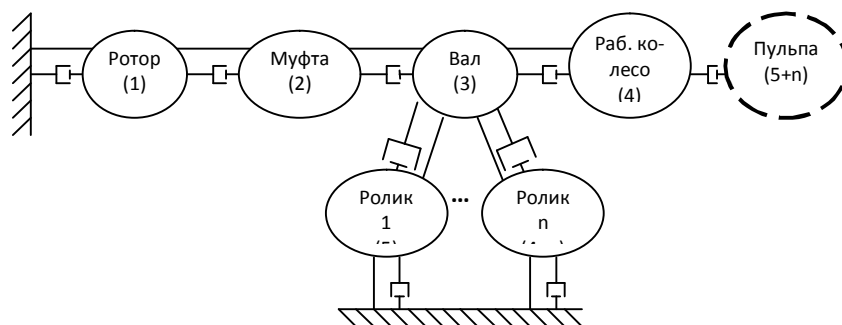


Рис. 1. Упрощенная схема динамической модели насоса 5-ГРк8
(n – общее количество роликов в подшипниках вала)

Структурно она состоит из идеализированных элементов - сосредоточенных масс и безинертных упругих соединений.

Значение параметров этих элементов и схема их соединений однозначно определяет динамические свойства модели.

Используя суммирование масс, определенных в технической документации, получим схему модели шламового насоса 5-ГРк8, приведенную ниже на рис. 1.

В таблице приведены параметры динамической модели шламового насоса 5-ГРк8, изображенной на рис. 1, которые были рассчитаны по формулам приведенным в [4], исходя из данных по насосу, приведенных в [5].

Параметры динамической модели шламового насоса

Номер массы на рисунке	Коэффициент инерции m	Податливость E	Жесткость k	Примечание (обозначение детали)
1	0.688	1	980	Ротор
2	1.455	3.586	0.5	Муфта
3	0.126	2.367	52	Вал
4	28.531	9.467	0.24	Рабочее колесо
5 – 24	1.644	2.879	0.1	Ролики подшипников
25	23.34	0.023	0.021	Пульпа

При использовании всех вышеописанных данных математическая модель системы гидротранспорта будет выглядеть как

$$B5(S) := \frac{1}{H5(S) + \frac{1}{E54(S) + \frac{1}{H4(S) + \frac{1}{E43(S) + \frac{1}{H3(S) + \frac{1}{E32(S) + \frac{1}{H2(S) + \frac{1}{E21(S) + \frac{1}{H1(S)}}}}}}}} \quad (1)$$

$$B54(S) := \frac{1}{E54(S) + \frac{1}{H4(S) + \frac{1}{E43(S) + \frac{1}{H3(S) + \frac{1}{E32(S) + \frac{1}{H2(S) + \frac{1}{E21(S) + \frac{1}{H1(S)}}}}}} \quad (2)$$

где (1) – уравнение колебаний последней массы (роликов подшипников), а (2) – уравнение колебаний упругого безынертного соединения между роликами подшипника и валом насоса.

Аналогично вычисляются модель колебаний для предыдущих звеньев цепи. Для первого звена колебательной системы, модель будет выглядеть

$$B21(S) := \frac{1}{E21(S) + \frac{1}{H1(S)}} \quad (3)$$

$$B1(S) := \frac{1}{H1(S)} \quad (4)$$

где (4) – уравнение колебаний первого звена – приводного двигателя, а (3) – упругого соединения двигатель – муфта.

А модель всей системы будет выражены как система уравнений

$$\left. \begin{aligned}
 P0(S) &:= B1(S) \cdot B10(S) \\
 P1(S) &:= B1(S) \\
 P2(S) &:= B1(S) \cdot B21(S) \cdot B2(S) \\
 P3(S) &:= B1(S) \cdot B21(S) \cdot B2(S) \cdot B32(S) \cdot B3(S) \\
 P4(S) &:= B1(S) \cdot B21(S) \cdot B2(S) \cdot B32(S) \cdot B3(S) \cdot B43(S) \cdot B4(S) \\
 P5(S) &:= B10(S) \cdot B1(S) \cdot B21(S) \cdot B2(S) \cdot B32(S) \cdot B3(S) \cdot B43(S) \cdot B4(S) \cdot B54(S) \cdot B5(S)
 \end{aligned} \right\} (5)$$

где P – передаточные функции, а B – входные функции, рассчитанные по методике [4].

При расчете математической модели, учитывающей заданные параметры, в итоге получена амплитудно-частотная характеристика виброактивности системы гидротранспорта, представленная на рис. 2.

На рис. 2 по оси X показаны частоты в Гц, а по оси Y – относительный вес данных частот в общем распределении. Так, на приведенном рис. 2, согласно расчетам, выделяются 3 основных пика – 0-5 Гц, 25 Гц, 37-41 Гц и заметен пик, равный 108 Гц. Все эти частоты легко объяснимы и предсказуемы: 25 Гц – частота вращения двигателя и основных деталей; 108 Гц – частота вращения роликов подшипников вала; 38 Гц – частота вибрации муфты и 0-5 Гц – частоты, получаемые от взаимодействия рабочего колеса насоса с пульпой.

При введении в модель данных, имитирующих износ роликов подшипников, амплитудно-частотная характеристика вибраций модели изменяется, а именно: частота, вращения роликов повышается, что согласуется со всеми экспериментальными данными.

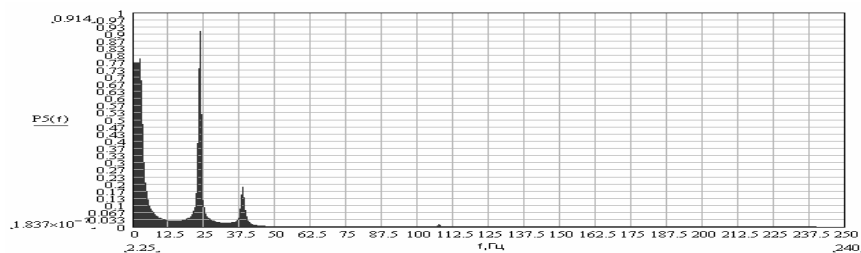


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика вибрационной активности системы гидротранспорта

Из исследования корреляционной матрицы спектра сигнала потребляемой мощности приводного электродвигателя можно сделать вывод, что плотность пульсы обратно пропорциональна подавляющему большинству элементов спектра потребляемой мощности, а положение заслонки обратно пропорционально влияет на такие частоты в спектре как 125 Гц, 44 Гц, 38 Гц и 32 Гц. Кроме этого, можно заметить взаимосвязи между частотами самого спектра, что может быть обусловлено как характерными особенностями процесса, так и – что особенно важно для эксперимента – зависимостью спектральных характеристик от параметров механизма.

В исследуемом насосе 5-ГРк8 есть такие движущиеся детали, как рабочее колесо насоса, соединительный вал, ротор двигателя и подшипники. Частота вращения ротора, соединительного вала и рабочего колеса совпадает и составляет 12.1 Гц. В подшипниках стандарта 3536 находятся ролики диаметром 35 мм, что составляет 7/60 от диаметра вала, с которым подшипник непосредственно контактирует. Отсюда следует, что частота вращения роликов данных подшипников составляет 103 Гц. При этом необходимо учитывать тот факт, что все движущиеся детали привода гидротранспортной системы могут создать колебания не основной частоты, что может являться как следствием неточной установки, так и следствием износа данной детали.

Результатами, проведенного в условиях Полтавского ГОКа эксперимента, большинство из вышеописанных частот были экспериментально подтверждены, что дает возможность говорить о достоверности разработанной математической модели и соответствии ее реальным данным.

Автоматизация мониторинга состояния объекта возможна как путем различного рода статистических анализов спектральных плотностей поступивших сигналов, так и путем применения в анализе состояний некоторых элементов и методов искусственного интеллекта, таких как искусственные нейронные сети и экспертные системы.

Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) в процессе мониторинга позволяет избежать сложного и длительного моделирования объекта, свойства которого необхо-

димо контролировать. Вместо моделирования достаточно обучить нейронную сеть распознавать состояния объекта на примерах поступающих с объекта сигналов.

Другим путем развития систем искусственного интеллекта, применяемых в настоящее время в промышленности, является применение специализированных экспертных систем, которые в процессе работы имитируют логические предпосылки, рассуждения и выводы человека-эксперта в данной области. В основе всех экспертных систем используется набор фактов и правил обработки этих фактов, накопленных и формализованных экспертом, называемый базой знаний. В качестве алгоритма работы экспертных систем применяется причинно-следственный анализ и обработка информации базы знаний.

Задачи диагностики, в отличие от задач мониторинга, более сложны, т.к. предусматривают не только контроль состояния объекта в целом, но и контроль состояния отдельных узлов и механизмов наблюдаемого объекта, а также прогнозирование состояния технологического процесса в целом, объекта и его узлов.

Подытоживая, можно отметить, что для анализа функционального состояния контролируемого объекта представляется перспективным использование, как статистических методов обработки сигналов, так и методов, использующих парадигмы искусственного интеллекта. Так как в настоящее время развитие вычислительной техники идет по пути параллельной обработки информации, то есть более перспективным является подход, при котором для анализа поступающих сигналов будут параллельно задействованы как статистические, так и методы искусственного интеллекта.

При таком подходе представляется возможной перекрестная проверка результатов различных вариантов анализа, что сведет вероятность ошибки распознавания состояния к минимуму, и, как следствие, повысит надежность систем контроля.

Таким образом, для решения данной проблемы, необходимо построить программно-аппаратный комплекс, объединяющий в своем составе все вышеописанные компоненты. Для осуществления этой задачи составим укрупненную блок-схему работы разрабатываемого комплекса (представлена на рис. 3).



Рис. 3. Укрупненная блок-схема работы программно-аппаратного комплекса

Для полноценного функционирования разрабатываемой системы в ее базе данных должно содержаться такое количество примеров, которое бы содержало от 70% до 90% возможных состояний сигналов, их описания, а также предлагаемые варианты решений диспетчера по данному сигналу, которые система могла бы предложить в качестве управляющих воздействий на технологический процесс. Эти данные могут быть получены как эмпирическим путем – запись сигналов непосредственно технологического процесса и запись действий диспетчерской службы на эти сигналы, так и путем моделирования - запись сигналов математической модели процесса с предполагаемыми воздействиями диспетчера. Оба

пути недостаточно совершенны: эмпирический – по причине трудновоспроизводимости всех возможных вариантов сигналов, особенно аварийных, а моделирование возможно сопряжено с неполным учетом различных параметров модели и, как следствие, недостаточной точностью. Поэтому для заполнения базы данных примеров сигналов необходимо использовать оба метода, а также дополнительную запись примеров сигнала непосредственно в процессе функционирования SCADA-системы.

Разработанная SCADA-система функционирует на основе методов распознавания и методов искусственного интеллекта, основанных на использовании примеров для построения выводов и рекомендаций к действиям человека-диспетчера.

Для обеспечения работы SCADA-системы строится база знаний, в которую заносится ряд примеров – образцов сигнала гидротранспортной системы, варианты действий диспетчера, как реакции на ситуацию, описанную сигналами и оценка верности этих действий.

Для этого на начальном этапе по образцовой математической модели гидротранспортной системы в базу знаний вносятся образцы сигналов, полученные путем моделирования, и предполагаемые эталонные действия диспетчера, как реакции на данные образцы сигналов, при этом каждый сигнал относится к одному из классов, например: «Нормальная работа», «Предаварийный режим», «Авария» и т.п., а также предполагаемое действие диспетчера в ответ на данный сигнал, например, в ответ на сигнал об аварии в проводке насоса необходимо отключение этого насоса. Кроме того, каждому из методов присваивается собственный вес, отображающий верность выводов данного метода. В процессе работы веса методов могут изменяться в зависимости от верности их выводов, т.е. чем правильнее ответы будут у данного метода, тем выше будет его вес в принятии консолидированного решения системы. На следующем этапе – этапе обучения – SCADA-система работает в режиме «ученика»: сравнивает реальные сигналы гидротранспортной системы со смоделированными сигналами и, в случае достаточного подобия, модифицирует сигнал, либо же вносит в базу знаний новый образец. При этом SCADA-система отслеживает действия диспетчера и их правильность, т.е. записав действие диспетчера в базу, программа через определенные промежутки времени контролирует состояние гидротранспортной системы, и, если сигналы соответст-

вуют нормальной работе, программа принимает решение оценить предпринятое действие, как верное.

На этапе внесения в базу знаний данных, полученных на модели, были созданы и внесены в базу знаний 100% возможных состояний гидротранспортной сети и сигналы, соответствующие этим состояниям. При этом, при корректировке базы знаний в режиме «ученика», не всегда представляется возможным записать все аварийные либо предаварийные сигналы по причинам предъявляемым техникой безопасности. Поэтому, при накоплении нужного, по мнению эксперта-учителя, но необязательно 100% полного объема реальной информации о возможных состояниях и ответных действиях диспетчера, разработанную SCADA-систему рекомендуется перевести в основной режим работы – режим распознавания и поддержки принятия решений диспетчерской службы.

На основном этапе работы, заключающемся в анализе сигналов и выдаче рекомендаций диспетчеру, над сигналом сначала проводится статистический и спектральный анализы, а затем каждый из методов анализирует полученный сигнал и результаты предварительных анализов, сравнивает их с аналогичными результатами эталонных сигналов, и выдает ответ, относя полученный сигнал к одному из классов сигналов. После этого все результаты методов анализа умножаются на «весомость» данного метода, и результаты суммируются для получения итогового ответа. По результатам итогового ответа методов распознавания сигналов диспетчеру предлагается совершить то или иное управляющее действие или решение.

Таким образом, разработанная система [5] способна к распознаванию поступающих от гидротранспортной системы сигналов в режиме реального времени и давать рекомендации к действию диспетчеру, контролирующему работу системы внутрифабричного гидротранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приходченко С.Д. Зависимость спектра потребляемой мощности электродвигателя от физических параметров механизма. // Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. работ. Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 64. – с. 123-129.
2. Звягильский Е.Л., Блюсс Б.А., Назимко Е.И. Семенов Е.В. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения. – Севастополь: «Вебер», 2002., - 247 с.

3. Приходченко С.Д. Анализ современных моделей гидротранспортных систем //Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ, НГУ, 2007 – вип 78. – с. 56-62.

4. Динамика проходческих комбайнов. Бреннер В.А. и др., М.: Машиностроение, 1977, 224 с.

5. Приходченко С.Д. Разработка SCADA-системы для внутрифабричного гидротранспорта //Збірник наукових праць Національного гірничого університету – Дніпропетровськ, НГУ, 2008 – вип 30. – с. 135-141. **ПІАБ**

S.D. Prihodchenko

THE SYSTEM OF EXECUTIVE DECISION MAKING SUPPORT FOR IN-FACTORY HYDROTRANSPORT SYSTEM

In article decision-making support system creation preconditions are considered; the model lying in its basis; experimental researches specifying model; the developed system action principles also is described.

Key words: hydrotransport, the mountain-concentrating enterprise, the control of parametres, automation of monitoring of a condition of object.

Коротко об авторе

Приходченко С.Д. – Национальный горный университет Украины, каф. программного обеспечения компьютерных систем, sergejpr@mail.ru , sergejpr2@gmail.com, ICQ 6636-7505

