

УДК 621.2.076

**В.М. Кравченко<sup>1</sup>, В.А. Сидоров<sup>2</sup>, В.В. Буцукин<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Приазовский государственный технический университет<sup>2</sup> Донецкий национальный технический университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТОВ

**Аннотация.** На основе данных, полученных при проведении ремонта скиповой лебедки и технической диагностики ее привода, выполнен анализ эффективности технических и организационных решений, принятых в ходе подготовки и собственно ремонта.

**Ключевые слова:** лебедка скиповая, ремонт, вибрационная диагностика, оценка эффективности.

## MECHANICAL EQUIPMENT TECHNICAL STATE INFORMATION USE AT REPAIRS CONDUCTION

**Abstract.** On the basis of information, got during conducting of repair of skip winch and technical diagnostics of its drive the analysis of efficiency of technical and organizational decisions, accepted during preparation and actually repair is executed.

**Keywords:** skip winch, repair, vibration diagnostics, estimation of efficiency.

Одним из основных терминов в области организации ремонтов является «система технического обслуживания и ремонта техники». ГОСТ 18322-78 устанавливает, что это – совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта, а также исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему. Недостатком данного определения является, на взгляд авторов, отсутствие в определении упоминаний о техническом состоянии оборудования, которое и определяет необходимость проведения ремонта или технического обслуживания. По ГОСТ 19919-74 техническое состояние объекта определяется как состояние, которое характеризуется в определенный момент времени и при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект. Этот термин так же вызывает сомнения в части установленных значений параметров, полноты технической документации и критериев, регламентирующих режимы работы, признаков патологического старения, ресурса деталей и т.д.

Несмотря на неопределенность основополагающих терминов, ремонты оборудования проводились и будут проводиться с различной эффективностью. Основная проблема низкой эффективности проводимых ремонтов – недостаток информации о техническом состоянии, неправильное обоснование необходимости проведения ремонта, неверно выбранные сроки и объемы проведения ремонта и неправильное использование информации о фактическом состоянии деталей и узлов в процессе проведения ремонта.

Помимо вышеупомянутых стандартов, проблеме эффективной организации ремонтов и технического обслуживания оборудования посвящено значительное

число работ [1 – 3]. Основываясь на них, можно выделить следующую последовательность проведения ремонта, распространенную в области технического обслуживания тяжелого и уникального оборудования:

1. Обнаружение симптомов неисправности: сообщения технологического или дежурного персонала, результаты осмотра оборудования и технического диагностирования.
2. Определение причины неисправности, вида повреждения.
3. Принятие решения о выполнении ремонтных работ.
4. Подготовка материальных и трудовых ресурсов, определение времени проведения ремонта.
5. Остановка и ремонт оборудования.
6. Операции по регулировке и настройке механизма.
7. Проведение пробных запусков механизма и, при необходимости, дополнительных ремонтных воздействий.

В работе на основе данных, полученных при проведении ремонта скиповой лебедки и последующей технической диагностики ее привода, выполнен анализ эффективности технических и организационных решений, принятых в ходе подготовки и собственно ремонта.

Введем несколько терминов, используемых в дальнейшем. Несвоевременный ремонт – ремонт, приводящий к снижению эффективности работы оборудования. Лучше ремонт провести на час раньше, чем на минуту позже отказа. Поведение оборудования должно быть предсказуемым и управляемым. Необоснованный ремонт – ремонт, выполняемый без должного обоснования, может вызвать, фактически, повреждение оборудования даже без учета возможных ошибок монтажа.

Обоснованием необходимости проведения ремонта является обеспечение отсутствия повреждений смежных с ремонтируемой деталей. Этот принцип следует использовать при разработке нормативов работоспособного состояния узлов механического оборудования. В процессе проведения ремонта необходимо подтвердить устранение причины ухудшения технического состояния. Установить данную причину возможно при визуальном осмотре. Оценка качества проведенного ремонта должна определять степень улучшения технического состояния (уровня работоспособности) изделия.

При проведении ремонта скиповой лебедки ЛС-22,5-1 доменной печи выполнено вибрационное обследование механизма. Проводились измерения общего уровня и частотной формы вибрационного сигнала. Расположение контрольных точек показано на рис. 1. Результаты измерений параметров общего уровня вибрации приведены в табл. 1. Измерения проводились при подъеме правого и левого скипов. Большие значения параметров вибрации отмечены при подъеме левого скипа.

Анализ полученных данных при измерении общих параметров вибрации позволил сделать следующие предварительные выводы:

- по линии первого привода (со стороны доменной печи) подшипниковые узлы в точках 1.2 и 1.4 имеют почти двукратное изменение пикового значения виброускорения при изменениях режима работы;
- по линии второго привода (со стороны рудного двора) подшипниковые узлы 2.1 – 2.6 имеют двух-пятикратное изменение значений виброускорения и виброускорения при изменениях режима работы;
- причины различия в вибрационном состоянии скиповой лебедки: ослабление посадки под-

шипников, односторонние повреждения рабочей поверхности зубчатых передач, ослабление резьбовых соединений.

В спектрограмме виброскорости подшипниковой опоры 2.4 имеются: значительный пик 5,2 мм/с на оборотной частоте, составляющие на частотах 94, 99, 122, 137 Гц – до 1,4 – 1,8 мм/с, связанные с большими зазорами, повреждениями в подшипнике, нарушениями посадки и затяжки резьбовых соединений. В спектрограммах виброускорения признаки значительных повреждений подшипников (рис. 2) отсутствуют, уровень составляющих не превышает 1,6 м/с<sup>2</sup>.

Подшипниковая опора 2.5 имеет средней тяжести повреждения. Включает также колебания до 1,6 мм/с на частоте вращения промежуточного вала (2,5 Гц), что указывает на отклонения в работе зубчатой передачи промежуточный вал – барабан. Значения составляющих виброускорения по подшипниковой опоре 2.5 не превышают 0,5 м/с<sup>2</sup> (рис. 3).

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Техническое состояние скиповой лебедки плохое, необходимо проведение ремонта.
- Возможные неисправности: ослабление резьбовых соединений, износ посадочных мест подшипников, начальная степень повреждений подшипников качения.
- Рекомендуется уточнить степень повреждения элементов, в частности зубчатых передач, после осмотра и дефектации во время полной разборки механизма. Необходимо восстановление посадочных мест и замена подшипников по линии второго привода.

При обследовании характера износа деталей и узлов скиповой лебедки доменной печи выполнялся визуаль-

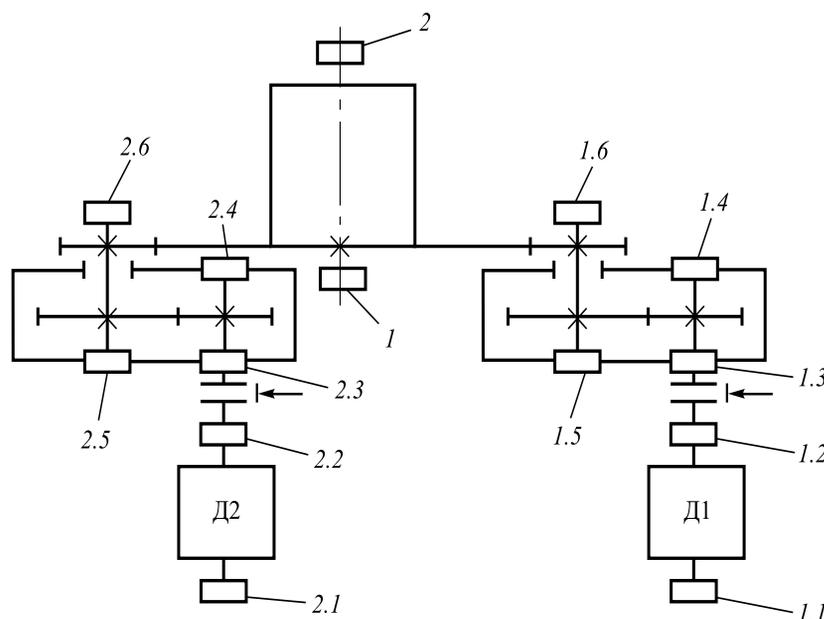


Рис. 1. Расположение точек измерения вибрации

Среднеквадратичное значение виброскорости и виброускорения в частотном диапазоне 2 – 400 (10 – 4000) Гц для контрольных точек до ремонта

Точка измерения	Среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с	Виброускорение а-пик/а-скз м/с <sup>2</sup>	Точка измерения	Среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с	Виброускорение а-пик/а-скз м/с <sup>2</sup>
1.1	0,9 1,3	0,7/3,0 0,5/2,1	2.1	9,6	6,2/25,1
1.2	2,0 2,9	1,3/8,7 1,1/6,9	2.2	4,4	2,9/15,3
1.3	1,5 1,4	0,7/3,2 0,7/3,9	2.3	4,1 1,5	1,5/7,3 4,5/35,5
1.4	1,4 2,0	1,2/7,4 0,8/3,1	2.4	15,7 6,4	4,2/16,2 9,7/55,1
1.5	1,6 2,9	1,5/5,5 0,8/3,8	2.5	4,8 2,3	1,6/5,9 3,3/12,7
1.6	0,9 1,2	0,7/3,3 0,5/2,6	2.6	10,0 1,8	1,0/5,3 5,0/21,2
1	0,9 1,3	0,4/1,9 0,7/3,3	2	1,1	0,5/2,2

Примечание. 1. Допустимое значение виброскорости для опор электродвигателя по ГОСТ 20815-93 – 2,8 мм/с.

2. Допустимое значение виброскорости для подшипниковых опор скиповой лебедки – 7,1 мм/с по ГОСТ 10816-1-97.

3. Допустимое значение виброускорения для подшипниковых опор двигателя и скиповой лебедки – 9,8 м/с<sup>2</sup> исходя из опыта эксплуатации аналогичных механизмов.

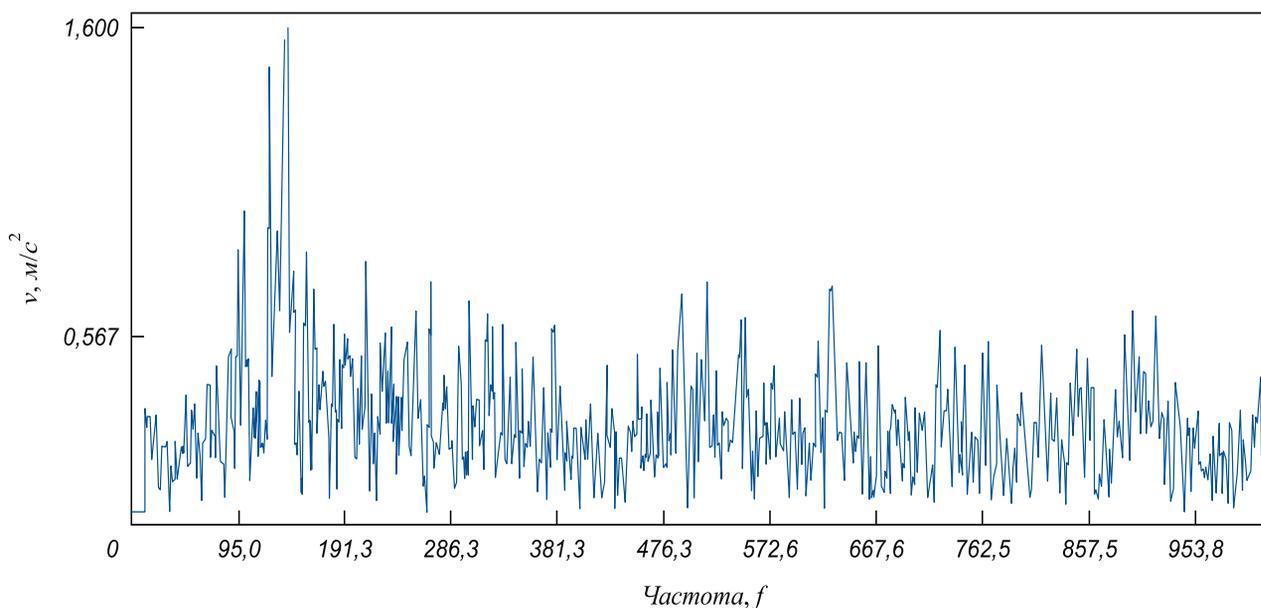


Рис. 2. Спектрограмма виброускорения в точке 2.4 до ремонта

ный осмотр и фотографирование узлов скиповой лебедки: зубчатых передач, посадочных мест подшипников, деталей подшипников.

Приводная шестерня барабана на промежуточном валу первой линии привода имеет задиры, повреждения рабочей поверхности в верхней части зуба (рис. 4).

Зубчатый венец барабана имеет неравномерный износ составляющих шевронной передачи. Отмечен нео-

динаковый износ боковых поверхностей зуба и образование уступа на одной из поверхностей. Общий износ зуба по толщине – 15 %.

Шестерня быстроходного вала второй линии привода имеет наплывы на вершине зуба (рис. 5). Пластические сдвиги наблюдаются у тяжело нагруженных зубчатых колес. На поверхности таких зубьев при перегрузке появляются пластические деформации с последующим сдвигом.

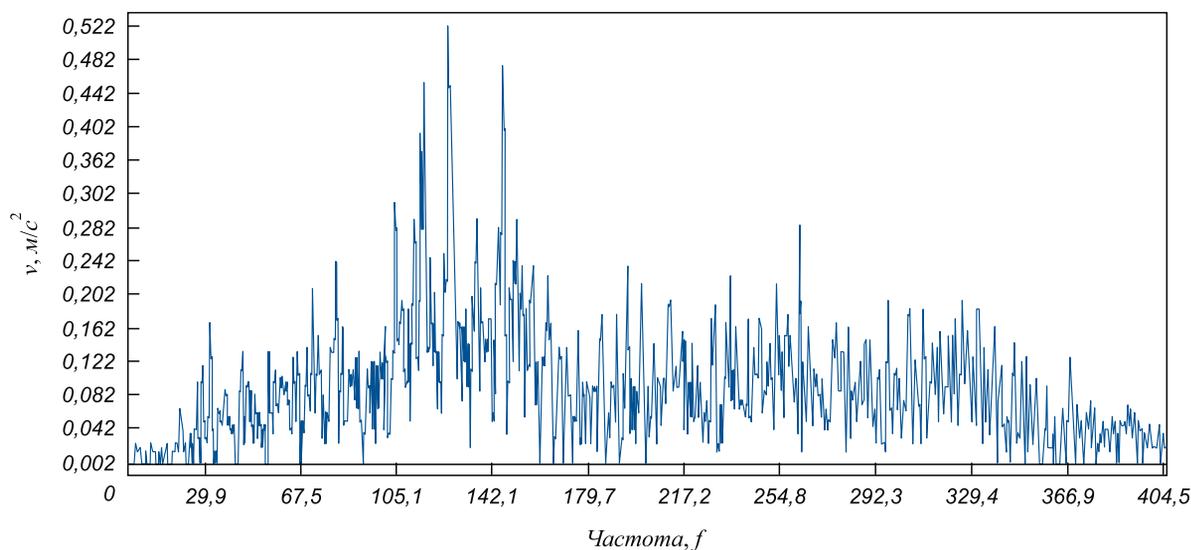


Рис. 3. Спектрограмма виброускорения в точке 2.5 до ремонта



Рис. 4. Шестерня быстрогоходного вала первой линии привода



Рис. 6. Шестерня промежуточного вала второй линии привода



Рис. 5. Шестерня быстрогоходного вала второй линии привода

Колесо промежуточного вала имеет значительный (до 20 %) износ зуба, неодинаковый по поверхностям, смятие и выкрашивание на рабочей поверхности. Приводная шестерня барабана на промежуточном валу вто-

рой линии привода имеет задиры, повреждения рабочей поверхности в верхней части зуба, неравномерный износ его боковых поверхностей (рис. 6). Задиры зубьев возникает при нарушении сплошности масляной пленки, в случае появления металлического контакта между рабочими поверхностями зубьев и сопровождается нагревом металла вплоть до сваривания микрообъемов металла. Это приводит к появлению борозд, расположенных на рабочей поверхности зубьев, перпендикулярно оси колеса.

Посадочные места подшипников имеют значительный износ поверхности, следы рифлений и проворота подшипников. На подшипниковой опоре 2.4 возможна трещина в опоре (рис. 7).

Внешние кольца подшипников видимых повреждений не имеют. На наружной поверхности внешних колец отмечены следы проворота. Наибольшая интенсивность проворачивания – на подшипнике 2.4 (рис. 8).

Внутренние поверхности внутренних колец подшипников имеют следы фреттинг-коррозии (рис. 9), возникающей при микроперемещениях сопрягаемых поверхностей. Причина – ослабление посадки подшип-



Рис. 7. Износ посадочной поверхности подшипниковой опоры 2.4



Рис. 9. Фреттинг-коррозия внутренней поверхности внутреннего кольца подшипника



Рис. 8. Износ наружной поверхности внешнего кольца подшипника 2.4



Рис. 10. Окислительный износ беговой дорожки внешнего кольца подшипника 2.4

ника на валу. Следствие – появление ударных нагрузок, ускоренный рост усталостных трещин.

Беговые дорожки подшипников имеют окислительный вид изнашивания (рис. 10), тела качения и сепараторы не имеют видимых значительных повреждений.

По результатам визуального осмотра необходимо было выполнить корректировку объема ремонтных работ, осуществить восстановление посадочных мест, замену зубчатых колес, затяжку резьбовых соединений. Однако из-за неверно выбранного времени проведения ремонта эти работы не выполнялись. Проведена замена подшипников валов редукторов.

Качество проведенного ремонта определено при вибрационном обследовании лебедки после ремонта. Результаты измерений параметров общего уровня вибрации приведены в табл. 2. Значения параметров вибрации не изменились. Основные причины вибрации – износ посадочных мест подшипниковых опор, износ рабочих поверхностей зубчатых передач не устранены.

Спектрограммы виброускорения подшипниковых узлов 2.4, 2.5 (рис. 11, 12) остались без изменения. Организация ремонта не обеспечила эффективного восстановления работоспособности скиповой лебедки.

**Выводы.** При проведении рассмотренного ремонта не были в полной мере учтены результаты предварительной (до ремонта) вибродиагностики узлов привода скиповой лебедки, подтвержденные результатами визуального осмотра узлов в период ремонта. Это отрицательно сказалось на эффективности ремонта. Проведенные мероприятия не обеспечили, как показала послеремонтная вибродиагностика привода лебедки, нормализации его технического состояния.

Подтверждена актуальность известного положения о том, что необходимость проведения ремонта или технического обслуживания должна базироваться на максимально точной и объективной информации о техническом состоянии оборудования. При обосновании необходимости проведения ремонта и его планировании

Таблица 2

**Среднеквадратичное значение виброскорости и виброускорения в частотном диапазоне 2 – 400 (10 – 4000) Гц для контрольных точек после ремонта**

Точка измерения	Среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с	Виброускорение а-пик/а-скз м/с <sup>2</sup>	Точка измерения	Среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с	Виброускорение а-пик/а-скз м/с <sup>2</sup>
1.1	3,6	1,8/6,3	2.1	3,8	1,3/4,9
	2,5	1,3/4,4		7,4	5,9/16,2
1.2	5,1	1,3/6,0	2.2	12,0	8,4/26,4
	2,8	1,5/5,2		3,0	1,6/6,1
1.3	3,7	1,3/4,3	2.3	3,1	1,4/5,4
	2,0	0,9/2,9		4,7	6,0/24,0
1.4	4,9	2,3/8,0	2.4	13,8	10,1/35,4
	3,5	1,8/5,3		6,1	4,1/13,3
1.5	5,6	1,9/6,2	2.5	2,6	1,1/4,3
	2,0	1,0/3,5		5,8	4,9/16,0
1.6	1,5	0,6/2,6	2.6	4,3	2,9/11,6
	2,0	1,1/3,1		0,6	0,6/1,5

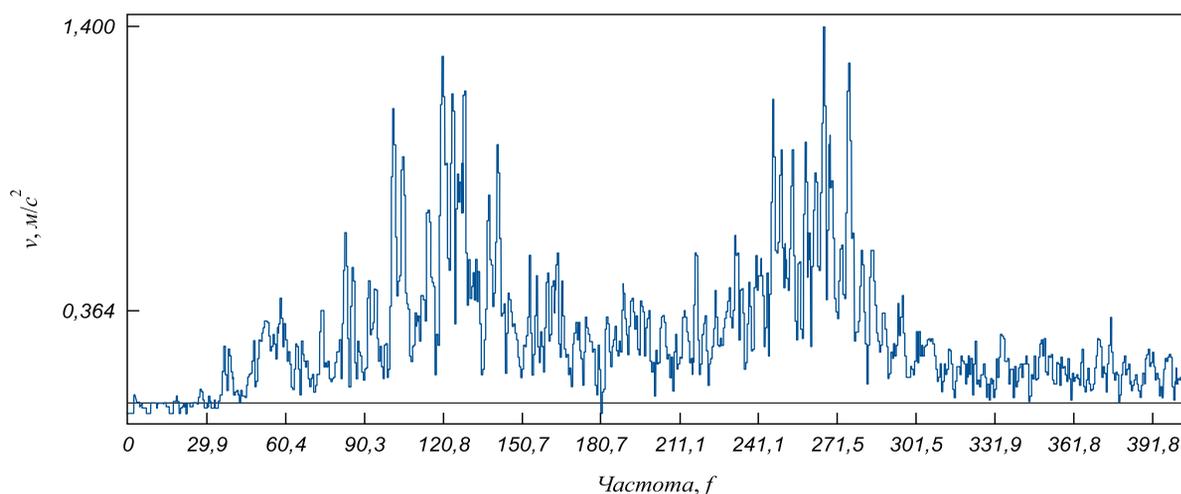


Рис. 11. Спектрограмма виброускорения в точке 2.4 после ремонта

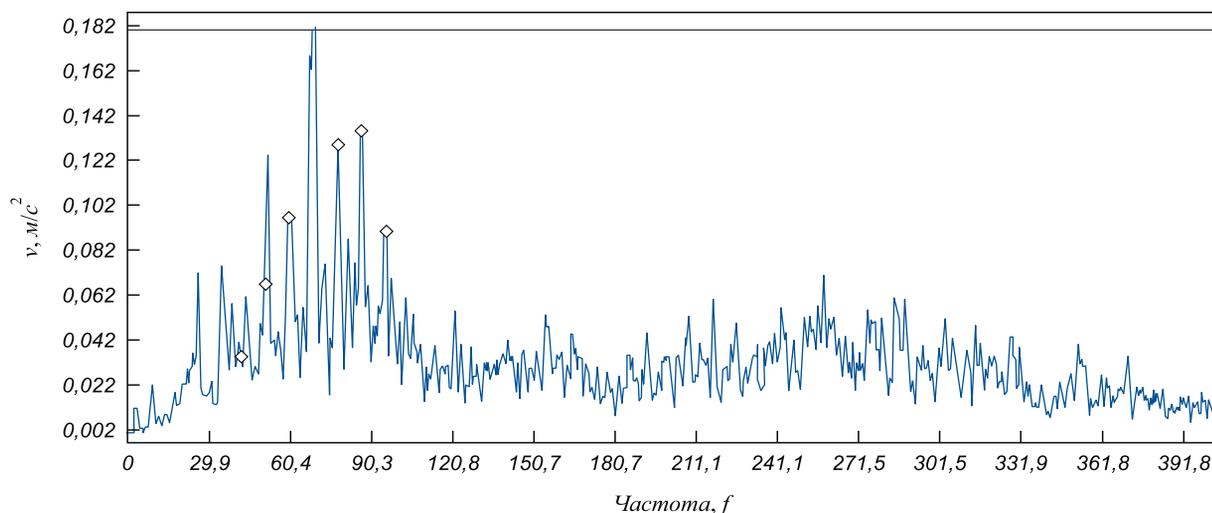


Рис. 12. Спектрограмма виброускорения в точке 2.5 после ремонта

необходимо обеспечение принципа неповреждения деталей, смежных с ремонтируемым узлом.

Оценка качества проведенного ремонта должна определяться на основе оценки степени улучшения технического состояния (уровня работоспособности) изделия с использованием, в том числе, методов вибродиагностики.

Дальнейшие исследования необходимо вести в направлении разработки формализованной процедуры сбора информации о фактическом состоянии оборудования с применением приборных методов технической диагностики и учета указанной информации в процедурах планирования объемов и сроков ремонтных работ, а также оценки их качества.

УДК 669.041: 536.331.001.573

*Р.П. Коптелов, Г.К. Маликов, В.Г. Лисиенко*

Уральский федеральный университет

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЗОН

**Аннотация.** Проведено численное сравнение известных методов вычисления угловых коэффициентов при различном взаимном расположении поверхностей. Предложен простой критерий, который позволяет оценить погрешность вычисления угловых коэффициентов априори. Предложен алгоритм априорного выбора метода и количества узлов интегрирования до вычисления угловых коэффициентов. Алгоритм позволяет существенно сократить время вычисления угловых коэффициентов путем использования минимального количества узлов интегрирования, обеспечивая при этом желаемую точность для каждой конкретной пары поверхностей.

**Ключевые слова:** теплообмен излучением, угловые коэффициенты, интегрирование.

## INTEGRATION PARAMETERS VALUATION FOR SURFACE ZONES RADIATION ANGLE COEFFICIENT COMPUTATION

**Abstract.** The well known methods for view factor calculation are compared numerically for various geometric arrangements. Simple criterion is introduced that allows one to estimate the error in the computed view factor a priori. The algorithm for choosing the integration method and number of nodes before calculation of a view factor is proposed. The algorithm allows one to save much computation time by always using minimum number of nodes for each pair of surface zones and insures a desired accuracy.

**Keywords:** radiative heat transfer, view factors, integration.

Детализированные расчеты высокотемпературных энергетических агрегатов и печей требуют все более точных моделей теплообмена излучением [1, 2]. Моделирование теплообмена излучением требует вычисления большого числа угловых коэффициентов излучения, в том числе между ограничивающими поверхностями сетки. В ряде случаев (электрические печи сопротивления, индукционный нагрев, печи с радиационными трубами и с защитной атмосферой, охлаждение на адьюстаже и др.) наличием среды между поверхностями можно пренебречь.

В отсутствие поглощающей и рассеивающей среды на пути излучения тепловой поток на поверхность  $i$  с использованием зонального метода может быть записан следующим выражением [1]:

$$Q_i = A_i \sum_{j=1}^M F_{ij} \int_0^{\infty} (J_{\lambda,i} - J_{\lambda,j}) d\lambda, \quad (1)$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Диагностика и динамика прокатных станов / В.В. Вернев, В.И. Большаков, А.Ю. Путники и др. – Днепропетровск: ИМА – пресс 2007. – 144 с.
2. Кравченко В.М. Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования. – Донецк: ООО «Юго – Восток, ЛТД», 2004. – 504 с.
3. Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов. – Новосибирск: Наука, 2003. – 244 с.

© 2013 г. В.М. Кравченко, В.А. Сидоров, В.В. Буцукин  
Поступила 16 ноября 2012 г.

где  $F_{ij}$  – угловой коэффициент между диффузными поверхностями  $i$  и  $j$ ,  $A$  – площадь поверхности,  $M$  – количество поверхностей, участвующих в теплообмене,  $J$  – тепловой поток эффективного излучения,  $J_{\lambda,i}$  – спектральный тепловой поток эффективного излучения,  $\lambda$  – длина волны излучения. Угловой коэффициент излучения  $F_{ij}$  равен доле лучистой энергии, испущенной и отраженной поверхностью  $i$  и дошедшей напрямую до поверхности  $j$  [3]. В металлургических печах с большим количеством зон может потребоваться вычисление десятков, и даже сотен тысяч угловых коэффициентов  $F_{ij}$  [4]. Это представляет наибольшую сложность при вычислении тепловых потоков и температур в большом количестве поверхностных зон печи.

Угловые коэффициенты могут быть вычислены для каждой пары поверхностей всех поверхностных зон и записаны в матричной форме. Матрица угловых коэф-