

УДК 62-412.002.5+669.018.258

Сотніков О.Л.¹

ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА МБЛЗ

У статті розглянуто перспективний віброметричний метод діагностування сумарного зазору в підшипниках важільного механізму хитання на основі дискримінантного аналізу.

Ключові слова: зазор, сумарний зазор, метод діагностування, кристалізатор, важільний механізм хитання.

Сотников А.Л. Диагностирование подшипников рычажного механизма качания кристаллизатора МБЛЗ. В статье рассматривается перспективный виброметрический метод диагностирования суммарного зазора в подшипниках рычажного механизма качания на основе дискриминантного анализа.

Ключевые слова: зазор, суммарный зазор, метод диагностирования, кристаллизатор, рычажный механизм качания.

Sotnikov A.L. The diagnostics of the bearings of the linkage titling mechanism of the CCM crystallizer. A promising vibromasurement method for the diagnostics of the total clearance in the linkage titling mechanism bearings on the basis of the discriminant analysis is considered.

Keywords: clearance, total clearance, diagnostic method, crystallizer, linkage titling mechanism.

Постановка проблеми. На вітчизняних металургійних підприємствах технічне обслуговування та ремонт (ТОіР) важільного механізму хитання кристалізатора машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), як правило, здійснюється в періоди планових зупинок за результатами попереднього огляду. Застосовувані при цьому органолептичні методи діагностування (аналіз шуму, візуальний огляд тощо) не дозволяють повноцінно проводити обстеження механізму хитання з метою оцінки і прогнозування зміни технічного стану його деталей, вузлів і приводу, а також планування робіт з ТОіР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед приладових методів діагностування механізму хитання кристалізатора МБЛЗ широке поширення, в основному на закордонних металургійних підприємствах, отримали віброметричні методи [1], засновані на аналізі загального рівня вібрації і параметрів коливального руху у часовій і частотній областях. У першому випадку задачі діагностування вирішуються шляхом накопичення статистичної інформації щодо зміни параметрів вібрації механізму хитання в процесі експлуатації з фіксацією їх відхилень від заданих значень, а в другому випадку – шляхом візуальної оцінки відповідності фактичного коливального руху кристалізатора МБЛЗ заданому з фіксацією наявності в ньому "паразитних" коливань. Таким чином, рішення задач діагностування в дійсності підміняється моніторингом відхилень параметрів коливального руху (вібрації) столу хитання – вихідної ланки механізму хитання, на якому розташований кристалізатор МБЛЗ, за винятком діагностування приводу механізму хитання загальноприйнятими методами вібраційної діагностики обладнання роторного типу [2 та ін.].

Це пов'язано з тим, що для розробки методів діагностування механізму хитання необхідно проведення великої кількості теоретичних і експериментальних досліджень щодо встановлення взаємозв'язку між відхиленнями параметрів коливального руху столу хитання і технічним станом механізму хитання. Загальною ж тенденцією металургійного машинобудування є створення конструкцій механізму хитання, що виключають застосування потенційно ненадійних деталей і вузлів. Так, у цей час на закордонних металургійних підприємствах активно впроваджується ресорний механізм хитання кристалізатора МБЛЗ з гідравлічним приводом [3 та ін.].

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ "Донецький національний технічний університет", м. Донецьк

Однак питання діагностування такого механізму також не втрачає своєї актуальності, оскільки акцент зміщується з одних видів діагностованих несправностей механізму на інші. На вітчизняних же металургійних підприємствах продовжують експлуатувати важільний механізм хитання в силу відсутності коштів у підприємств на модернізацію технологічного обладнання та практичного досвіду експлуатації та ТОіР складних сервогідроприводів.

Тому питаннями розробки перспективних методів діагностування механізму хитання кристалізатора МБЛЗ активно займаються в основному вітчизняні фахівці та вчені [4,5 і др.]. Зокрема, такі роботи ведуться і співробітниками кафедри "Механічне обладнання ої металургії" ДВНЗ "Донецький національний технічний університет" [6].

Метою цієї роботи є аналіз можливостей одного з розроблених автором методу діагностування підшипників важільного механізму хитання кристалізатора МБЛЗ.

Виклад основного матеріалу. Метод діагностування сумарного зазору в підшипниках важільного механізму хитання був запропонований автором за результатами теоретичних і експериментальних досліджень [6]. Як було встановлено в ході досліджень, саме збільшення зазору в підшипниках механізму хитання в процесі експлуатації призводить до найбільших відхилень параметрів коливального руху кристалізатора МБЛЗ від заданих значень. У силу того, що характер зміни параметрів коливального руху столу хитання є наслідком несправностей механічної системи механізму хитання, в основу розроблюваного методу діагностування заклалися методи віброметрії [1,2]. Дане рішення також було продиктоване, з одного боку, широкою поширеністю методів і засобів вібраційної діагностики механічного обладнання [2], а з іншого боку, активним впровадженням на металургійних підприємствах систем моніторингу та діагностики механізму хитання кристалізатора МБЛЗ [1].

Розробка методу діагностування здійснювалася на основі математичної моделі механізму хитання кристалізатора МБЛЗ [7], за допомогою якої були проведені дослідження закономірностей відхилення параметрів коливального руху столу хитання при зміні технічного стану (виникнення та розвитку несправностей деталей і вузлів) механізму хитання. За результатами цих досліджень визначені діагностичні параметри, розроблені вирішальні правила і позначені границі розрізнення несправностей підшипників механізму хитання [8 і др.].

У зв'язку зі складністю вирішення нелінійних диференціальних рівнянь руху важільного механізму хитання кристалізатора МБЛЗ з урахуванням зазорів у підшипниках розробка математичної моделі була виконана із застосуванням сучасного програмного комплексу моделювання кінематики і динаміки механічних систем "Універсальний механізм" (ПКУМ) [7,9].

У ході теоретичних досліджень механізму хитання кристалізатора МБЛЗ за допомогою розробленої математичної моделі було встановлено, що через складний просторовий коливальний рух столу хитання, контроль тільки одного з параметрів його руху не дасть повного уявлення як про характер руху, так і про стан деталей, вузлів і приводу механізму хитання, що забезпечує даний рух. Тому необхідний контроль всіх параметрів руху з використанням інтегральних показників. В якості таких показників автором запропоновано використовувати дискримінантні функції параметрів коливального руху в вертикальному та горизонтальному напрямку і радіуса хитання [10] контрольної точки столу хитання.

Дискримінантний аналіз є одним з методів багатовимірного статистичного аналізу, мета якого полягає в тому, щоб на основі вимірювання різних характеристик (параметрів) об'єкта класифікувати його, тобто віднести до одного з декількох класів деяким оптимальним способом. Під оптимальним способом розуміється або мінімум математичного очікування втрат, або мінімум ймовірності помилкової класифікації [11 та ін]. Дані методи класифікації знайшли широке поширення в медицині (діагностика хвороб), економіці (управління підприємством, контроль якості) і т.п.

У даній роботі об'єктом дискримінантного аналізу є механізм хитання кристалізатора МБЛЗ, для якого необхідно за результатами вимірювання параметрів коливального руху столу хитання віднести стан підшипників механізму до одного із кількох класів, що відповідають хорошому, задовільному або аварійному стану для наступного планування робіт з ТОіР.

Для вирішення завдання було виконано дискримінантний аналіз, заснований на геометричному уявленні про поділ класів в просторі ознак [11]. Наприклад, є n станів підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ з m характеристиками (параметри коливального руху контрольної точки столу хитання). У результаті вимірювання останніх кожний стан характеризується вектором $y_1, \dots, y_m, m > 1$. Завдання полягає в тому, щоб за результатами вимірювань від-

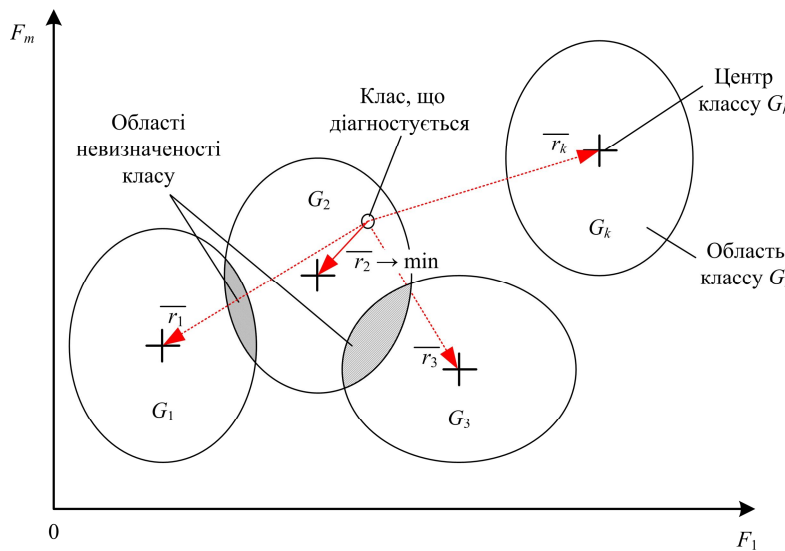


Рис. 1 – Діаграма розсіювання класів стану в площині F_1, F_m

Дискримінантні функції визначають ці області за допомогою опису їх границь у просторі ознак (рис. 1). Кожна дискримінантна функція має вигляд:

$$F_i = a_{0i} + \sum_{j=1}^m (a_{ij} \cdot x_j), (i = \overline{1, k}),$$

де a_{0i} – вільний член i -ї функції; a_{ij} – ваговий коефіцієнт i -ї функції j -ї характеристики; k – кількість класів станів.

У цьому випадку вирішальне правило формулюється як "відносити стан до класу з найближчим центром", що полягає в обчисленні відстані r_1, \dots, r_k від класу стану, що діагностується до центрів відомих класів у просторі канонічних дискримінантних функцій ознак F_1, \dots, F_m . Мінімальна відстань r до центру класу G визначає приналежність стану, що діагностується до даного класу. Можливі ситуації невизначеності, коли мінімальна відстань буде одночасно до центру двох прилеглих класів стану. У цьому випадку необхідно виконання додаткової експертної оцінки або збільшення числа m -мірності простору ознак.

За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) "Statistica", ПКУМ і створеної математичної моделі механізму хитання кристалізатора МБЛЗ був сформований план чисельних експериментів, визначені параметри відгуку і розраховані коефіцієнти дискримінантних функцій.

Для класифікації станів підшипників було застосована така характеристика, як сумарний зазор (ΔZ , мм) [12], рівний сумі зазорів всіх підшипників важільного механізму хитання кристалізатора МБЛЗ. Загальне число теоретичних експериментів було розділено на 3 класи станів, що характеризуються сумарним зазором від 0,3 до 5 мм. Кількість класів вибрано за умови найменшої кількості перетинів областей класів у просторі канонічних дискримінантних функцій. Нижчий клас (1-й клас) відповідає гарному стану підшипників механізму хитання ($\Delta Z=0,3 \dots 0,8$ мм), вищий клас (3-й клас) – аварійному ($\Delta Z > 4$ мм), проміжний клас (2-й клас) – задовільному ($\Delta Z=0,8 \dots 4$ мм).

Дані класи стану підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ досить грубо класифікують технічний стан, враховуючи вимоги, що пред'являються до механізму хитання проектно-конструкторською документацією і технологічними режимами розливання сталі на МБЛЗ. Проте в даний час на металургійних підприємствах, по зауваженнях багатьох дослідників [5, 12, 13], термін експлуатації підшипників такий, при якому сумарний зазор досягає значення сумірного з амплітудою коливання кристалізатора (від 3 до 5 мм), що само по собі свідчить про аварійний технічний стан, і вимагає невідкладного проведення ТОіР механізму хитання. При зниженні сумарного зазору в 2...3 рази, що буде відповідати відповідному збільшенню точності коливального руху кристалізатора МБЛЗ характеристику класів станів необхідно уточнити, наприклад, розглядати сумарний зазор в діапазоні від 0,3 до 2 мм. І так далі.

Порядок діагностування з застосуванням розробленого методу діагностування наступний.

За допомогою портативного аналізатора вібрації в період планових і непланових зупинок процесу розливання сталі на МБЛЗ виконується вимірювання параметрів коливального руху контрольної точки столу хитання у вертикальному та горизонтальному напрямках, і визначення радіуса хитання цієї точки. Результати заносяться в хронологічному порядку до бази даних, спеціально розробленого ПЗ "МБЛЗ Зазор" (рис. 2), і по них обчислюються значення дискримінантних функцій і визначається поточний клас стану підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ.

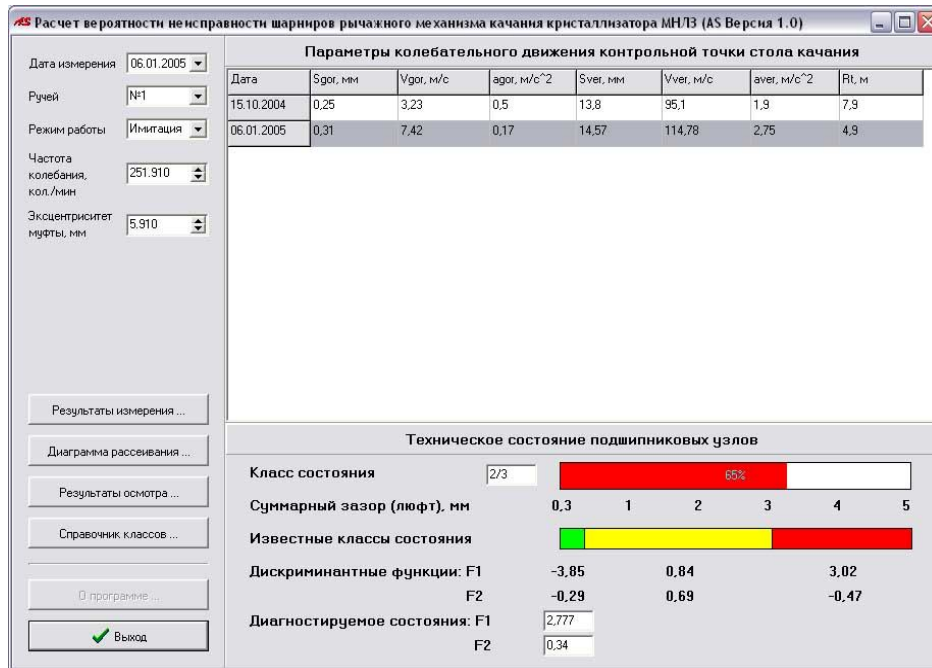


Рис. 2 – Зовнішній вигляд ПЗ "МБЛЗ Зазор"

У ПЗ "МБЛЗ Зазор" передбачено також ведення бази даних оглядів механізму хитання МБЛЗ, що дозволяє відслідковувати правильність постановки діагнозів і тим самим накопичувати базу знань. З накопиченням досвіду діагностування із застосуванням розробленого методу, введенням нових діагностичних параметрів і уточненням діагностичних правил постановку діагнозу можна буде автоматизувати повністю.

Дослідно-промислове випробування розробленого методу діагностування підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ проведено в умовах електросталеплавильного цеху ЗАТ "Мініметалургійний завод "Істіл (Україна)" (нині ЗАТ "Донецький електromеталургійний завод") (Україна), в період з 2004 по 2008 р.р. на сортовий радіальної МБЛЗ "DANIELI".

У бюро технічної діагностики відділу головного механіка заводу разом з ПЗ "МБЛЗ Зазор" була передана розроблена "Інструкція з діагностики механізму хитання кристалізатора МБЛЗ". Також дані матеріали були передані в ТОВ "ІТЦ "Вібродіагностика" (Сверодонецьк, Україна) для застосування з вібровимірювальною технікою, що серійно виробляється підприємством [14].

В табл. 1 и на рис. 3 наведено приклад результатів експериментального вимірювання параметрів коливального руху столу хитання, обчислення дискримінантних функцій і визначення відповідного їм класу стану підшипників.

Таблиця 1

Приклад результатів вимірювання параметрів коливального руху і визначення значень дискримінантних функцій

| Параметри коливального руху контрольної точки столу хитання в напрямку вимірювання | | | | Радіус хитання, м | Дискримінантні функції | |
|--|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| горизонтальному | | вертикальному | | | | |
| віброшвидкість, мм/с | віброприскорення, м/с ² | віброшвидкість, мм/с | віброприскорення, м/с ² | | F ₁ | F ₂ |
| 7,42 | 0,17 | 114,78 | 2,75 | 4,9 | 2,777 | 0,34 |

На діаграмі, представлений на рис.3, чітко видно, клас що діагностується розташовується в

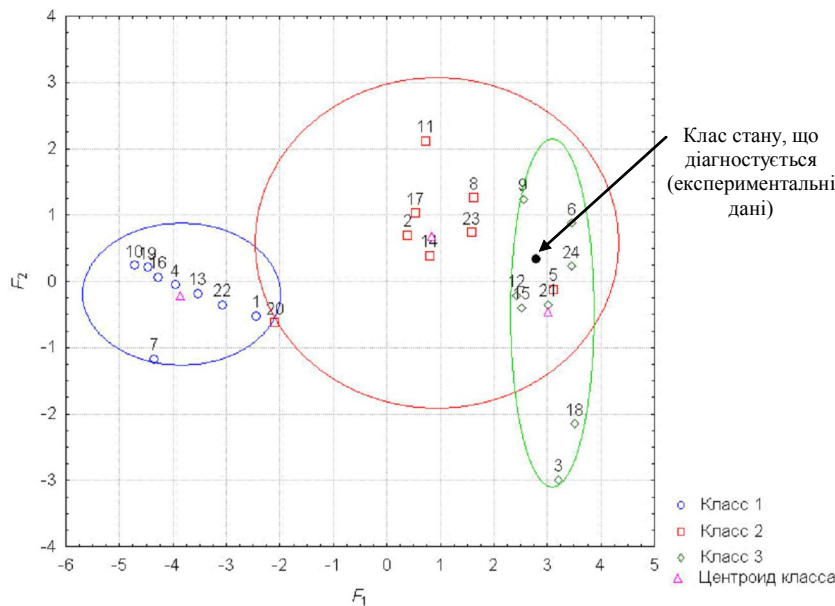


Рис. 3 – Діаграма положення відомих класів стану та стану, що діагностується в площині дискримінантних функцій F_1F_2

між собою. Клас стану, відповідний наявності в підшипниках допустимого сумарного зазору, розташований на діаграмі біля лівого її краю. Клас стану, відповідний сумарному зазору близько 5 мм, розташований на діаграмі у правого краю. Між ними знаходиться найбільший за обсягом клас, відповідний задовільному стану підшипників механізму хитання.

Чим ближче положення класу, що діагностується до лівої границі області 2-го класу, тим менше сумарний зазор, тобто технічний стан краще, ніж якщо клас розташовувався б ближче до правої границі області, що відповідає як збільшенню сумарного зазору, так і відповідному погіршенню технічного стану підшипників. При положенні класу, що діагностується в області перетину 2-го і 3-го класу його можна розглядати як проміжний клас, який характеризується передаварійним станом підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ.

Результати огляду заміненних підшипників [15] підтвердили, що на бігових доріжках кілець всіх підшипників важільного механізму хитання присутні вм'ятини від тіл кочення глибиною від 0,3 до 2 мм (рис. 4), а сумарний зазор складає 3,9 мм.

Незалежно від стану кожного підшипника механізму хитання, відповідно до вимог регламенту ТОВ МБЛЗ "DANIELI" [16] були замінені всі підшипники. Ця вимога обумовлена особливостями конструкції механізму хитання, яка не дозволяє провести розбирання одного підшипникового вузла без розбирання інших вузлів, а також не допускає експлуатацію підшипників з різним ступенем зносу.

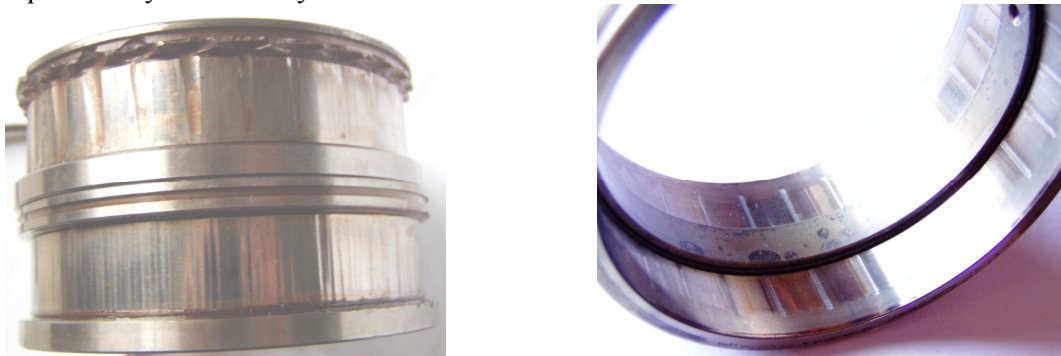


Рис. 4 – Пошкодження бігових доріжок підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ в процесі експлуатації

Робота фахівців бюро технічної діагностики відділу головного механіка ЗАТ "Мініметалургійний завод "Істіл (Україна)" з діагностування механізму хитання кристалізатора МБЛЗ

"DANIELI" в період з 2004 по 2008 р.р. підтверджує отримані при експериментальному дослідженні результати. Використання розробленого методу діагностування дозволило знизити відхилення параметрів коливального руху кристалізатора МБЛЗ (амплітуди коливання і радіуса хитання) з ± 50 до ± 10 % від проектних значень, а також продовжити термін служби гільз кристалізатора МБЛЗ в 2 рази за рахунок своєчасного виявлення, визначення та усунення несправностей механізму хитання, що підтверджено відповідним актом впровадження.

Висновки

Таким чином, розроблений перспективний віброметричний метод діагностування підшипників важільного механізму хитання кристалізатора МБЛЗ, що полягає у визначенні сумарного зазору в підшипниках на основі використання в якості діагностичних параметрів дискримінантних функцій, обчислюваних за результатами вимірювання параметрів коливального руху столу хитання і встановлених границь розрізнення несправних станів підшипників.

Ефективність та достовірність розробленого методу діагностування підшипників механізму хитання кристалізатора МБЛЗ підтверджена результатами його дослідно-промислового випробування.

Список використаних джерел:

1. Сидоров В.А. Анализ систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников // *Наук. праці Донец. нац. тех. ун-ту.* – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 102. – С. 46-55. – (Сер.: металургія).
2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. – 2-е изд., исправл. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.
3. Освоение устройства качания кристаллизатора Динафлекс на предприятии "Лех-Штальверке" / Р. Кель, К. Мёрвальд, Й. Пйппль, Х. Тёне // *Сталь.* – 2001. – №2. – С. 52-55.
4. Эффективность микропроцессорных систем контроля оборудования МНЛЗ / В.А. Тихановский, А.Л. Кузьминов, А.П. Щеголев и др. // *Сталь.* – 1993. – №1. – С. 38-41.
5. Титов О.П. Совершенствование методики расчета и средств контроля механизма качания кристаллизатора криволинейной МНЛЗ: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.04 / Титов Олег Павлович; Череповец. гос-й ун-т. – Череповец, 1998. – 169 с.
6. Сотников А.Л. Предупреждение отклонений параметров колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ на основе развития методов диагностики механизма качания: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.08 / Сотников Алексей Леонидович; Донец. нац. тех. ун-т. – Донецьк, 2008. – 216 с.
7. Ковальов Р.В. Моделювання несправних станів механізму хитання кристалізатора МБЛЗ / Р.В. Ковальов, Н.Н. Лисіков, В.А. Сидоров, О.Л. Сотніков; відп. ред. З.А. Стоцько // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвід. наук.-техн. зб.* – Львів: "Львівська політехніка", 2007. – Вип. 41. – С. 116-127.
8. Кравченко В.М. Техническое диагностирование механического оборудования. / В.М. Кравченко, В.А. Сидоров, В.Я. Седуш // *Учебн. пособие* – Донецк: ООО "Юго-Восток, Лтд", 2009. – 459 с.
9. Программный комплекс "Универсальный механизм": руководство пользователя. – Брянск: Лаборатория вычислительной механики БГТУ, 2006. – 607 с.
10. Сидоров В.А. Метод оперативного контроля соосности кристаллизатора с технологической осью ручья МНЛЗ / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников // *Бюллетень научно-технической и экономической информации "Черная металлургия" ОАО "Черметинформация".* – 2006. – №9. – С. 38-41.
11. Дюк В. Data mining: учебный курс (+CD) / В. Дюк, А. Самойленко // – СПб: Питер, 2001. – 368 с.
12. Петреев Д.В. Влияние зазоров в механизме качания кристаллизатора на время опережения / *Сталь.* – 2007. – №4. – С. 67-69.
13. Ротенберг А.М. Повышение конкурентоспособности сортовых МНЛЗ путем их модернизации / А.М. Ротенберг [и др.] // *Электрометаллургия.* – 2003. – №3. – С. 41-46.
14. Инженерно-технический центр "Вибродиагностика". – Режим доступа: <http://zfs.lg.ua/>.
15. Сидоров В.А., Сотніков О.Л., Цокур В.П. Аналіз характеру і причин несправностей підшипникових вузлів механізму хитання кристалізатора / *Гол. ред. Э.О. Башков // Наукові праці Донец. нац. тех. уні-т.* – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 6(154). – С. 226-235. – (Сер.: машинобудування і машинознавство).
16. Производственно-техническая инструкция "Техническое обслуживание МНЛЗ "DANIELI". ПТИ 234-3-52-2007. – Донецк: ЗАО "ММЗ Истил (Украина)", 2007. – 53 с.