

**Список литературы:** 1. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 384. 2. *Сэломон Д.* Сжатие данных, изображений и звука. – М: Техносфера, 2004. – 368 с. 3. *Стахов А.П.* Коды золотой пропорции. – М: Радио и связь, 1984. – 152 с. 4. *Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Комбинаторные алгоритмы теория и практика.* – «Мир». Москва, 1980. – 465с. 5. *Борисенко А. А.* Биномиальный счет и счетчики: монография. – Сумы: СумГУ, 2008. – 152 с. 6. *Борисенко А. А.* Биномиальные автоматы: учебное пособие. – Сумы: СумГУ, 2005. – 121 с. 7. *Иванчук А.В.* Счетные алгоритмы преобразования биномиальных чисел в двоичные и обратно // вісник сумського державного університету. технічні науки. – 2012. - №3(88). – с. 76 -80.

*Надійшла до редколегії 05.03.2013*

УДК 519.1

**Биномиальный преобразователь информации / А. А. Борисенко, А. В. Иванчук, К. Э. Чередниченко** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХП», – 2013. - № 18 (991). – С. 65-70. – Бібліогр.: 7 назв.

В статті розглядається перетворювач двійкових чисел в біноміальні. Приведений ефективний алгоритм роботи перетворювача чисел і структурна схема його реалізації, відмінністю якої є простота і надійність.

**Ключові слова:** біноміальна лічба, кодова комбінація, біноміальний код, швидкодія, завадостійкість.

The article deals with transformation binary numbers to the binomial. Presented the block diagram and the transformation algorithm of binary to binomial numbers that are simple and reliable.

**Keywords:** binomial account, code combination, binomial code, high-speed performance, interference immunity.

УДК 004.942

*О. М. ПОЛЕНО*, аспірант ДонДТУ, Алчевськ;

*О. Ф. БОНДАРЕНКО*, канд. техн. наук, доц. ДонДТУ, Алчевськ;

*В. О. ДІДЕНКО*, магістр ДонДТУ, Алчевськ

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ДАНИХ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК**

Запропоновано математичну модель обробки даних в системі моніторингу параметрів хитання кристалізатора машини безперервного лиття заготовок. Приведені результати, отримані з використанням моделі.

**Ключові слова:** математична модель, комп'ютерна система, моніторинг, кристалізатор, хитання, акселерометр.

### **Вступ**

На сьогодні приблизно 90 % сталі в світі виробляється за допомогою технології безперервного лиття [1]. Перехід на безперервне розливання сталі є одним з основних напрямків технічного переоснащення у чорній металургії України.

Машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) являє собою складну механічну систему. Ядром МБЛЗ є кристалізатор, який забезпечує відвід тепла від поверхневих шарів рідкого металу, що призводить до їх затвердіння. Для запобігання прилипання металу до стінок кристалізатора, останній здійснює хитання за технологічною віссю МБЛЗ з частотою 1-2 Гц.

Якість отримуваних заготовок значною мірою залежить від точності підтримування в межах, передбачених технологічним процесом, параметрів руху кристалізатора: траєкторії, частоти та амплітуди. Відхилення цих параметрів від номінальних значень може призвести до виникнення наступних проблем: внутрішньої неоднорідності заготовок, суттєвого зниження якості їх поверхні, передчасного зносу деталей МБЛЗ і навіть створення серйозних аварійних ситуацій із зупинкою технологічного процесу та значними матеріальними втратами [2]. Для своєчасного виявлення відхилень параметрів руху кристалізатора необхідно здійснювати їх періодичну перевірку або постійний моніторинг [3].

Огляд публікацій за даною темою показав, що проблема моніторингу та діагностування стану механізму хитання МБЛЗ є актуальною вже кілька десятків років [4]. Протягом цього часу обладнання постійно вдосконалювалось. Сьогодні моніторинг стану механізму хитання здійснюється за допомогою інформаційно-вимірювальних систем у вигляді комп'ютеризованих програмно-апаратних комплексів.

### **Наявна проблема і мета роботи**

Слід відзначити, що існуючі системи моніторингу хитання кристалізатора МБЛЗ розробляються виключно за кордоном (ЗАТ «Техноап» – Росія, «Siemens VAI Metals Technologies» – Австрія, «Kiss Technologies Inc.» – США, «Tozato Measurements» – Бразилія) [4], мають дуже високу вартість, їх наладка та сервісне обслуговування в Україні вимагають залучення іноземних консультантів від фірм-виробників, що пов'язано зі значними витратами часу та коштів. Крім того, інтегрування інформаційно-вимірювальних систем зарубіжного виробництва в АСУТП вітчизняних підприємств часто вимагає їх узгодження за рівнями сигналів, інтерфейсами і т.д., що також передбачає участь закордонних фахівців.

Оскільки металургійна галузь в Україні є однією з провідних, очевидно є необхідність у створенні інформаційно-вимірювальних систем моніторингу хитання кристалізатора МБЛЗ у вітчизняних умовах.

Як відомо, головною характеристикою будь-якої вимірювальної системи є точність вимірювання, тому проектування системи моніторингу хитання кристалізатора потребує виваженого підходу до побудови тракту перетворення даних від давачів до блоку кінцевої обробки та візуалізації [5].

Для проведення досліджень з тестування різних алгоритмів обробки даних зручно використовувати математичну модель системи моніторингу, проте аналіз вітчизняних і зарубіжних відкритих джерел виявив відсутність відомих моделей обробки даних в подібних системах.

Метою даної роботи є створення математичної моделі обробки даних в системі моніторингу параметрів хитання кристалізатора машини безперервного лиття заготовок, яка описує перетворення інформації, що здійснюється в процесі її отримання та передачі від давачів до комп'ютеру.

### **Реалізація моделі**

Структуру розроблюваної математичної моделі показано на рис. 1. Для її реалізації було використано мову прикладного програмування Python. Модель складається з кількох окремих модулів, які описують перетворення сигналів, що мають відбуватись при передачі сигналів від давачів до комп'ютеру.

Модуль **Mold** описує рух кристалізатора. Вхідними параметрами даного модулю є амплітуда  $X_m$  та частота  $f$  хитання кристалізатора, а також коефіцієнт несинусоїдальності  $k_{ns}$  руху кристалізатора за основною віссю.

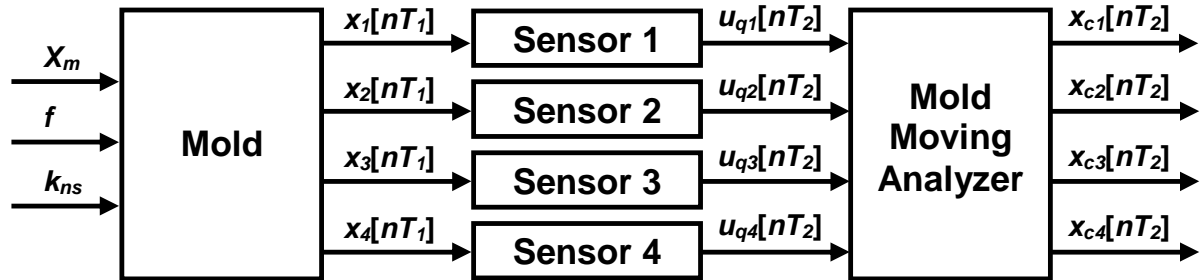


Рис. 1 – Структура математичної моделі

Кристалізатор представлено площиною його поверхні. Відповідно до заданого закону руху, модуль генерує значення координат чотирьох точок на поверхні кристалізатора в часі. Для визначення розташування площини в просторі використовуються дані про положення трьох її точок, що не лежать на одній прямій. Інформація про положення четвертої точки є надлишковою і використовується для перевірки коректності вимірювань на етапі кінцевої обробки даних. Закон руху кристалізатора може бути заданий математично або визначений даними, отриманими експериментально.

Типовий режим хитання кристалізатора передбачає його рух вздовж технологічної вісі в часі за законом, згідно якого переміщення вверх відносно нульового рівня здійснюється за синусоїдальною функцією з більшим періодом, а вниз – за синусоїдальною функцією з меншим періодом (рис. 2). Такий закон хитання математично задається наступним чином:

$$x(t) = \begin{cases} s_1(t - i \cdot T_{osc}), & n_{pu} i \cdot T_{osc} - \frac{k_{ns} \cdot T_{osc}}{2} \leq t < i \cdot T_{osc} + \frac{k_{ns} \cdot T_{osc}}{2}, \\ s_2\left(t - i \cdot T_{osc} - \frac{T_{osc} \cdot (2 \cdot k_{ns} - 1)}{2}\right), & n_{pu} i \cdot T_{osc} + \frac{k_{ns} \cdot T_{osc}}{2} \leq t < (i + 1) \cdot T_{osc} - \frac{k_{ns} \cdot T_{osc}}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $x(t)$  – координата однієї точки кристалізатора в часі;

$T_{osc}$  – період хитання кристалізатора;

$i$  – номер періоду хитання;

$s_1(t)$  – синусоїдальна функція, яка описує рух кристалізатора протягом частини періоду, що дорівнює  $k_{ns} \cdot T_{osc}$ ;  $s_1(t) = X_m \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ ;

$s_2(t)$  – синусоїдальна функція, яка описує рух кристалізатора протягом частини періоду, що дорівнює  $(k_{ns} - 1) \cdot T_{osc}$ ;  $s_2(t) = X_m \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)$ ;

$\omega$  – кругова частота хитання кристалізатора;  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ .

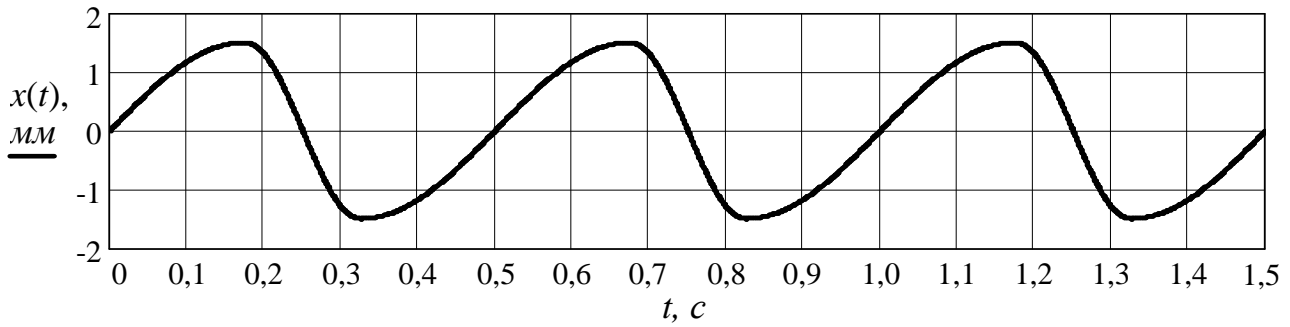


Рис. 2 – Типовий закон хитання кристалізатора в часі при  $k_{ns} = 0,7$

На виході модулю функція (1) представляється у вигляді дискретизованої решітчастої функції  $x[nT_1]$ , де  $T_1$  – інтервал дискретизації, який визначається характеристиками комп'ютера,  $n$  – дискретний відлік.

Модуль **Sensor** моделює роботу датчика руху (MEMS-датчик). Програмно модуль реалізований у вигляді класу, що спрощує створення необхідної кількості датчиків в моделі з різними налаштуваннями. В даному випадку в моделі описано чотири датчики (див. рис. 1). Кожен модуль **Sensor** приймає від модуля **Mold** дані про положення однієї точки на поверхні кристалізатора в часі у вигляді решітчастої функції  $x[nT_1]$ , розраховує прискорення, що діють на датчик, генерує пропорційні їм сигнали напруги. Нижче наведено математичний опис вказаних перетворень сигналів.

Обчислення швидкості руху:

$$v[nT_1] = \frac{\Delta x[nT_1]}{T_1} = \frac{x[(n+1)T_1] - x[nT_1]}{T_1} \quad (2)$$

де  $v[nT_1]$  – середня швидкість на  $n$ -му дискретному відліку;

$x[nT_1]$  – координата точки за основною віссю на  $n$ -му дискретному відліку;

$\Delta x[nT_1]$  – перша різниця решітчастої функції переміщення  $x[nT_1]$ .

Обчислення прискорення:

$$a[nT_1] = \frac{\Delta v[nT_1]}{T_1} = \frac{\Delta^2 x[nT_1]}{T_1^2} = \frac{x[(n+2)T_1] - 2 \cdot x[(n+1)T_1] + x[nT_1]}{T_1^2}, \quad (3)$$

де  $a[nT_1]$  – середнє прискорення на  $n$ -му дискретному відліку;

$\Delta v[nT_1]$  – перша різниця решітчастої функції швидкості  $v[nT_1]$ ;

$\Delta^2 x[nT_1]$  – друга різниця решітчастої функції переміщення  $x[nT_1]$ .

Обчислення напруги, пропорційної прискоренню:

$$u[nT_2] = a[nT_2] \cdot k_{pr}, \quad (4)$$

де  $u[nT_2]$  – решітчаста функція напруги, пропорційної прискоренню;

$k_{pr}$  – коефіцієнт пропорційності;

$T_2$  – інтервал дискретизації, який визначається характеристиками датчика та трактом передачі даних.

Квантування напруги за рівнем:

$$u_q [nT_2] = \left[ u[nT_2] \cdot 2^d / U_{max} \right] \cdot U_{max} / 2^d, \quad (5)$$

де  $u_q[nT_2]$  – квантована решітчаста функція напруги, пропорційної прискоренню;  
 $d$  – розрядність аналого-цифрового перетворювача;  
 $U_{max}$  – межа виміру давача.

Модуль **Mold Moving Analyzer** моделює роботу блоку обробки даних. Він приймає дані про прискорення від кожного з модулів **Sensor** у вигляді еквіваленту пропорційної напруги  $u_q [nT_2]$  та виконує їх обробку: нормування, визначення початкових умов інтегрування і безпосередньо операцію інтегрування. Вихідними параметрами даного модуля є положення точок на поверхні кристалізатора в часі. По суті в даному модулі виконуються перетворення, зворотні тим, що виконуються в модулі **Sensor**. Математичний опис цих перетворень наведено нижче.

Обчислення швидкості руху методом прямокутників:

$$v_c [(n+1)T_2] = v_c [nT_2] + \frac{u_q [(n+1)T_2] \cdot T_2}{k_{pr}}, \quad (6)$$

де  $v_c[nT_2]$  – обчислена швидкість на  $n$ -му дискретному відліку.

З метою мінімізації похибки інтегрування здійснюються наступні дії. За наперед відомих умов, які полягають в тому, що хитання є періодичними і траєкторія руху кристалізатора є незмінною на проміжках часу збору даних, обчислюється модифікована «функція середнього значення різниці» (ФСЗР) [6] із використанням такої кількості відліків, в якій гарантовано розміщується два або більше періодів хитання:

$$d(mT_2) = \sum_{m=0}^j \frac{u_q [nT_2]}{k_{pr}} - \frac{u_q [(n+m)T_2]}{k_{pr}}. \quad (7)$$

де  $j$  – кількість значень у виборці, поділена на 2.

Далі визначаються мінімуми ФСЗР і обчислюється період хитання як відстань між двома розташованими поруч мінімумами ФСЗР.

Перевірка відсутності похибки і за потреби корекція початкових умов інтегрування в результатах обчислення швидкості руху здійснюється шляхом співставлення значень швидкості в моменти часу, кратні періоду хитання.

Обчислення координат точок на поверхні кристалізатора здійснюється аналогічно обчисленню швидкості (6) шляхом інтегрування методом прямокутників:

$$x_c [(n+1)T_2] = x_c [nT_2] + v_c [(n+1)T_2] \cdot T_2 \quad (8)$$

де  $x_c[nT_2]$  – обчислена координата точки на  $n$ -му дискретному відліку;

Перевірка відсутності похибки і за потреби корекція початкових умов інтегрування в результатах обчислення координат точок на поверхні кристалізатора здійснюється так само, як і при обчисленні швидкості руху.

Оскільки кристалізатор являє собою жорстку плиту, деформації якої можна не враховувати, для визначення його положення в просторі достатньо знати положення трьох точок на його поверхні. Інформація про координати четвертої точки є

надлишковою і використовується для перевірки коректності визначення траєкторії руху кристалізатора. Перевірка виконується шляхом теоретичного розрахунку траєкторії руху четвертої точки на поверхні кристалізатора на підставі вимірних переміщень трьох інших точок і порівняння траєкторії руху, отриманої теоретично, з траєкторією, виміряною фактично.

В ідеальному випадку вихідні дані модуля Mold Moving Analyzer мають бути ідентичними вихідним даним модуля Mold, однак фактично ці дані дещо відрізняються. За цією розбіжністю можна оцінити похибку вимірювання.

На рис. 3 наведено структуру апаратної частини системи моніторингу, побудованої авторами за допомогою розробленої моделі, де Д1...Д4 – інерційні датчики (MEMS-акселерометри), БЗД – блок збору даних, ПК – персональний комп'ютер. З використанням модуля Mold Moving Analyzer розробленої моделі побудовано прикладне програмне забезпечення системи моніторингу (рис. 4).

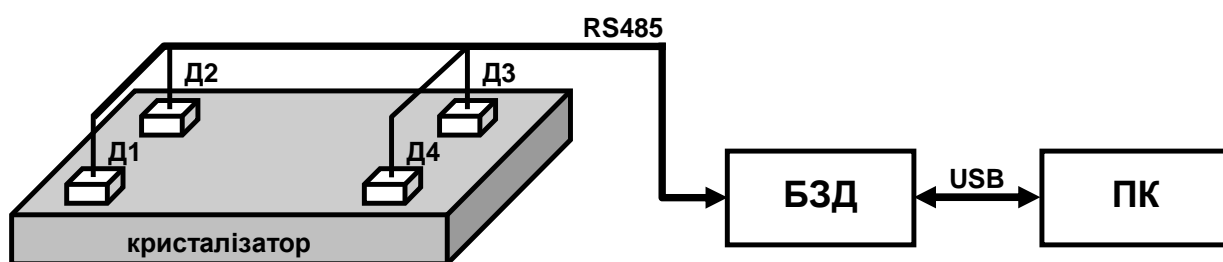


Рис. 3 – Структура апаратної частини системи моніторингу

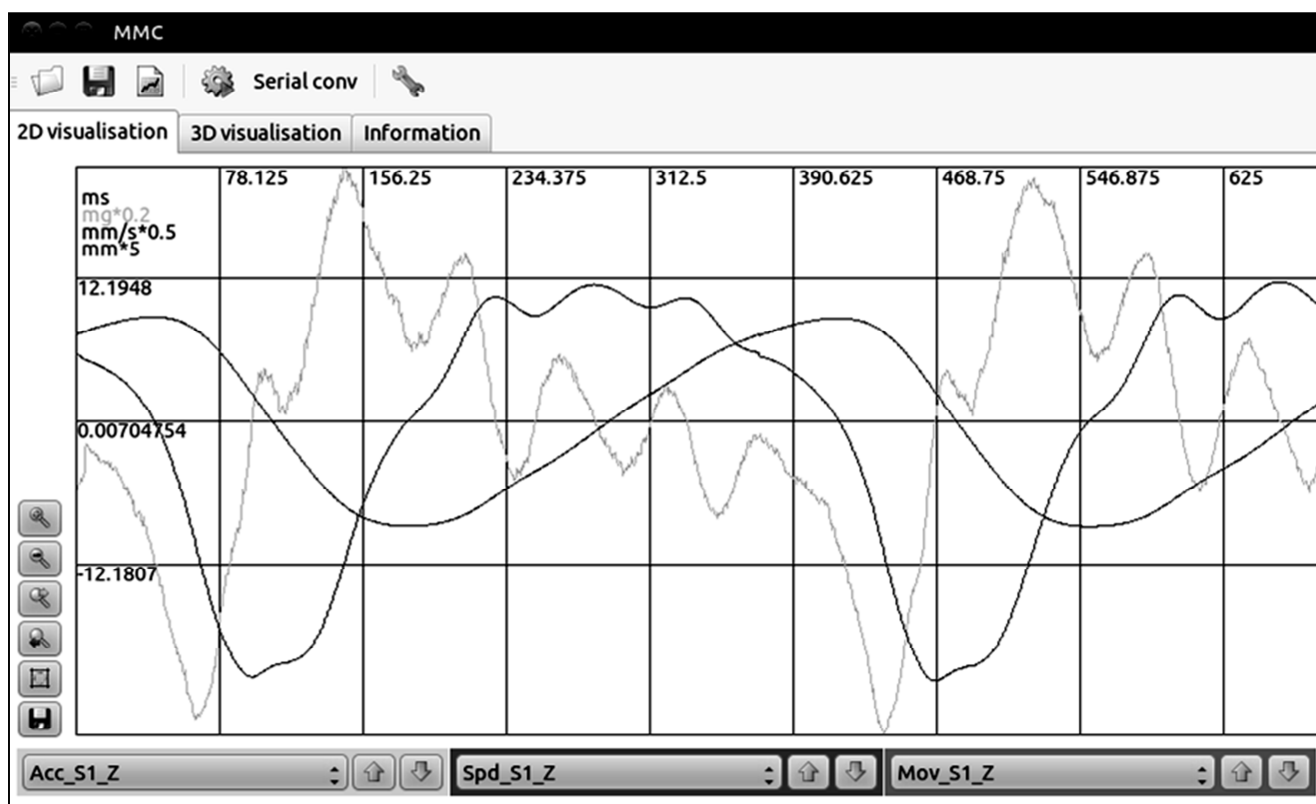


Рис. 4 – Вікно візуалізації графіків прискорення, швидкості та переміщення програмного забезпечення системи моніторингу хитання кристалізатора МБЛЗ

## Висновки

Використання розробленої математичної моделі допомогло відпрацювати оптимальні алгоритми обробки даних та обрати принцип побудови системи і схемотехнічні рішення, що зрештою дозволило створити інформаційно-вимірювальну систему моніторингу хитання кристалізатора МБЛЗ, яка забезпечує вимірювання параметрів руху з наперед заданою точністю (подвійна амплітуда хитання кристалізатора – 3 мм, точність – 0,025 мм). Система пройшла успішні випробування на ПАТ «Алчевський металургійний комбінат».

**Список літератури:** 1. *Thomas B. G. Continuous Casting, Yearbook of Science and Technology, McGraw-Hill, 2004* 2. *Ковальов Р. В. Моделювання несправних станів механізму хитання МБЛЗ / Р. В. Ковальов, Н. Н. Лисіков, В. А. Сидоров, О. Л. Сотніков // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2007. – Вип. 41. – С. 1-10.* 3. *Усовершенствование технологии и оборудования машин непрерывного литья заготовок / Бровман М. Я., Марченко И. К., Кан Ю. Е. и др. – Киев: Техніка, 1976. – 165 с.* 4. *Сидоров В. А. Анализ систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ / В. А. Сидоров, А. Л. Сотников // Наук. пр. Донецького національного технічного університету / Редкол.: Мінаєв О. А. (голова) та ін. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 102 (сер.: металургія). – С. 46-55.* 5. *Диденко В. А. Моніторинг траєкторії руху кристалізатора машини безперервного лиття заготовок / В. А. Диденко, А. Н. Полєно, А. Ф. Бондаренко // Збірка матеріалів III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ – 2012), м. Донецьк, 16-18 квітня 2012 р. – Донецьк: ДонНТУ. – 2012. – С.715-719.* 6. *Рабинер Л. Р., Шафер Р. В. Цифровая обработка речевых сигналов. – Пер. с англ. / Под ред. Прохорова Ю. Н. и Назарова М. В. – М: Радио и связь, 1981. – 496 с.*

*Надійшла до редколегії 28.02.2013*

УДК 004.942

**Математична модель обробки даних в системі моніторингу параметрів хитання кристалізатора машини безперервного лиття заготовок / О. М. Полєно, О. Ф. Бондаренко, В. О. Діденко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХП», – 2013. - № 18 (991). – С. 70-76. – Бібліогр.: 6 назв.**

Предложена математическая модель обработки данных в системе мониторинга параметров качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок. Приведены результаты, полученные с использованием модели.

**Ключевые слова:** математическая модель, компьютерная система, мониторинг, кристаллизатор, колебание, акселерометр.

The mathematical model of data processing in the system for monitoring parameters of continuous casting machine mold oscillation. The results obtained using the model are given.

**Keywords:** mathematical model, computer system, monitoring, mold, oscillation, accelerometer.