

growth dynamics on the internal defects formation in a billet is shown.

Keywords: billets, dendrite crystals, CCM, internal defects.

УДК 669.018.258

О.В. АНТЫКУЗ (канд.техн.наук)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Разработана физическая модель механизма качания кристаллизатора слябовой МНЛЗ, позволяющая осуществлять исследования работы механизма. На этой установке было проведено моделирование работы механизма качания кристаллизатора в различных его технических состояниях. Установлено влияние технического состояния механизма качания кристаллизатора на явления образования волновых колебаний на поверхности жидкости в нем. Определены частоты качания кристаллизатора, при которых в нем образуются волны и частоты, при которых происходит увеличение высоты волн.

Ключевые слова: механизм качания кристаллизатора, физическое моделирование, волновые колебания, техническое состояние.

Введение

Исследования процесса качания кристаллизатора и его влияние на поведение жидкого металла в полости кристаллизатора в производственных условиях достаточно усложнено. Это связано с тем, что не всегда есть возможность установки необходимой измерительной аппаратуры во время разлива на МНЛЗ, не все режимы качания из доступных применяются на промышленной МНЛЗ. Кроме того, во время исследований высока вероятность увеличения образования брака непрерывнолитой заготовки и возникновения аварийной ситуации, что может повлечь за собой снижение производительности и прибыли.

Цель работы

В связи с этим представляется целесообразным проведение физического моделирования работы механизма качания с целью расширения практических знаний о влиянии качания кристаллизатора на процессы, происходящие при разливе стали на МНЛЗ.

Для исследования режимов качания кристаллизатора, а также их влияния на процесс волнообразования на поверхности металла в кристаллизаторе, была разработана и изготовлена физическая модель механизма кача-

ния слябовой МНЛЗ, кинематическая схема и внешний вид которой представлены на рисунке 1.

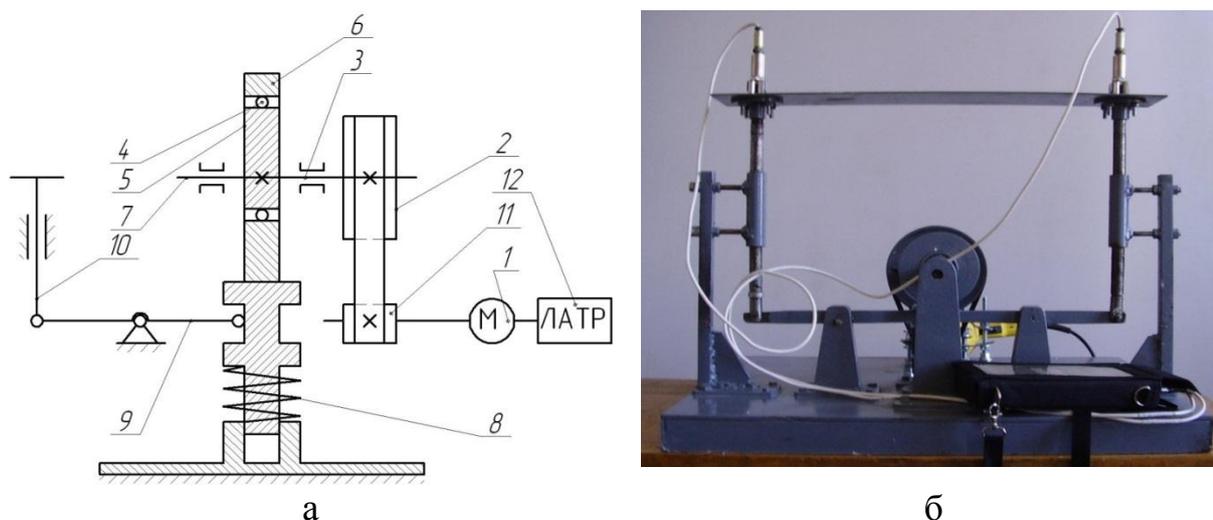


Рисунок 1 – Кинематическая схема лабораторной установки (а) и внешний вид физической модели механизма качания кристаллизатора.

При разработке физической модели механизма качания кристаллизатора слябовой МНЛЗ было обеспечено геометрическое, кинематическое и динамическое подобие модели и натурального объекта [1, 2]. Геометрический масштаб физической модели и натурального механизма качания составляет 1:5.

Принцип работы физической модели заключается в следующем: при подключении установки в сеть переменного тока, происходит пуск электродвигателя (1), подключённого к сети через линейный автотрансформатор (ЛАТР) (12). Функция автотрансформатора заключается в изменении напряжения, которое подаётся в цепь питания электродвигателя. Это позволяет изменять скорость вращения ротора двигателя. На валу электродвигателя жёстко закреплённый шкив клиноременной передачи (11). С помощью ремня вращение передаётся ведомому валу (2), который закреплён в подшипниковых опорах (3). На этом же валу закреплён эксцентрик (кулачок) (5), с помощью которого вращательное движение кулачка преобразуется в возвратно-поступательное движение подпружиненного толкателя (8). Тяга (10) шарнирно соединена с коромыслом (9). При перемещении толкателя (8), происходит передача движения на коромысло и тягу. Тяги (10) жёстко закреплённые с металлической платформой, на которую устанавливается ёмкость, которая имитирует кристаллизатор с жидкой сталью. В качестве моделирующей жидкости используется вода.

Для моделирования различных технических состояний механизма качания кристаллизатора с целью определения характерных временных и спектральных сигналов движения кристаллизатора при определённых неисправностях, а также изучения влияния технического состояния механиз-

ма на процессы волнообразования в кристаллизаторе, применялись кулачки с различным повреждением их профиля. Было изготовлено пять характерных кулачков (рисунок 2), которые обеспечивают работу физической модели, характерную различного рода неисправностям механизма качания кристаллизатора слябовой МНЛЗ.

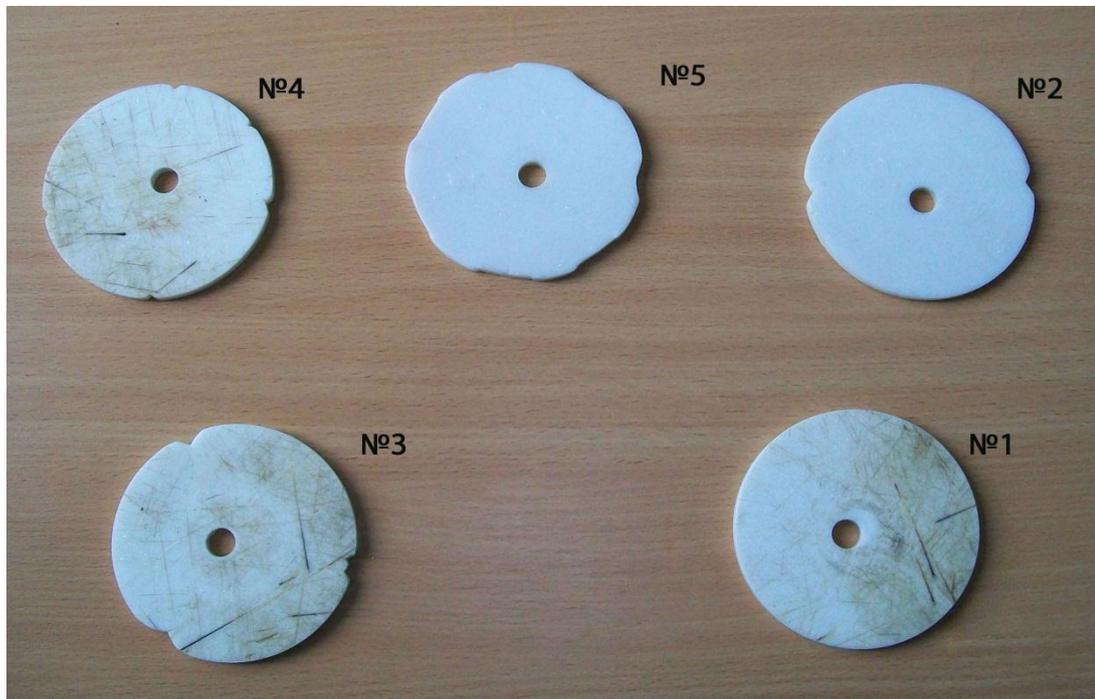


Рисунок 2 – Набор кулачков для физической модели механизма качания кристаллизатора слябовой МНЛЗ.

На рисунке 2:

- кулачок № 1 – кулачек без повреждений рабочего профиля, характеризующий исправное техническое состояние механизма качания кристаллизатора;
- кулачок № 2 - кулачок имеет две глубоких выемки на рабочем профиле, которые позволяют смоделировать удовлетворительное техническое состояние механизма качания кристаллизатора (применительно к реальной МНЛЗ – эксплуатация возможна, но при ближайшем техническом обслуживании необходимо устранить неисправность);
- кулачок № 3 - кулачок с повреждённым рабочим профилем, имеющим 3 глубоких (5-7 мм) выбоины. Этот кулачек характеризует неудовлетворительное состояние механизма качания кристаллизатора (применительно к реальной МНЛЗ – при эксплуатации в таком техническом состоянии повышен износ узлов механизма качания и не гарантируется стабильность процесса непрерывной разливки);
- кулачок № 4 - кулачок с повреждённым рабочим профилем, имеющим 5 неглубоких (2-5 мм) выбоин. Этот кулачек характеризует неудовлетворительное состояние механизма качания кристаллизатора (примени-

тельно к реальной МНЛЗ – при эксплуатации в таком техническом состоянии повышен износ узлов механизма качания, увеличивается вероятность образования волновых колебаний на поверхности металла в кристаллизаторе;

- кулачок № 5 - кулачок с повреждённым рабочим профилем, имеющим 7 протяженных выбоин. Этот кулачек характеризует неудовлетворительное состояние механизма качания кристаллизатора, при котором не поддерживается синусоидальный закон движения.

В качестве измерительных средств, с помощью которых определялись параметры движения платформы, использовались виброанализаторы СД-21 и 795М, которые дают возможность получить в результате измерений временные сигналы ускорения, скорости движения и перемещения, а также частотные сигналы (спектры) ускорения, скорости движения и перемещения. Эти сигналы позволяют оценить качество отработки заданных режимов качания и техническое состояние механизма качания кристаллизатора, сделать количественные оценки динамических нагрузок на механизм качания (за счёт изменения реального ускорения движения кристаллизатора).

Целями моделирования работы механизма качания слябовой МНЛЗ являлись выявление характерных форм временных и частотных сигналов скорости движения кристаллизатора, соответствующих различным техническим состояниям и определения частот качания кристаллизатора, при которых в нем происходит зарождение волновых колебаний поверхности жидкости для различных технических состояний механизма. Характерные формы сигналов скорости движения кристаллизатора представлены на рисунке 3.

На рисунке 3 представлены временные и частотные формы сигналов скорости движения кристаллизатора, соответствующие техническим состояниям, описанным ранее, которые реализуются на физической модели за счёт использования определённого кулачка. Применительно к рисунку 3:

- а) и б) – временной и частотный сигнал скорости движения платформы, реализуемый с использованием кулачка №1;
- в) и г) – временной и частотный сигнал скорости движения платформы, реализуемый с использованием кулачка №2;
- д) и е) – временной и частотный сигнал скорости движения платформы, реализуемый с использованием кулачка №3;
- ж) и з) – временной и частотный сигнал скорости движения платформы, реализуемый с использованием кулачка №4;
- и) и к) – временной и частотный сигнал скорости движения платформы, реализуемый с использованием кулачка №5.

Следует отметить, что исходя из данных, представленных на рисунке 3, в случае использования кулачка №1 временной сигнал скорости движения кристаллизатора наиболее сходен с идеальной синусоидой, которая

должна быть при исправном техническом состоянии механизма качания. Некоторые отклонения от синусоиды обуславливаются особенностями конструкции физической модели.

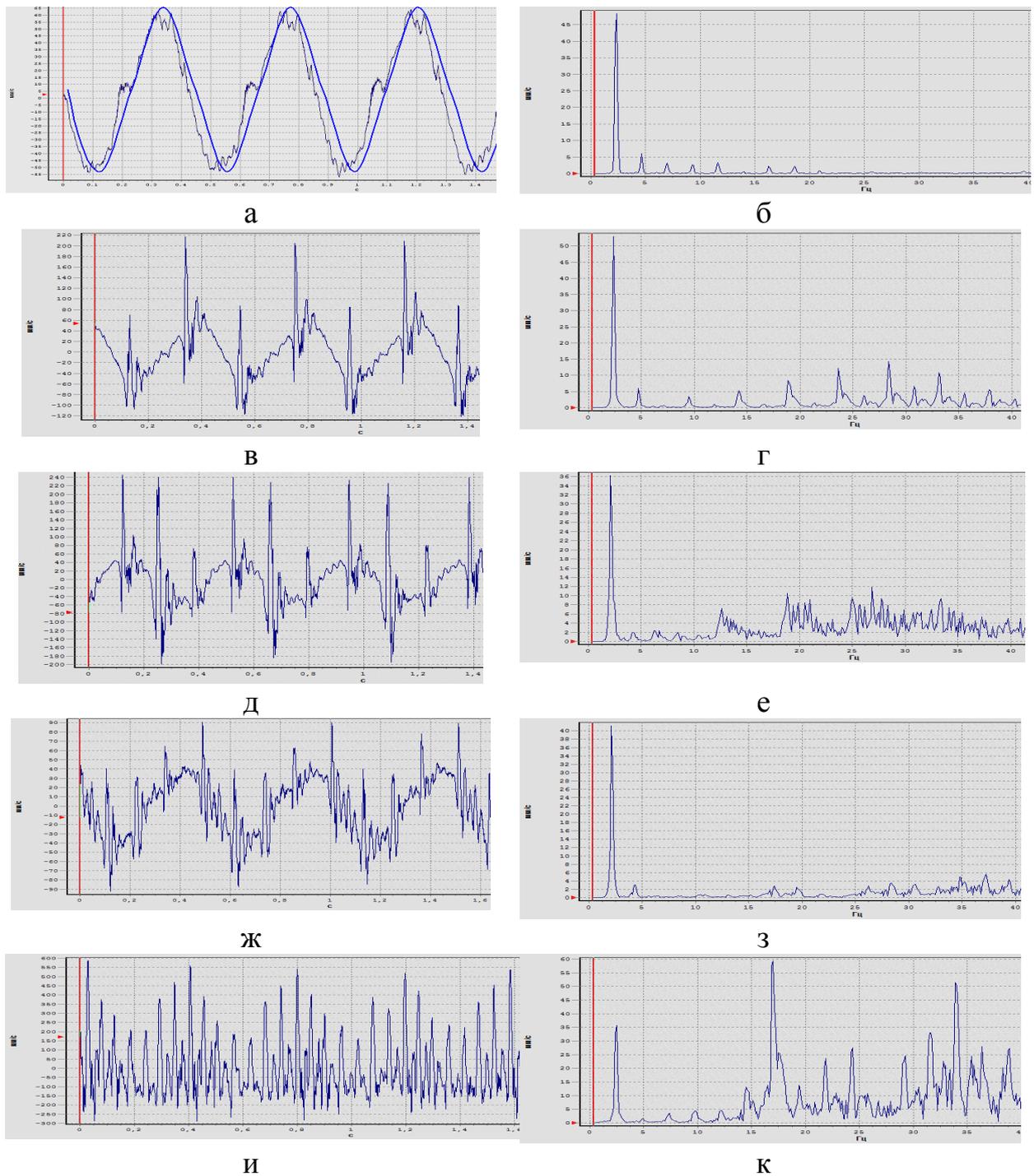


Рисунок 3 – Характерные временные и частотные формы скорости движения кристаллизатора, полученные в результате физического моделирования различных технических состояний механизма качания кристаллизатора слябовой МНЛЗ.

При использовании кулачков № 2-4, на временном сигнале скорости просматривается синусоидальный закон изменения скорости движения платформы. Но сходства этих сигналов с теоретическим законом невелико, так как при эксплуатации этих кулачков на временных сигналах наблюдается большое количество «паразитных биений», обусловленных повреждением профиля кулачка. Частоты и амплитуды этих биений также проявляются на соответствующих спектральных сигналах скорости движения платформы в виде гармоник основного сигнала. Эти биения оказывают негативное влияние на ресурс элементов механизма качания, а также на качество поверхности непрерывнолитой заготовки.

При моделировании неисправного состояния механизма качания кристаллизатора с использованием кулачка № 5 (рисунок 3и и 3к), отмечаем, что закон изменения скорости движения платформы носит полигармонический характер. Частотный сигнал характеризуется наличием большого числа гармоник, амплитуда которых превышает амплитуду основного сигнала. Эксплуатация в таком режиме механизма качания кристаллизатора приводит к ускоренному выходу из строя элементов механизма, а также к нарушению процессов образования твёрдой корочки в кристаллизаторе. Это может привести к возникновению аварийной ситуации типа прорыв металла под кристаллизатором.

Проводя описанные ранее исследования, связанные с моделированием технического состояния механизма качания кристаллизатора МНЛЗ на лабораторных установках, представляется возможной разработка методик выявления неисправностей и неправильной работы механизма в промышленных условиях [3].

С использованием физической модели механизма качания кристаллизатора в лабораторных условиях были проведены исследования процесса волнообразования на поверхности жидкости в кристаллизаторе, и изучено влияние технического состояния механизма качания кристаллизатора на эффект волнообразования. Для этого на качающуюся платформу, которая выполняет роль стола качания, была установлена и жёстко закреплённая ёмкость, имитирующая кристаллизатор. В качестве жидкости, имитирующей жидкую сталь, в экспериментальных исследованиях использовалась вода.

Во время экспериментальных исследований изменялись частота качания платформы и форма движения этой платформы (путём использования пяти кулачков с разными повреждениями профиля). В ходе эксперимента для различных кулачков фиксировались частоты качания платформы, при которых происходило зарождение волновых колебаний поверхности жидкости в кристаллизаторе, а также частоты, при которых происходило увеличение высоты волн. Значения этих частот представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1 - Частоты качания платформы, при которых происходит образование волновых колебаний на поверхности жидкости в кристаллизаторе.

№ кулачка	Частота качания, соответствующая началу зарождения волновых колебаний (Гц)	Частота качания, соответствующая увеличению высоты волн (Гц)
1	3,50	4,125
2	3,25	4,0
3	2,875	3,75
4	2,25	4,25
5	1,125	1,75

На рисунке 4 представлены фотографии волновых колебаний поверхности жидкости, соответствующие периоду зарождения (рисунок 4а) и периоду увеличения высоты волновых колебаний (рисунок 4б) жидкости.



а) - зарождение волновых колебаний



б) - увеличение высоты волновых колебаний

Рисунок 4 – Волновые колебания жидкости в кристаллизаторе, возникающие под воздействием возвратно-поступательного движения кристаллизатора.

Выводы

В результате физического моделирования образования волновых колебаний на поверхности жидкости можно сделать следующий вывод: ухудшение технического состояния механизма качания кристаллизатора слябовой МНЛЗ ведет к снижению частоты волнообразования в кристаллизаторе. Рабочий диапазон частот качания кристаллизаторов промышленных МНЛЗ составляет 0,8-2,5 Гц. Таким образом, при снижении частот волнообразования (вызванных изменением технического состояния механизма качания), повышается вероятность совпадения её значения с рабочей частотой качания кристаллизатора (эффект резонанса), что приведёт к об-

разованию волновых колебаний поверхности металла. Следствием этих колебаний могут быть сбои в автоматизированной системе поддержания уровня металла в кристаллизаторе, что в свою очередь повлечёт снижение скорости разливки, вплоть до полной остановки ручья. Кроме того, при волновых колебаниях поверхности металла происходит затягивание шлаковых частиц в металл, что приводит к увеличению неметаллических включений в заготовке [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еронько С.П. Физическое моделирование процессов внепечной обработки стали / С.П. Еронько, С.В. Быковских. – К.: Техника, 1998. – 136 с.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1981. – 447 с.
3. Оценка параметров качания кристаллизатора МНЛЗ и их влияния на качество поверхности заготовки / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз, А.Ю. Цупрун, Е.Ю. Жибоедов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – №3. – С. 17-21.
4. Смирнов А.Н. Влияние возвратно-поступательного движения кристаллизатора на образование волн / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 235-237.

Надійшла до редакції 23.11.2012

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.М. Смірнов

О.В. Антикуз

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА СЛЯБОВОЇ МБЛЗ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРОЦЕС ХВИЛЕУТВОРЕННЯ В КРИСТАЛІЗАТОРІ

Розроблена фізична модель механізму хитання кристалізатора слябової МБЛЗ, що дозволяє здійснювати дослідження роботи механізму. На цій установці було проведено моделювання роботи механізму хитання кристалізатора в різних його технічних станах. Встановлено вплив технічного стану механізму хитання кристалізатора на явища утворення хвильових коливань на поверхні рідини в ньому. Визначені частоти хитання кристалізатора, при яких в ньому утворюються хвилі і частоти, при яких відбувається збільшення висоти хвиль.

Ключові слова: механізм хитання кристалізатора, фізичне моделювання, хвильові коливання, технічний стан.

O.V. Antykuz

Donetsk National Technical University, Donetsk

PHYSICAL MODELING OF SOME TECHNICAL STATES OF THE SLAB CASTER MOLD OSCILLATION MECHANISM AND THEIR INFLUENCE ON THE PROCESS OF WAVE FORMATION IN THE MOLD

A physical model of the slab caster mold oscillation mechanism, which allows studying the mechanism operation mode, was created. With the help of this model the simulation of mold oscillation mechanism operation in its different technical states was carried out. The influence of the mold oscillation mechanism technical condition on the phenomenon of liquid sur-

face wave oscillations was considered. Mold oscillation frequencies, which produce waves, and the frequency that increases wave height were defined.

Keywords: mold oscillation mechanism, physical modeling, wave oscillations, technical condition.

УДК 669.21/23

И.Ф. ЧЕРВОНЫЙ*(д-р техн.наук, проф.), **Р.Н. ВОЛЯР***(канд.техн.наук),
В.В. ХОМУТОВ**(канд.техн.наук), **И.В. ХОМУТОВ***,
В.Н. БРЕДИХИН***(канд.техн.наук, ст.науч.сотр.),
Н.А. МАНЯК***(д-р техн.наук, проф.)

* Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье

** ООО «Донецкий кряж», Донецк

***Донецкий национальный технический университет, Донецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В РЕАКТОРЕ КОНУСНОГО ТИПА

Рассмотрена возможность извлечения тонкого золота из золотосодержащих руд месторождений Украины при выщелачивании их в реакторах конусного типа. Использование реактора конусного типа, для выщелачивания золота содержащего крупные частицы, позволяет избежать потери металла в виде не растворившихся частиц. Это позволит сосредоточить наиболее медленно растворяющиеся частицы золота в зоне самого мощного динамического потока выщелачивающего раствора расположенной в вершине конуса реактора. Установлены оптимальные параметры процесса выщелачивания золота в раствор в реакторе конусного типа: массовое соотношение жидкой и твердой фаз должно соответствовать 2:1, концентрация цианида в выщелачиваемом растворе на уровне 1,5 г/л, время процесса выщелачивания около 12 часов, разгрузка пульпы от выщелачивания с остатком около 20% материала в вершине конуса на повторный цикл переработки. Применение указанных параметров процесса выщелачивания позволяет извлекать золото в раствор на уровне 97 %.

Ключевые слова: золото, шлик, концентрат, выщелачивание, цианистый раствор, конусный реактор.

Введение

В последние годы происходит значительное увеличение добычи благородных металлов, в частности золота. Это связано с тем, что золото является основным банковским металлом и является валютным резервом многих стран. Особенно актуальным этот вопрос является из-за нестабильности конвертируемых мировых валют, падением цен на ценные бумаги и последствий мирового финансового кризиса.