

**ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»  
Институт нефти и газа**

**Разработка нового поколения  
систем принудительной  
циркуляции металлических  
расплавов**

**Красноярск 2014 г.**

# 1. Актуальность темы

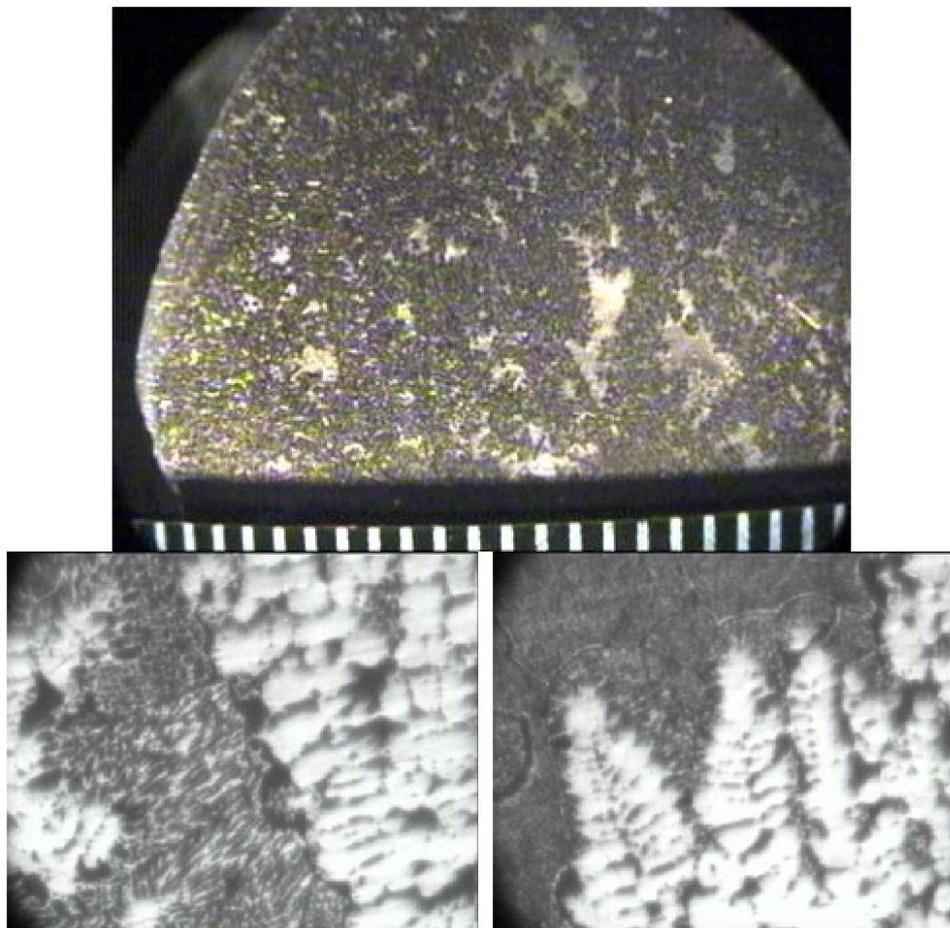
На сегодняшний день одним из наиболее перспективных направлений в металлургии и материаловедении является получение материалов и сплавов, обладающих уникальными антифрикционными, изностойкими, радиационно-стойкими и др. свойствами, на основе систем несмешивающихся компонентов.

Необходимое условие для их получения – обеспечение равномерности распределения и мелкодисперсности компонентов материала или сплава по всему его объему.

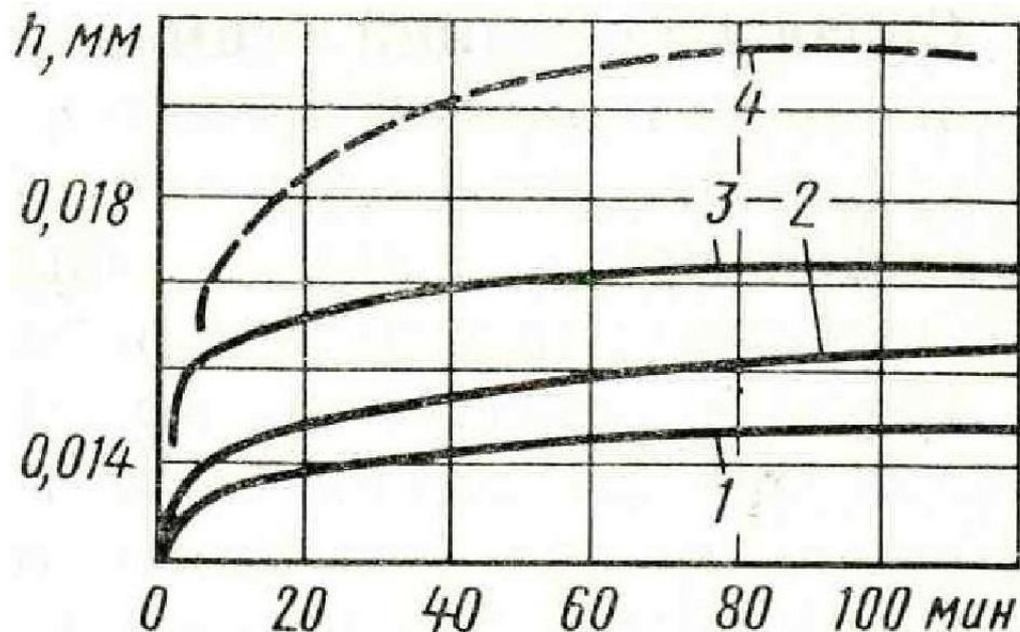
## 2. Решаемая проблема

Существующие МГД-системы с **1-**, **3-** и **4-** фазными индукторами не позволяют обеспечить необходимую равномерность распределения температур и компонентов расплава по его массиву, особенно при получении сплавов на основе систем несмешивающихся компонентов (например, сплавов **Cu-Pb**, **Al-Pb** и др.).

### 3. Микрофотографии шлифа сплава **Cu-Pb** (**Cu – 70 %**, **Pb – 30 %**)



#### 4. Зависимость линейного износа сплава **Cu-Pb** (**Cu – 64 %**, **Pb – 36 %**) от времени испытания



- 1 – сферические включения свинца наименьшего диаметра; 2 – более крупные сферические включения свинца; 3 – литой сплав Cu-Pb; 4 – чистая медь

## 5. Цель разработки

Создание нового поколения систем принудительной циркуляции (СПЦ) жидких металлов, позволяющих:

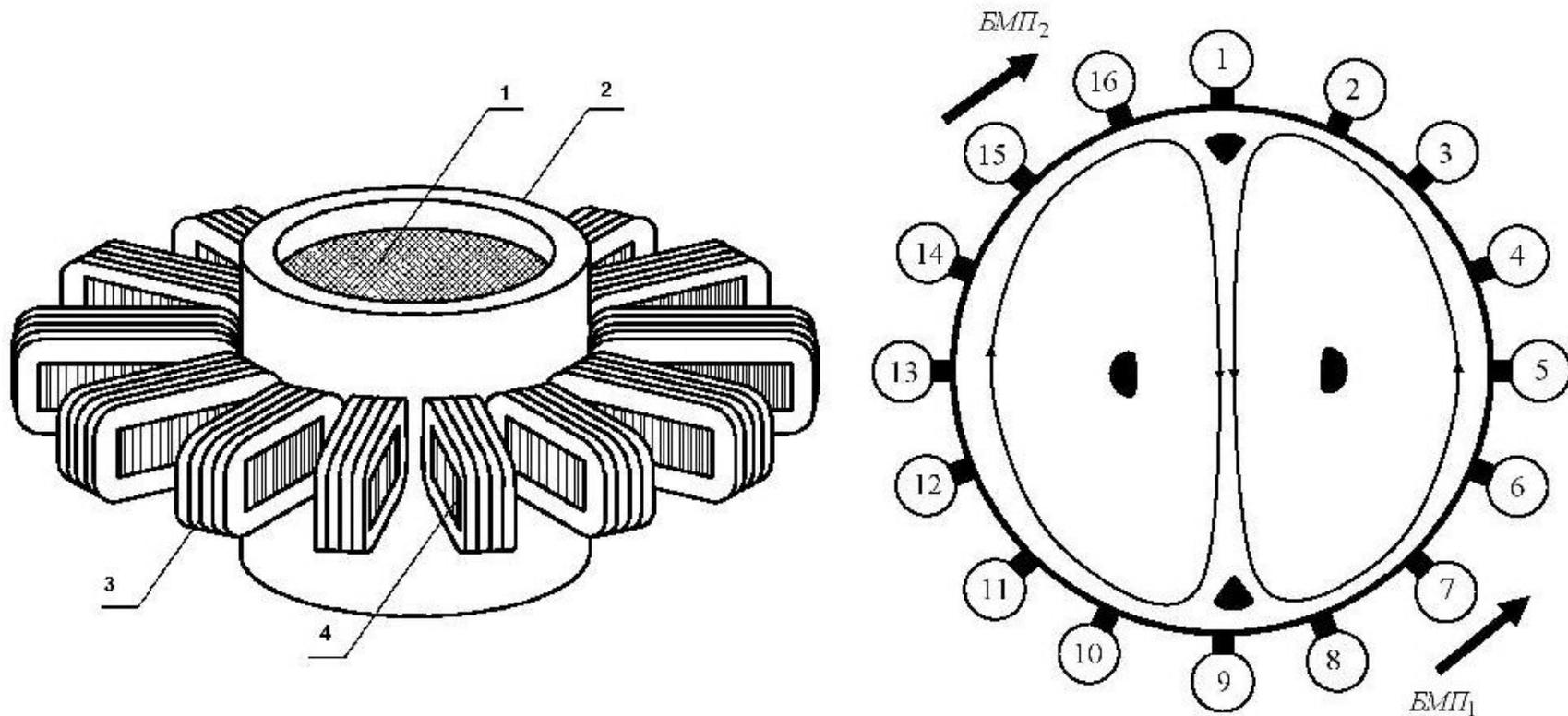
- получать сплавы (в том числе и на основе систем несмешивающихся компонентов – антифрикционные, износостойкие, радиационно-стойкие и др.) улучшенного качества за счет повышения равномерности распределения компонентов расплава по его массиву;
- сократить время, необходимое для производства сплава (т.е. сократить затраты электроэнергии).

## 6. Способ решения проблемы (отличительные особенности разрабатываемых СПЦ)

Поставленная задача решается за счет применения:

- многофазных индукторов электромагнитных перемешивателей (ЭМП) с числом фаз  **$m > 4$** ;
- фазно-полюсного управления (ФПУ) индукторами ЭМП, при котором обеспечивается изменение числа пар полюсов магнитного поля, создаваемого в массиве расплава.

## 7. Вариант исполнения многофазного ЭМП и его условное обозначение



1 – металл; 2 – тигель, миксер, кристаллизатор и т.д.; 3 – одна фазная обмотка многофазного индуктора; 4 – магнитопровод фазной обмотки индуктора; БМП – бегущее магнитное поле

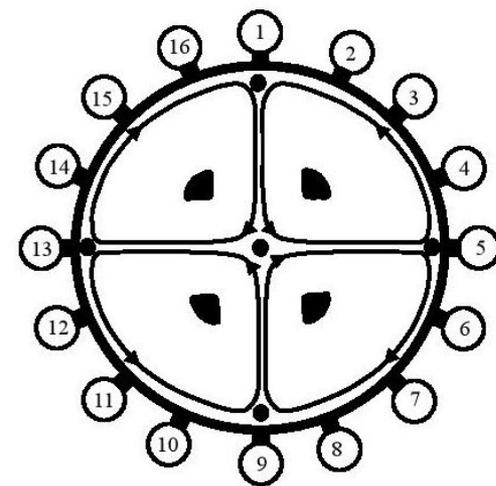
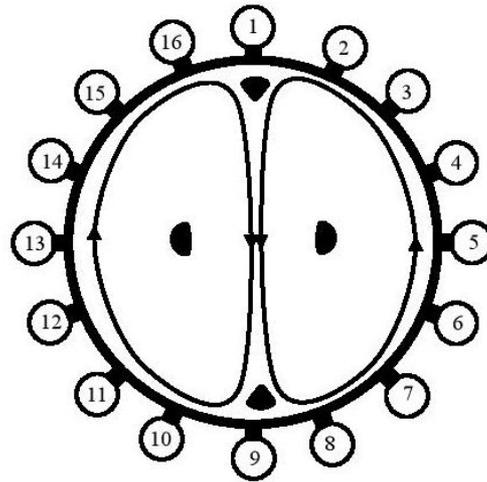
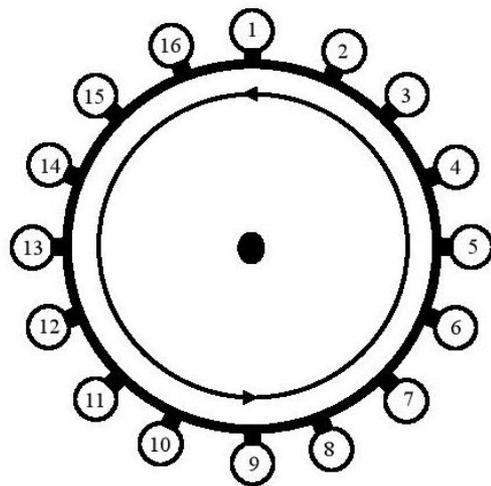
## 8. Эффект от применения ФПУ

При непрерывном изменении (в соответствии с выбранным алгоритмом) характеристического параметра ФПУ будет наблюдаться:

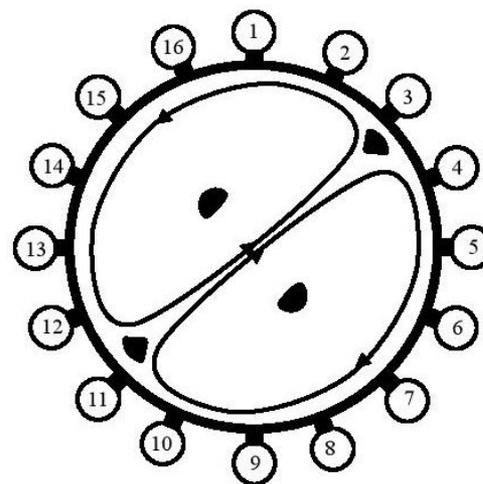
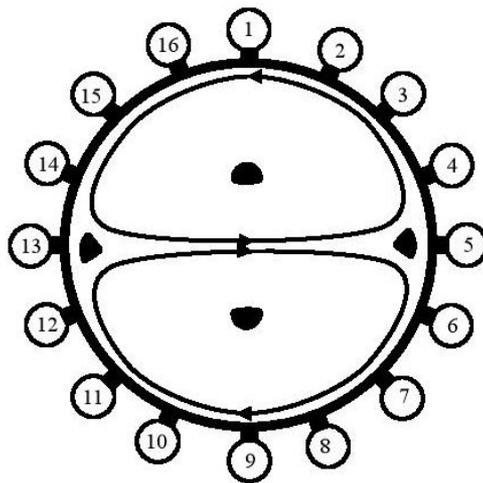
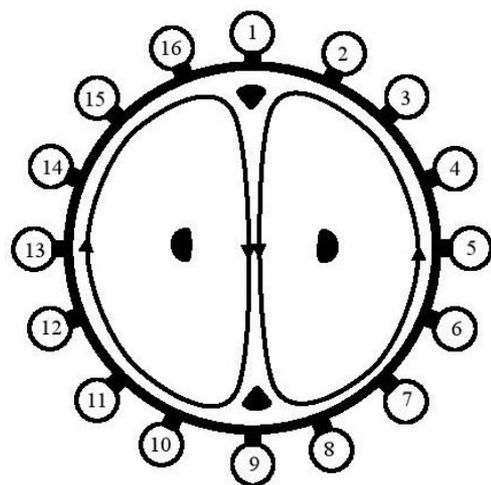
- постоянное изменение количества, пространственного расположения и конфигурации вихревых зон в массиве расплава;
- устранение застойных зон в массиве расплава;
- появление эффекта, адекватного увеличению глубины проникновения магнитного поля в массив расплава.

Результатом всего этого будет являться обеспечение равномерного распределения химического состава и температур по всему массиву расплава.

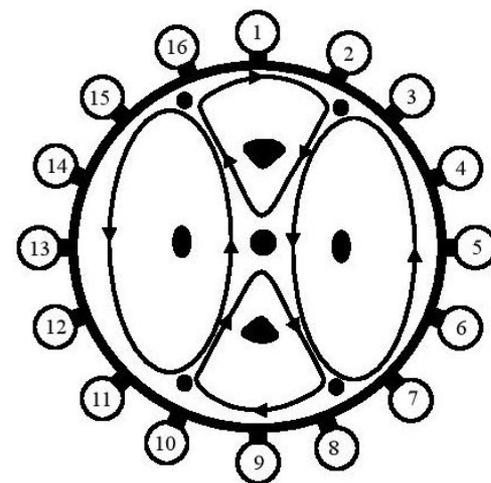
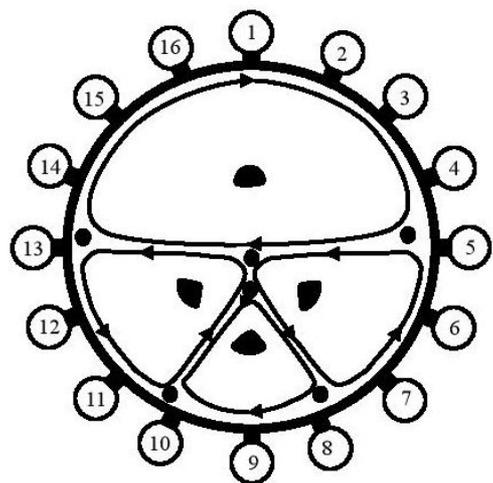
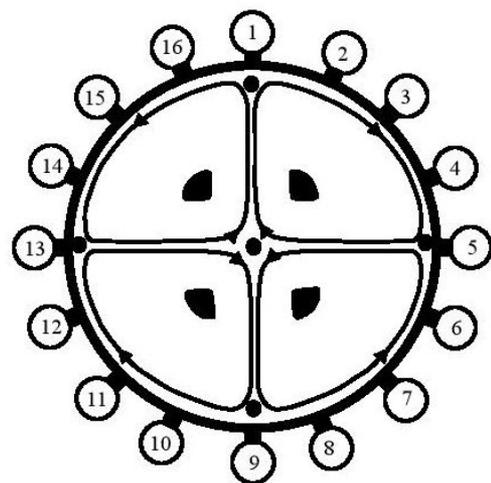
## 9. Изменение количества вихревых зон в массиве расплава



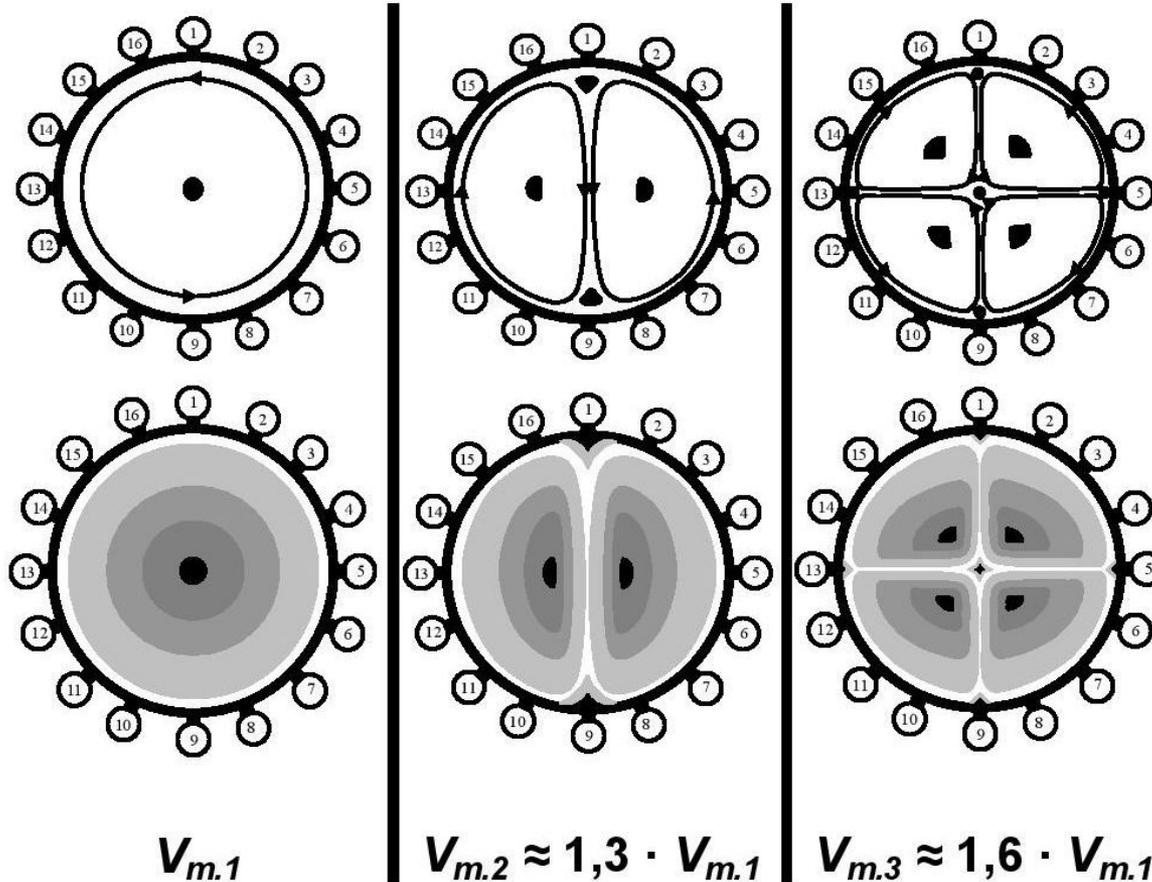
# 10. Изменение пространственного расположения вихревых зон в массиве расплава



# 11. Изменение конфигурации вихревых зон в массиве расплава



## 12. Эффект, адекватный увеличению глубины проникновения магнитного поля в массив расплава



# 13. Возможность регулирования электромагнитных сил, действующих на частицы расплава, при использовании ФПУ

Комплексное использование ФПУ и частотного регулирования позволит увеличивать электромагнитные ponderomotorные силы, действующие на частицы расплава, при увеличении его вязкости из-за изменения химического состава расплава или в процессе его кристаллизации.

Причиной такого изменения электромагнитных ponderomotorных сил является увеличение числа пар полюсов магнитного поля, создаваемого индуктором, которое наблюдается при применении ФПУ.

Цель регулирования электромагнитных ponderomotorных сил, действующих на частицы расплава, - обеспечение необходимого качества сплава.

## 14. Решение проблемы взаимной компенсации (гашения) вращающихся магнитных полей

Разработан ряд пространственных, временных и пространственно-временных способов уменьшения взаимной компенсации (гашения) вращающихся магнитных полей, создаваемых близко расположенными друг к другу электромагнитными перемешивателями жидкого металла при непрерывной разливке расплава в несколько изложниц.

Спасибо за внимание!