

### ТРЕХФАЗНЫЙ БЕЗОБМОТОЧНЫЙ МГД-НАСОС «ТАНДЕМ»

МГД-установка "Тандем", в соответствии с рисунком 1, содержит трехфазный погружной МГД-насос 2, трехфазный индуктор трансформаторного типа 3, запитывающий трехфазными токами погружной и наружный МГД-насосы. Оба МГД-насоса выполнены безобмоточными.

Погружной МГД-насос содержит шихтованную магнитную систему в соответствии с рисунком 2,а, состоящую из трех стержней 1, с одного торца насоса зашунтированных ярмом 2, а с другого – имеющих три полюсных наконечника 3. Полюсные наконечники 3 образуют зазор 4, в котором устанавливается МГД-канал. Полюсные наконечники расположены относительно друг друга так, что их продольные оси в поперечном сечении являются вершинами равнобедренного треугольника, а поверхности полюсных наконечников, образующие зазор 4, выполнены в форме двухгранных углов по  $120^{\circ}$ . Полюсные наконечники 3 одеты в теплоизоляционные рубашки, предотвращающие также проникновение жидкого металла в шихтованную магнитную систему. Если в жидкий металл погружаются также и стержни и ярмо, вся магнитная система одевается в теплоизоляционную рубашку.

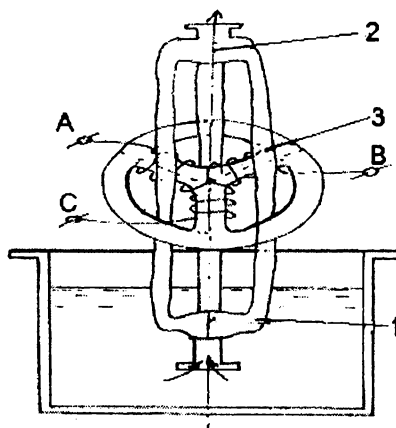


Рис. 1. Схема МГД-насоса "Тандем" (магнитные системы сняты)

Зазор 4 между полюсными наконечниками 3 в поперечном сечении имеет вид трехлучевой звезды. Канал для перекачивания жидкого металла, в соответствии с рисунком 2,б, состоит из трех труб, а сваренные сплюсненные концы этих труб образуют МГД-каналы 7 и 8. Стенки сплюсненных концов привариваются друг к другу, а к ним приваривается входной патрубок 9, расположенный со стороны противоположной ярму магнитной системы погружного МГД-насоса. Другие концы трех труб также сплющиваются, стенки их свариваются между собой и к ним привариваются выходной патрубок 10, так образуется МГД-канал наружного МГД-насоса. Наружный МГД-насос также имеет шихтованную магнитную систему, состоящую из трех полюсных наконечников, образующих зазор в форме трехлучевой звезды, трех стержней, зашунтированных со стороны выходного патрубка ярмом, имеющим выходное осевое отверстие, через которое проходит выходной патрубок 10.

Трехфазный индуктор трансформаторного типа, в соответствии с рисунком 2,в служит для питания трехфазными токами МГД-каналы погружного и наружного МГД-насосов. Индуктор содержит шихтованный магнитопровод и три обмотки катушечного типа. Магнитопровод содержит три стержня 11 образующих трехлучевую звезду, стержни 11 замкнуты между собой кольцевым ярмом 12, также шихтованным из пластин трансформаторной стали.

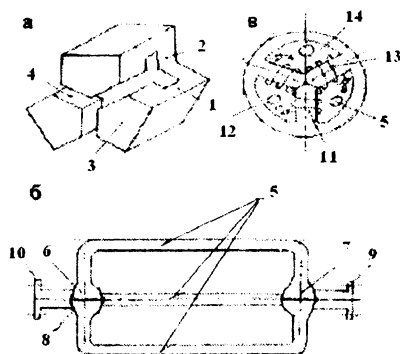


Рис. 2. Основные узлы МГД-насоса "Тандем"

*а* – магнитная система; *б* – канал для жидкого металла;

*в* – трехфазный индуктор

На три стержня 11 намотаны три обмотки 13, являющиеся первичными обмотками трансформатора.

Три радиальных стержня 11 и кольцевое ярмо 12 образуют трансформаторный магнитопровод с тремя окнами 14. Через каждое окно 14 проходит по одной трубе 5 из трех труб, образующих канал для жидкого металла; эти трубы 5 совместно с МГД-каналом 7 и 8 являются вторичными обмотками трехфазного индуктора трансформаторного типа.

Три первичные катушечные обмотки 13 индуктора соединены по схеме звезда или треугольник. На обмотки подается трехфазное напряжение и по обмоткам текут трехфазные токи. При этом по стенкам МГД-канала 7, 8 и стенкам соединяющих их труб 5, 6 потекут вторичные трансформаторные токи и нагревают стенки до температуры перекачиваемого металла.

После этого МГД-установка на миксере с жидким металлом устанавливается так, что погружной МГД-насос погружается в жидкий металл миксера. Тогда токи потекут по жидкому металлу, заполнившему МГД-канал. Эти токи создадут собственные магнитные потоки, замыкающиеся по полюсным наконечникам 3, стержням 1 и ярму 2. В результате между полюсными наконечниками 3 в МГД-канале 7 погружного МГД-насоса создадутся магнитные поля. При взаимодействии радиальных токов с этими полями создадутся электромагнитные силы, направленные аксиально от входного патрубка 9 к магнитному ярму 2. Эти силы втягивают жидкий металл из миксера МГД-канал 7 и далее нагнетают металл в магнитопроводы 5 и МГД-канал 8 наружного МГД-насоса. При этом наружный МГД-насос также начнет нагнетать жидкий металл в выходной патрубок 10 МГД-установки. В результате жидкий металл под напором МГД-каналов 7 и 8 погружного и наружного МГД-насосов перекачивается из миксера на разлив (или в другой металлургический агрегат).

После запуска МГД-установку можно переместить так, чтобы погружной МГД-насос поднялся выше зеркала металла в миксере, что приведет к увеличению его срока службы.

Предлагаемая МГД-установка "Тандем", включающая погружной МГД-насос, наружный МГД-насос, индуктор трансформаторного типа, питающий каналы МГД-насосов трехфазными токами, обладает по сравнению с прототипами следующими достоинствами: объединение трех фазных секций в единый МГД-канал позволяет устранить пульсирующую составляющую электромагнитных сил и электромагнитного давления, а следовательно и вибрации, раз-

рушающие канал. Обеспечивается равномерная загрузка фаз трехфазной электросети. Трансформаторный ввод тока в МГД-каналы позволяет избежать применения громоздких токопроводов электрического тока величиной порядка 10 килоампер. При использовании трехфазной системы электромагнитный напор МГД-насоса увеличивается в 2-3 раза в тех же габаритах. Имеет место удобный разогрев металлопровода перед подачей в него жидкого металла с температурой 8000С. Масштабные показатели насоса улучшаются в 2-3 раза. МГД-установка не требует для запуска вакуумной установки. Отсутствие обмоток в высокотемпературных зонах МГД-каналов позволяет использовать МГД-установку для перекачивания металлов с температурой 8000°С и выше.

**А.А. Емельянов, А.В. Клишин,  
А.В. Медведев**

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ С ПЕРЕМЕННЫМИ $\bar{\psi}_R - \bar{i}_S$**

При выполнении студентами дипломных и курсовых работ, связанных с моделированием асинхронного двигателя, возникает необходимость увеличения вариантов их модификации. Одним из способов решения этой задачи является возможность выразить электромагнитный момент через различную комбинацию переменных токов и потокосцеплений двигателя [1, с.238] и [2]. Данная статья позволяет сформировать у студентов представление об одном из множества вариантов моделирования АД в «Matlab-Simulink». Вывод уравнений даем без сокращений, т.к. важен не только конечный результат, но и путь, ведущий к цели.

Основные уравнения математической модели АД, записанные в векторной форме в относительных единицах, имеют следующий вид [3]: