

В. В. Выломов, Л. М. Дронник, А. В. Катков, С. Ю. Реуцкий

Лаборатория МГД, г. Харьков, Украина

Н. Н. Ошканов, А. Г. Шейнкман

Белоярская атомная станция, пос. Заречный, Россия

И. М. Толмач

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ НАКЛАДНОГО ИНДУКЦИОННОГО
НАСОСА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ МАЛЫХ РАСХОДОВ ЖИДКОГО
МЕТАЛЛА В КРУГЛОЙ ТРУБЕ***

*V. V. Vylomov, L. M. Dronnik, A. V. Katkov, S. Yu. Reutskii,
N. N. Oshkanov, A. G. Sheinkman,*

I. M. Tolmach

1017 46th Str., apt. 3, Brooklyn NY 11219, USA

**DEVELOPMENT AND CREATION OF A LAID-ON LOW FREQUENCY
INDUCTION PUMP WITH A SMALL LIQUID METAL FLOW RATE
IN CIRCULAR PIPE**

In complicated liquid metal large diameter tube systems, it is sometimes — when e. g. the main pumps are stopped for routine inspection — necessary to sustain the metal flow in one of the tubes not violating the hermeticity of the whole system. To meet these requirements, a special inductor with a profiled magnetic core fitted to the outer contour of the tube where the metal should be pumped, was developed and manufactured. The tube diameter is 325 mm, planned flow rate (sodium at 330 °C) 140 m³/h, pressure to be developed 2 kPa, frequency 1 Hz. A special low frequency power source was designed and built. A no-load test was performed; the “hot” tests are planned.

Введение. При эксплуатации второго жидкометаллического контура быстрых реакторов необходимо периодически останавливать главные циркуляционные насосы (ГЦН) контура для профилактической проверки. Для охлаждения реакторной зоны по крайней мере один из ГЦН должен работать. При этом желательно остановить все ГЦН второго контура для сокращения полного времени профилактического осмотра и ремонта и улучшения качества этих работ. Конечно, для этого следовало бы устанавливать в контуре какие-либо обычные малые насосы. Однако если это и не было предусмотрено заранее (при монтаже контура), желательно обеспечить создание малых перекачек без разрезания контура при всех отключенных ГЦН. С этой целью и был разработан и построен специальный индуктор, каналом же служила существующая круглая труба.

1. Описание насоса. Индукционный насос имеет два линейных индуктора бегущего магнитного поля. Каналом является одна из круглых труб основного контура. Магнитный сердечник каждого индуктора имеет углубление, охватывающее около четверти периметра окружно-

*Русский текст авторов под ред. Ю. Бирзвалка.

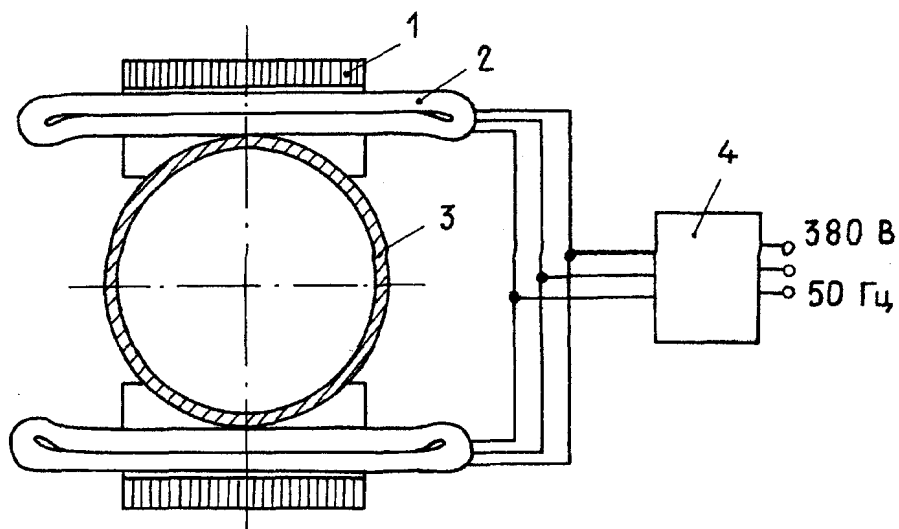


Рис. 1. Конструктивная схема предложенного индукционного насоса: 1 — магнитный сердечник с выемкой; 2 — катушка обмотки; 3 — круглая труба с натрием; 4 — источник тока низкой частоты.

Fig. 1. A scheme of the induction pump proposed. 1 — magnetic core with an arc-like deepening; 2 — winding coil; 3 — circular sodium pipe; 4 — low frequency power source.

сти трубы, как показано на рис. 1. Поскольку диаметр трубы составляет 325 мм, немагнитный зазор такого насоса довольно велик, и для уменьшения влияния скин-эффекта следует использовать источник питания низкой частоты.

В лаборатории МГД (г. Харьков, Украина) был создан съемный индуктор, образующий вместе с трубой насос. Он имеет следующие расчетные параметры: расход $140 \text{ м}^3/\text{ч}$; диаметр трубы 325 мм, толщина

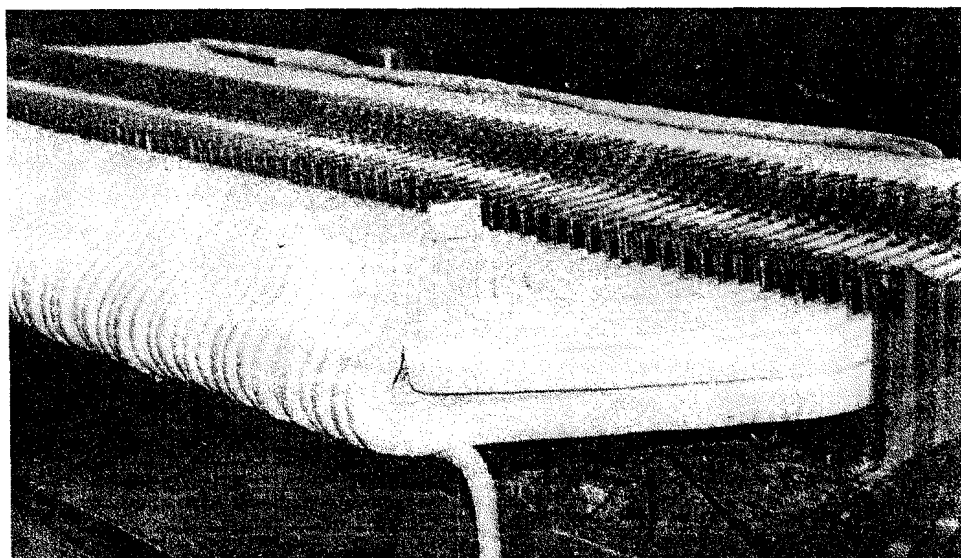


Рис. 2. Индуктор с дугообразной выемкой в сердечнике.

Fig. 2. The inductor with an arc-like deepening in the magnetic core.

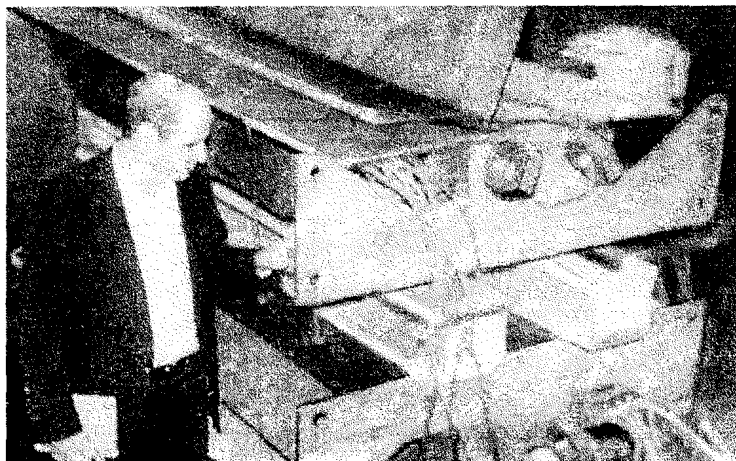


Рис. 3. Два низкочастотных индуктора в период испытаний на холостом ходу.

Fig. 3. Two low frequency inductors during the no-load test.

стенки 12 мм, нержавеющей сталь X19H9; рабочее тело — натрий при 330 °С; номинальное развиваемое давление 2 кПа (насос может развивать в четыре раза большее давление для компенсации возможных внутренних перетеканий в канале, не учтенных в расчете); частота тока питания 1 Гц (источник питания, разработанный и созданный в НИИ ХЭМЗ, г. Харьков, позволяет регулировать ее в диапазоне 0,5 — 12,5 Гц для выбора оптимального значения). Индуктор имеет трехфазную обмотку; оба индуктора соединены параллельно; фазный ток одного индуктора 59 А, полный фазный ток 118 А. Линейное напряжение 180 В (источник питания позволяет его изменять в пределах 30 — 230 В для плавной регулировки расхода). Номинальная активная мощность, потребляемая насосом, составляет 38 кВт при температуре индукторов 300 °С. Источник тока низкой частоты питается от трехфазной сети 380 В, 50 Гц. Полюсный шаг индукторов 0,55 м, число полюсов — четыре. Была использована двухслойная обмотка с жаропрочной изоляцией, созданной во ВНИИ ЭИМ (г. Москва, Россия).

На рис. 2 показан один из индукторов, на рис. 3 — два индуктора, собранные для испытаний холостого хода (без трубы).

При проектировании насоса были решены следующие задачи.

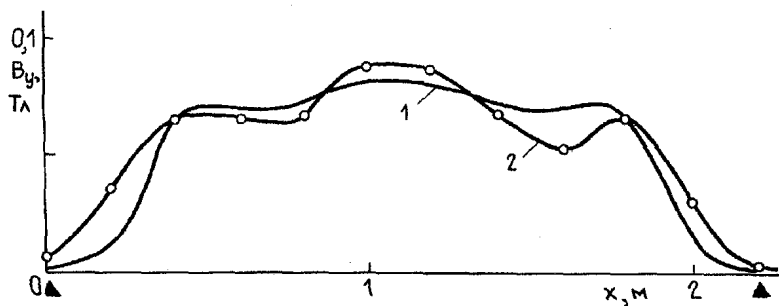


Рис. 4. Распределение магнитного поля: 1 — расчет, 2 — эксперимент. $I_{ph} = 120$ А. Концы индуктора отмечены зачерненными треугольниками.

Fig. 4. Magnetic field distribution; 1 — calculation; 2 — experiment. $I_{ph} = 120$ А. The positions of the inductor ends are marked by shaded triangles.

Табл. 1

Результаты испытаний насоса и источника тока низкой частоты на холостом ходу

Номер режима	Фаза	Первичная сторона, 380 В, 50 Гц		
		Фазное напряжение, В	Фазный ток, А	Мощность фазы, Вт
1	А	220	120	3600
	В	220	119	4200
	С	220	120	3720
2	А	222	132	5100
	В	222	133	5550
	С	222	135	5100
3	А	222	133	5250
	В	222	134	5700
	С	222	136	5400
Вторичная сторона (насос)				
		Частота, Гц	Фазный ток, А	
1		1,0	113,5	
2		1,0	123,8	
3		0,83	123,8	

1) Выполнен расчет распределения внешнего магнитного поля в рабочем объеме, причем была учтена реальная конфигурация магнитного сердечника; на рис. 4 показаны расчетная кривая распределения магнитного поля (расчет был выполнен С. Лифицем) и экспериментальное распределение; данные расчета и эксперимента согласуются удовлетворительно.

2) Распределение индуцированного в жидком металле тока найдено в электромагнитном приближении в предположении $R_m \ll 1$, когда легко можно рассчитать и перепад давления, развиваемый насосом.

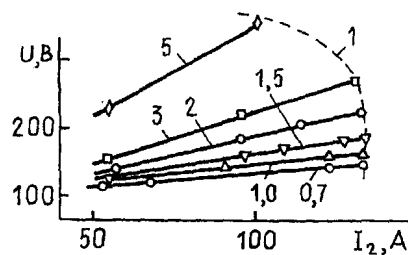
2. Некоторые результаты испытаний холостого хода. Получены экспериментальные данные холостого хода, когда индукторы включены параллельно и подключены к источнику низкой частоты (см. табл. 1). В зазоре между установленными индукторами не было трубы с жидким металлом.

При эффективном значении фазного тока двух индукторов 120 А линейное напряжение на насосе составляет 150 В при частоте 1 Гц; температура индукторов 50 °С и потери в двух индукторах равны 14 кВт. При горячих индукторах (300 °С) потери возрастают до 30 кВт, что неплохо согласуется с расчетом.

На рис. 5 показаны зависимости напряжения индукторов от разного тока для разных частот. Система управления источником питания

Рис. 5. Зависимости напряжения индуктора от фазного тока при частотах (Гц), указанных у кривых. (Штриховая кривая 1 объяснена в тексте.)

Fig. 5. Inductor voltage vs. phase current at frequency (Hz) indicated at the curves. (The dashed curve 1 has been explained in text.)



позволяет менять одним резистором только частоту, поддерживая напряжение неизменным, либо менять только напряжение (другим резистором) при неизменной частоте. Как видно из рис. 5, существует предел для тока (кривая 1), что связано с особенностями системы управления источником.

Лаборатория МГД может изготавливать такие насосы для труб диаметром 100 — 325 мм. КПД насоса возрастает при уменьшении диаметра: при диаметре 325 мм КПД равен $\sim 1\%$, а при 100 мм $\approx 5\%$ (без учета внутренних течений в канале).

Поступила в редакцию 04.07.94