

*В. С. Головки, Л. М. Дронник, И. У. Дьяченко, Н. И. Новиков,
С. Ю. Реуцкий, В. Е. Стрижак, И. М. Толмач*

Лаборатория МГД, г. Харьков, Украина

С. М. Сараев, Ю. А. Филимонцев, А. Г. Шейнкман

Белоярская атомная станция, пос. Заречный, Россия

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МОЩНОГО НАТРИЕВОГО
ИНДУКЦИОННОГО НАСОСА НА 3000 м³/ч, 0,5 МПа БЕЗ ВОДЯНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ**

*V. S. Golovko, L. M. Dronnik, I. U. D'yachenko, N. I. Novikov,
S. Yu. Reutskii, V. E. Strizhak, I. M. Tolmach, S. M. Saraev,
Yu. A. Filimontsev, A. G. Sheinkman*

**DEVELOPMENT AND CREATION OF A LARGE POWER,
3000 m³/h, 0.5 MPa, SODIUM PUMP WITHOUT WATER COOLING**

The concept of modular flat linear induction pumps (FLIP) without water cooling of the winding has been proposed and developed at the Laboratory of MHD, Khar'kov, Ukraine. In these pumps, the total flow rate is equal to the sum of the flow rates of the modules. The concept proposed can be useful when designing large power electromagnetic pumps for the main loops of fast breeder reactors with liquid sodium as the heat carrier. A large power modular FLIP was developed and built in cooperation of the Laboratory of MHD, and two plants, the Electromechanical and the Turbine one, of Khar'kov. The two-module FLIP had following design parameters: liquid to be pumped was sodium at 350 °C, flow rate 3000 m³/h, head 0.5 MPa, frequency 37.5 Hz, efficiency 38%, number of poles was 10, the pole pitch 276 mm, the wall thickness 6 mm, the mass 25 t. No-load tests of the inductors and those of the hermeticity of the ducts have been carried out. The problem of "hot" operation tests is still to be solved.

Развитие ядерной энергетики связано с вводом в эксплуатацию реакторов на быстрых нейтронах (так называемых быстрых реакторов), в которых в качестве теплоносителя используется жидкий натрий. Во вспомогательных контурах таких реакторов уже давно эксплуатируются электромагнитные индукционные насосы, доказавшие свои хорошие качества. Однако в основных контурах быстрых реакторов в настоящее время в качестве главных циркуляционных насосов (ГЦН) используются только механические (центробежные) насосы.

В ряде организаций были предприняты попытки осуществления другого технического решения — создание для указанной цели больших электромагнитных индукционных насосов. Можно отметить работы [1] (General Electric Company, США), в которой описано создание цилиндрического индукционного насоса для натрия, имеющего следующие характеристики: расход 3300 м³/ч, развиваемое давление

* Русский текст авторов под ред. Ю. Бирзвалка.

12,9 кгс/см², частота 20 Гц, КПД 45%, масса 52,3 т; охлаждение обмоток азотом. Однако насос не был испытан.

В Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры (Санкт-Петербург, Россия) был разработан и испытан мощный цилиндрический индукционный насос (рабочее тело — натрий при 300 °С) с расходом 3000 м³/ч, давлением 3 кгс/см², частотой 50 Гц, КПД 28%; охлаждение обмоток водой [2]. Испытания прошли успешно, было замечено некоторое расхождение между расчетными и экспериментальными характеристиками, связанное, по-видимому, со сложными МГД явлениями в канале насоса.

Лаборатория МГД в г. Харькове также приняла участие в решении проблемы создания мощных электромагнитных насосов. В качестве основной была принята концепция модульных плоских линейных индукционных насосов. Число модулей (каналов) может быть выбрано равным 2, 3, 4 и т.д. Идея модульности имеет некоторые преимущества. Главное из них — возможность облегчить решение проблемы обеспечения прочности каналов, так как расход в одном из модулей составляет только часть суммарного расхода, и поэтому размеры канала меньше.

На первом этапе работы был разработан, изготовлен и испытан двухмодульный насос средней мощности со следующими параметрами:

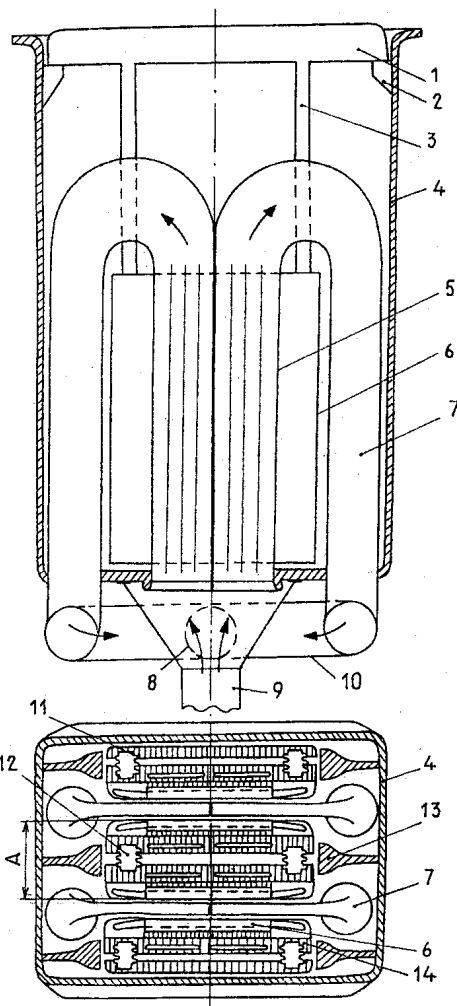


Рис. 1. Конструктивная схема двухмодульного индукционного насоса АМН 3500/6 (перекачиваемая среда — натрий при 350 °С; расход 3000 м³/ч, давление 0,5 МПа). Пояснения в тексте.

Fig. 1. A design scheme of the two-module induction pump АМН 3500/6 (3000 m³/h, 0.5 MPa, sodium at 350 °C). Explanations in text.

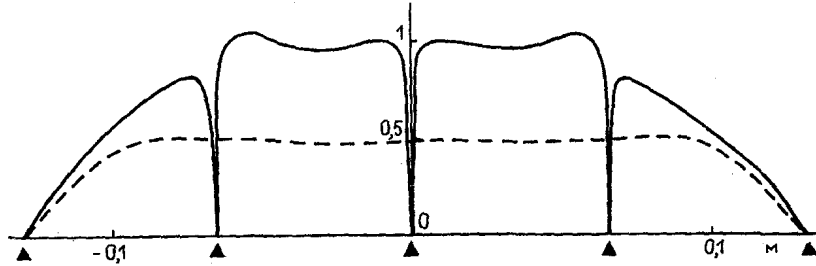


Рис. 2. Расчетные распределения скорости (сплошная линия) и плотности электромагнитной силы (штриховая линия) в секции канала. Скорость отнесена к скорости бегущего магнитного поля, плотность силы — в произвольных единицах. Границы подсекций отмечены треугольничками.

Fig. 2. Predicted distributions of velocity (solid line) and electromagnetic force density (the dashed one) in the duct section. Velocity is normalized with respect to the travelling field velocity, force density — in arbitrary units. The subsection boundaries are marked by shaded triangles.

рабочее тело — натрий с температурой 350 °С, расход 300 м³/ч, давление 0,43 МПа, КПД 26%, частота тока 148 Гц, масса 1,6 т [3]. Сравнительно высокая частота была выбрана с целью обеспечения магнитного числа Рейнольдса ≈ 4 , что близко к значению этого числа в натурном насосе. Экспериментально было доказано, что расходы в модулях практически одинаковы и что насос работает устойчиво без кавитационных явлений в канале даже при понижении входного давления до 0,5 ата благодаря применению активного конфузора; здесь термин “активный” означает, что конфузор имел обмотку бегущего поля. Насос питался от автономного источника, синхронного машинного генератора с параметрами: мощность 125 кВт, напряжение 600 В, 3000 об/мин, частота 148 Гц, который благодаря своей инерции обеспечивал выбег насоса в случае отключения асинхронного двигателя в течение 60 с.

После успешных испытаний описанного насоса было решено создать насос значительно большей мощности с аналогичными характеристиками. Этот насос был изготовлен в 1991 г. На рис. 1 представлена конструктивная схема насоса. Насос имеет входной патрубок 9, два плоских канала 5, каждый из которых состоит из двух секций. Последние в верхней части насоса поворачиваются налево и, соответственно, направо, соединяются с круглыми трубами 7, а затем подсоединяются к коллектору 10 и выходному (напорному) патрубку 8. Секции отделены друг от друга изоляцией, что, как показали расчеты, необходимо для улучшения характеристик насоса. Каждая из секций, в свою очередь, разделена на четыре подсекции для подавления возможных внутренних течений (смешивания). Насос имел большое, зависящее от скольжения s , магнитное число Рейнольдса $Rm = 3-10$. При столь большом Rm КПД насоса больше при наличии изоляционной перегородки между секциями, чем при ее отсутствии. В насосе — четыре плоских индуктора 6 с шихтованными сердечниками и обмоткой. Сердечники монтируются на полых плитах 14. В полостях этих плит оттекает небольшая часть основного потока натрия, чем и обеспечивается достаточное охлаждение нагревостойкой обмотки.

В насосе имеются также и сильфоны 12. Размер A несколько меньше зазора (расстояния) между каналами двух модулей, поэтому индукторы могут быть легко вставлены между каналами при их перемещении

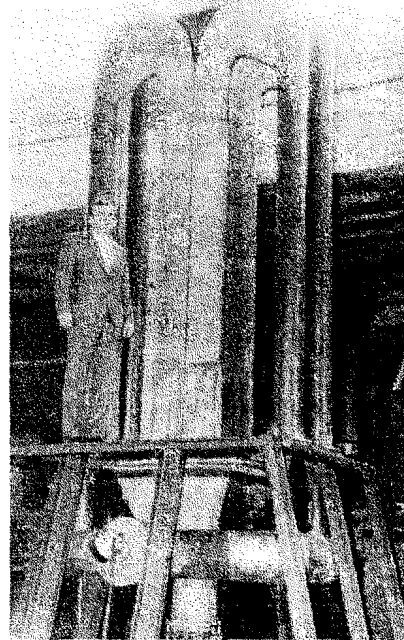
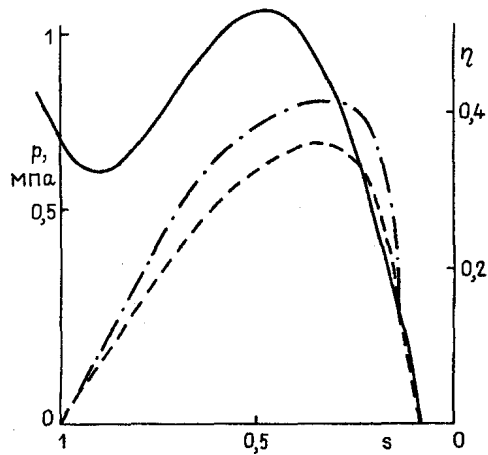


Рис. 3. Расчетные зависимости давления (сплошная линия) и КПД (штриховая линия — для полного КПД, штрихпунктирная — без учета потерь в обмотке и стали индукторов) от скольжения s ; $B_m = 0,42$ Тл.

Fig. 3. Predicted dependences of the pump pressure (solid line) and efficiency (dashed line — in total, the dot-and-dash one — not accounting for the losses in the windings and inductor core) on the slip s ; $B_m = 0.42$ T.

Рис. 4. Гидравлическая часть двухмодульного насоса большой мощности.

Fig. 4. The hydraulic part of the large power two-module pump.

сверху вниз с использованием деталей 1—3 и 13. Когда индукторы установлены внизу, в сифоны 12 подается сжатый воздух, и индук-



Рис. 5. Один из плоских линейных индукторов насоса.

Fig. 5. One of the flat linear inductors of the pump.

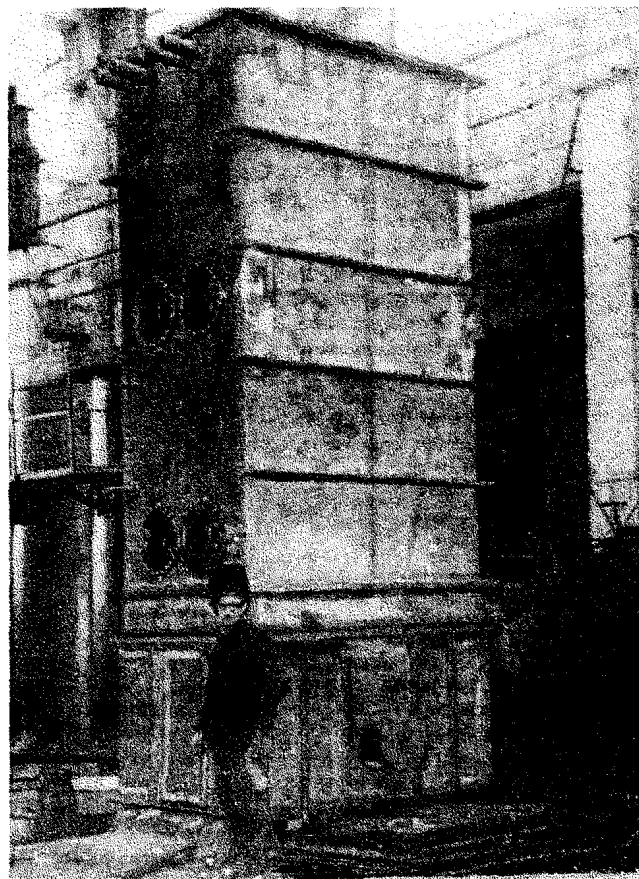


Рис. 6. Общий вид большого двухмодульного насоса, описанного в статье.

Fig. 6. A general view of the large two-module induction pump considered.

торы плотно прижимаются к каналам. Таким образом, выемка и замена индукторов могут быть осуществлены без разгерметизации основного тракта каналов. Расчетные параметры насоса следующие: рабочее тело — натрий при температуре 350 °С, расход 3000 м³/ч, давление 0,5 МПа, частота 37,5 Гц, КПД 38%; число полюсов 10, полюсное деление 276 мм, толщина стенки 6 мм, масса насоса 25 т.

Распределения скорости и электромагнитной силы по ширине одной из секций, состоящей из четырех подсекций, представлены на рис. 2, расчетные зависимости давления, в общепринятом виде $p(Q)$ -характеристики, и КПД от скольжения — на рис. 3, гидравлическая часть насоса — на рис. 1. Испытания последней на герметичность проводились путем подачи внутрь нее воздуха под давлением в 13 атм (абс.) и отсоединения системы от внешнего источника сжатого воздуха. Спустя 20 сут давление, непрерывно контролируемое манометром, сохранилось неизменным. На рис. 5 представлен один из плоских линейных индукторов, испытанных на холостом ходу, а на рис. 6 — общий вид насоса, сооружения высотой 5,5 м.

Пока не решена проблема горячих испытаний этого насоса. Первоначально планировалось его испытать в Физико-энергетическом институте (г. Обнинск, Россия) и в случае положительных результатов установить его для работы в большом испытательном стенде. Однако этому

плану помешала общая неблагоприятная ситуация в России и на Украине. Не исключено, что насосом могут заинтересоваться специалисты из США или Франции; в этих странах работают реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Насос, наверное, может быть приобретен ими, испытан и использован при участии сотрудников лаборатории МГД (г. Харьков) на каком-либо большом экспериментальном контуре.

Более детальную информацию о данном насосе, а также установках, описанных в статьях, помещенных в этом номере журнала на с. 372—376 и 377—379, могут предоставить Людмила Дронник (Украина, 310100 Харьков, просп. Героев Сталинграда, 163 — 31, тел. (0572) 970544, (0572) 260055) или Isaak Tolmach (1017 46th Street, apt. 3, Brooklyn, NY 11219, U.S.A., telephone (718) 633-7133).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kliman G. B. Large Electromagnetic Pump // El. Mach. and Electromech. — 1979. — Vol. 3, No. 2. — P. 129—142.*
2. *Андреев А. М., Безгачев Е. А., Карасев Б. Г., Кириллов И. Р., Огородников А. П., Преслицкий Г. В., Чвартацкий Р. В. Электромагнитный насос ЦЛИН-3/3500 // Магнит. гидродинамика. — 1988. — № 1. — С. 61—67.*
3. *Анишев Е. Ю., Аснович Э. З., Голобородько П. Г., Дронник Л. М., Зандарт Я. Я., Клименко А. И., Каган И. Я., Кулев А. С., Лиепиньш И. А., Реуцкий С. Ю., Стрижак В. Е., Толмач И. М. Экспериментальное исследование высокотемпературного плосколинейного модульного индукционного насоса // Магнит. гидродинамика. — 1986. — № 4. — С. 77—83.*

Поступила в редакцию 04.07.94