

*Н. Д. Топилин*

## Изготовление магнитопровода MPD проекта NICA

За последнее время на стройплощадке ускорительного комплекса NICA намечились контуры будущего кольца коллайдера и периметры зданий для детекторов MPD и SPD. По планам генподрядчика — австрийского концерна «Штрабаг» здание детектора MPD будет готово к июню 2018 г.

Для сокращения сроков ввода ускорительного комплекса ОИЯИ заключил параллельно три крупных контракта на изготовление компонентов MPD: сверхпроводящего соленоида — с итальянской компанией «ASG Superconductors spa» (Генуя), поковок для магнитопровода MPD — с российской фирмой «Спецмаш» (Казань) и всех деталей «бочки» магнитопровода с ложементом, двумя полюсами на транспортных опорах, с контрольной сборкой всего магнитопровода — с чешской компанией VHM (Vitkovice Heavy Machinery a. s., Острава).

Концептуальный проект магнитопровода с расчетом его геометрии и прочностных характеристик был подготовлен фирмой «Нева-магнит» (Санкт-Петербург). Весь материал магнитопровода — это поковки из «стали 10» или близкой к ней по составу обшей массой около 680 т. Важными параметрами являются максимальная схожесть таких характеристик, как магнитная проницаемость материала, его сплошность и механические свойства, что задавало требование к высокой однородности химического состава плавок.

Магнитопровод соленоида состоит из 28 стальных балок толщиной 350 мм с трапециевидальным поперечным сечением длиной 8470 мм, массой 16 т каждая, образующих «бочку» магнита и опирающихся на два опорных кольца (с внутренним диаметром 4596 мм, внешним диаметром 6625 мм, толщиной 350 мм и массой 41,8 т каждое), имеющих 28-гранную поверхность на диаметре 5920 мм для фиксации азимутальной и

*N. D. Topilin*

## Production of the MPD Magnetic Circuit for the NICA Project

Significant changes at the building site of the NICA accelerator complex have been made lately. Contours of the future collider ring and the perimeters of the buildings for the MPD and SPD detectors have emerged. According to the plans of the general contractor, the Austrian concern “Strabag”, construction of the MPD detector building will be finished by June 2018.

In order to reduce the cycle input of the accelerator complex on time, JINR signed in parallel three major contracts to manufacture MPD components: superconducting solenoid (Italian company “ASG Superconductors spa”, Genoa), forgings for the MPD magnetic circuit (Russian company SPETSMASH, Kazan), and all the “barrel” parts of the magnetic circuit with the lodgment, two poles on the transport rails and control assembly of the magnetic circuit

(Czech company VHM, Vitkovice Heavy Machinery a. s., Ostrava).

The conceptual design of the magnetic circuit with the calculation of its geometry and strength characteristics has been prepared by the company “Neva-Magnet” (St. Petersburg). All materials of the magnetic circuit are forgings from steel 10 or steel of similar composition weighing about 680 t. The most important parameters are high similarity of the permeability characteristics of the material, its uniformity and mechanical properties, which has assigned the requirement for high homogeneity of the chemical composition of the heats.

Solenoid magnetic circuit consists of 28 steel plates 350 mm thick, trapezoidal cross section 8470 mm long and weighing 16 t each. Each plate forms the “barrel” of the

радиальной позиций балок, обеспечивающих общую структурную жесткость магнитной системы. Опорные кольца сохраняют радиальную и аксиальную позиции каждой балки «бочки» и обеспечивают ее минимальную деформацию под действием силы тяжести и электромагнитных сил, что необходимо для обеспечения высокой однородности магнитного поля. Внутри опорных колец магнитопровода размещены полюса магнита массой около 50 т каждый.

С целью достижения эксплуатационных свойств магнитопровода, снижения его себестоимости сотрудниками конструкторского отдела ЛФВЭ был переработан принцип сборки магнитопровода с исключением из конструкции дорогостоящих суперболтов и объемных сварочных работ (во избежание поводов многосоттонной конструкции) при окончательной сборке в Институте. Необходимые прочностные расчеты измененной конструкции были выполнены фирмой «Прогрестех-Дубна» по контракту с ОИЯИ.

В июне 2016 г. созданные в конструкторском отделе ЛФВЭ чертежи на изготовление опорных колец, балок и ложементов были согласованы с заводом-изготовителем (VHM) и переданы туда для работы. Чертежи полюсов и их транспортных опор находятся в стадии проектирования и согласования конструкции канавок-проточек в полюсах для размещения теплых корректирующих катушек, проектируемых и изготавливаемых на «ASG Superconductors spa».

С целью достижения высокого качества поковки для магнитопровода, влияющих на однородность распределения магнитного поля по длине детектора во время его работы, сотрудники ОИЯИ контролировали процесс их изготовления. Поковки двух опорных колец и двух полюсов были изготовлены итальянской фирмой «Forgiatura Morandini», а все 28 балок магнитопровода — на Новокраматорском машиностроительном заводе (Краматорск, Украина). Для достижения одинаковости характеристик магнитной проницаемо-



Новокраматорский машиностроительный завод (Краматорск, Украина), февраль 2016 г. Изготовление поковки 9-метровых балок магнитопровода MPD

NKMZ (Kramatorsk, Ukraine), February 2016. Production of forgings for 9-metre plates of the MPD magnetic circuit



Генуя (Италия), июнь 2016 г. Поковки полюсов после черновой обработки перед отправкой в Чехию

Genoa (Italy), June 2016. Pole forgings after roughing before sending to the Czech Republic

magnet and leans against support rings (with inner diameter 4596 mm, outside diameter 6625 mm, thickness 350 mm and weight 41.8 t each); these rings have 28 point surface 5920 mm in diameter in order to fix azimuthal and radial position of each plate, providing overall structural rigidity of the magnetic system.

Support rings maintain the axial and radial position of each “barrel” plate and provide minimal distortion under its gravity and electromagnetic forces, which is necessary for high uniformity of the magnetic field. There are magnetic poles of the magnet weighing about 50 t each inside the support rings.

In order to achieve the operational properties of the magnetic circuit, to reduce its cost and to achieve repeatability of the assembly both at the factory and during the final assembly at JINR, employees of the VBLHEP design department redesigned magnetic assembly principle with the exception of the construction of expensive superbolts and excluding bulk welding works (in order to avoid a leash multiton design) for final assembly at the Institute. The necessary strength analysis of the modified design was performed by Progresstech-Dubna in the framework of the contract with JINR.

In June 2016, drawings for the manufacture of support rings, plates and lodgment, which were developed at the VBLHEP design department, were agreed upon with the manufacturer (VHM) and transferred to them. Drawings of the poles and their transport rails are in the stage of design and coordination of the design of grooves in the poles to accommodate the warm corrective coils, designed and manufactured at ASG Superconductors spa.

In order to achieve high-quality forgings for magnetic circuit that influence the uniformity of distribution of the magnetic field along the length of the detector during its operation, JINR staff supervised the manufacturing of forgings. Forgings for two support rings and two poles were manufactured at the Italian company “Forgiatura Morandini s.r.l.”, and all the 28 plates were made at NKMZ (Kramatorsk, Ukraine). In order to achieve similar characteristics of the magnetic permeability, both companies received product requirements document with the same reduced spread of the percentage of carbon in steel, which was achieved in all the 32 melts. All forgings passed ultrasonic control of the uniformity of the workpiece; they had a similar chemical composition corresponding to steel 10 according to GOST1050-88, which has sufficient

сти обоим предприятиям было выдано техническое задание (ТЗ) с одинаково уменьшенным разбросом процентного содержания углерода в стали, что и было достигнуто во всех 32 плавках стали. Все поковки прошли ультразвуковой контроль сплошности заготовки, имели схожий химический состав, соответствующий «стали 10» по ГОСТ1050-88, достаточную по ТЗ механическую прочность и схожие диаграммы В-Н. Оба завода досрочно выполнили заказ на изготовление поковок, и к началу сентября все поковки были благополучно доставлены в Остраву на завод VHM.

В тесном сотрудничестве конструкторов ЛФВЭ и технических служб компании VHM был разработан сценарий сборки магнитопровода и намечено время начала контрольной сборки на заводе — сентябрь 2017 г. Несмотря на обязательство завода спроектировать и изготовить все необходимые технологические приспособления для сборки магнитопровода, сотрудниками конструкторского отдела ЛФВЭ разработана траверса для подъема плит, а также заблаговременно привезен из ЦЕРН уникальный манипулятор, позволяющий осторожно поворачивать 16-тонные плиты при монтаже на любой заданный угол с высокой точностью. Данный манипулятор использовался в ЦЕРН в 2002–2006 гг. для сборки баррелей адронного калори-

метра установки ATLAS и был безвозмездно передан в ОИЯИ.

В ходе визита специалистов ЛФВЭ на завод VHM в ноябре 2016 г. было отмечено соблюдение сроков контракта. Опорные кольца были обработаны в размер по диаметру, и планировалась их передача в соседний цех для обработки 28-гранных поверхностей, а на сварочном участке находились в работе каркасы для 74-тонного ложементов.

В заключение можно сказать, что нетривиальная задача по изготовлению и сборке 700-тонного магнитопровода MPD выполняется в соответствии с намеченными сроками, но до ее завершения предстоит решить еще много интересных и сложных инженерных (конструкторско-технологических) задач.

mechanical strength and B-H diagrams in accordance with the product requirements document. Both plants prematurely fulfilled the order for forgings production and by September all the forgings had been safely delivered to Ostrava at the VHM plant.

In close collaboration of designers of the VBLHEP design department and technical services of VHM assembly order of the magnetic circuit was developed and start time of the control assembly at the factory was scheduled for September 2017. Even though the plant is responsible for the contract to design and manufacture all the necessary technological tools to manufacture the magnetic circuit, the design department of VBLHEP designed traverse for lifting of plates. Moreover, a unique handling device (manipulator) was prior brought from CERN; it allows turning 16-ton mounting plates at any predetermined angle with high accuracy and caution. This device was used at CERN in 2002–2006 in the construction of the barrels of the hadron calorimeter of ATLAS and was donated to JINR.

During the supervisory visit to the VHM plant in November 2016, the VBLHEP specialists noted good compliance with the terms of the contract. Support rings were processed to size and diameter and their delivery to

the near department was planned in order to handle 28-sided surfaces. Frames for 74-ton lodgment were in operation at the welding area.

In conclusion it should be noted that such a challenging task for manufacture and assembly of 700-ton magnetic MPD is performed in accordance with the schedule, but there are still many interesting and complex engineering (design and technological) problems to be solved before its completion.