

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, ПОСВЯЩЕННОЙ ОПТИМАЛЬНОМУ ОХЛАЖДЕНИЮ МАГНИТНОЙ МУФТЫ ХИМИЧЕСКОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Е.С. Мельничук

elizabeth.melnichuk96@gmail.com

SPIN-код: 7853-4669

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнен обзор литературы на тему исследований оптимального охлаждения магнитной муфты химического центробежного насоса. На сегодняшний день данная тема особенно актуальна. Все чаще поднимаются вопросы экологии, а также пожаро- и взрывобезопасности на производстве. Для решения такого рода проблем в химической и нефтехимической промышленности целесообразно применять герметичные насосы с магнитной муфтой и герметичным электродвигателем. Основными проблемами использования таких насосов, выявленными в результате обзора, стали проблемы теплового баланса в охлаждаемой магнитной муфте и расчет течения жидкости во вспомогательных трактах. Эти проблемы разрешимы, но высоко энергозатратны, поэтому использование герметичных насосов целесообразно в случаях, когда выгода превышает риски и сложности проектирования.

Ключевые слова

Гидравлика, гидромашины, центробежный насос, привод насоса, энергопотребление, экономия энергии, расчет вспомогательных трактов, магнитная муфта, герметичный насос, эффект «запирания», пазуха

Поступила в редакцию 20.09.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Разновидностей химических насосов достаточно много. Наиболее популярными среди насосного оборудования являются устройства центробежного типа, а в сегменте химических агрегатов значительную часть составляют герметичные центробежные насосы. Они обеспечивают полную изоляцию перекачиваемой жидкости, защищая окружающую среду от возможных протечек вредных смесей, пары которых способны образовывать с воздухом взрывоопасные составы.

Характерной чертой химического центробежного насоса является его непроницаемость, обеспеченная системой уплотнений или муфтами. При изготовлении такого насоса используют высококачественные материалы, препятствующие быстрому износу и выходу из строя оборудования, являющегося частью технологической цепи. Особое внимание уделяют проточной части и рабочим элементам насоса, непосредственно соприкасающимся с перекачиваемой средой.

В настоящее время для перекачивания агрессивных, взрывоопасных и ядовитых жидкостей широко применяют герметичные центробежные насосы. Существует две основных разновидности таких насосов — с магнитной муфтой и с герметичным электродвигателем [1]. Каждый из этих двух насосов имеет ряд преимуществ.

ществ и недостатков, однако применение насосов с магнитной муфтой для перекачивания жидкостей, имеющих высокую температуру, ограничено предельной температурой магнитов муфты [2–7], которые начинают терять свои магнитные свойства при приближении температуры к точке Кюри. Кроме того, через муфту теплота может передаваться к электродвигателю и другим элементам конструкции насоса [8–10]. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является применение встроенной системы охлаждения магнитной муфты. Такая система должна решать две основные задачи: во-первых, за счет внутренней циркуляции [8] предварительно охлажденной жидкости защищать от перегрева внутреннюю магнитную полумуфту, а во-вторых, за счет внешней принудительной циркуляции воздуха защищать от перегрева внешнюю магнитную полумуфту, внешний подшипниковый узел и/или электродвигатель [11, 12].

Проблема теплового баланса в охлаждаемой магнитной муфте высокотемпературного герметичного насоса была затронута в источниках [13–15]. Так, А.И. Петров и В.О. Ломакин в статье [13] показали практическую применимость математической модели расчета процесса тепломассообмена, используемой в программном комплексе STAR CCM+, к определению теплового баланса магнитной муфты с внешним воздушным охлаждением, установленной в высокотемпературном центробежном насосе. Чтобы перекачивать горячий теплоноситель, в опытном высокотемпературном центробежном герметичном насосе была разработана специальная конструкция внешней магнитной полумуфты и ее защитного кожуха, которую можно увидеть на рис. 1 и 2 [13].

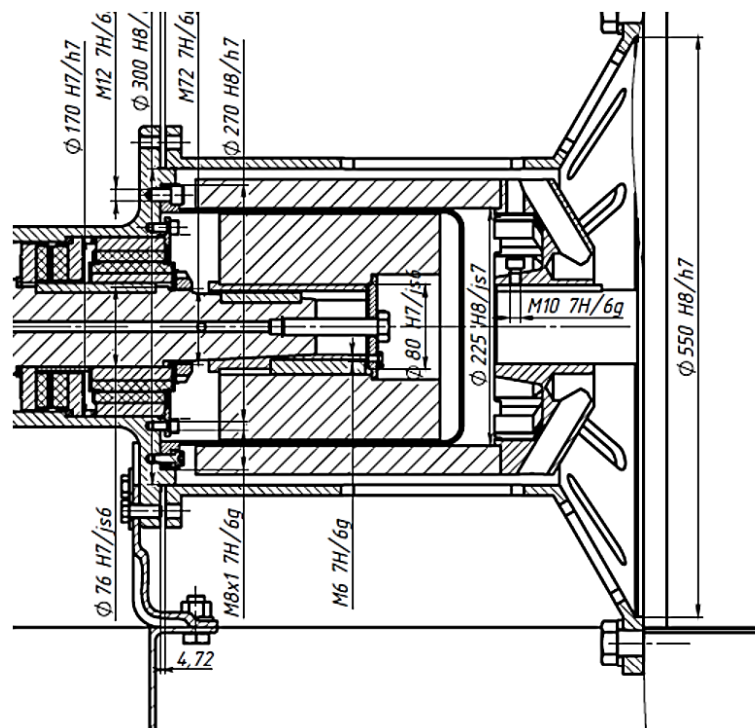


Рис. 1. Конструкция внешней магнитной полумуфты и ее защитного кожуха

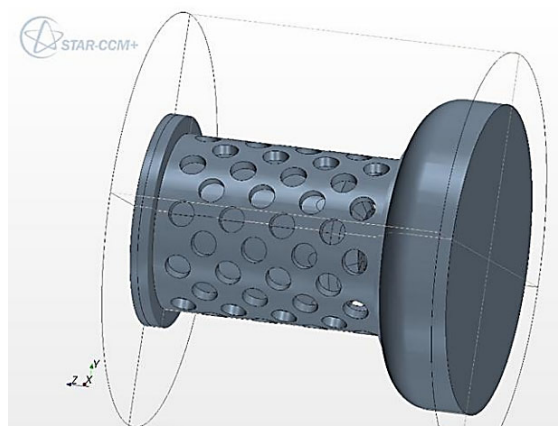


Рис. 2. Трехмерная расчетная модель соединения двигателя с насосом

В результате моделирования получены картины течения и распределения температуры в муфте и окружающем воздушном пространстве [13], приведенные на рис. 3.

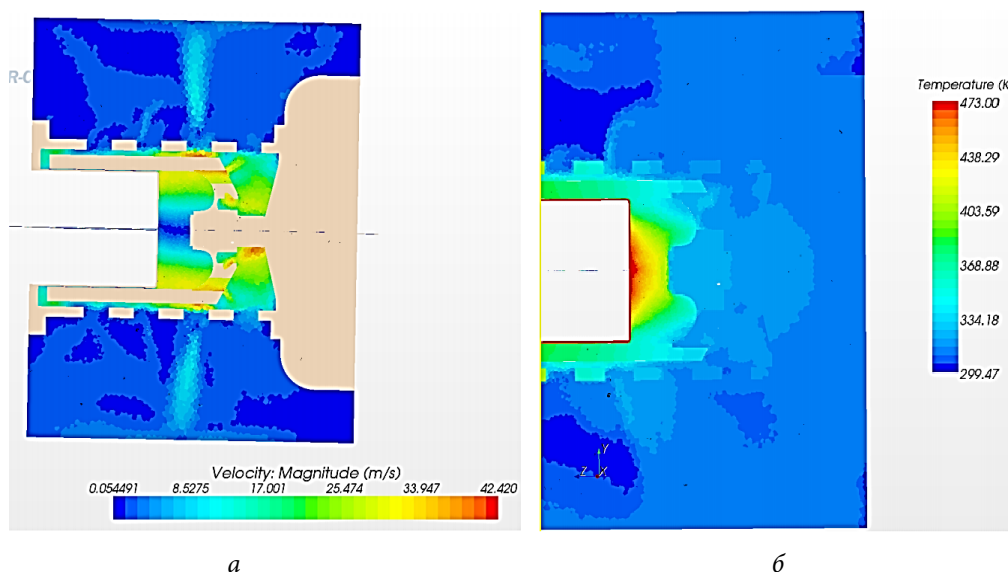


Рис. 3. Распределение модуля скорости при вращении полумуфты со стороны двигателя (а) и расчетное распределение температуры на корпусе стакана и электродвигателя (б)

Выполненное моделирование подтвердило принципиальную работоспособность предложенного технического решения применительно к системе тепловой защиты внешней полумуфты и приводного электродвигателя, однако необходима дополнительная экспериментальная верификация полученных результатов [13].

Еще одной очень важной задачей при разработке герметичных лопастных насосов является расчет течения жидкости во вспомогательных трактах [14].

С одной стороны, распределение давлений во вспомогательных трактах (таких как питание подшипников скольжения, охлаждение залитого двигателя или магнитной муфты, питание разгрузочных устройств и т. п.) определяет значения осевых сил на роторе насосного агрегата, а с другой — тепловой баланс насосного агрегата в целом и залитого двигателя в частности [13].

С одной стороны, неверный расчет вспомогательных трактов или изменение их характеристик в процессе работы вследствие засорения могут привести к перегреву двигателя или разрушению подшипников скольжения (при отсутствии достаточного снабжения смазывающей и охлаждающей жидкостью) и, как следствие, к выходу из строя насосного агрегата. С другой стороны, избыточные расходы жидкости во вспомогательных трактах способствуют снижению общего КПД насосного агрегата и его подачи, что существенно уменьшает общую энергоэффективность насосного агрегата. С учетом сказанного выше необходимо иметь методики расчета вспомогательных трактов таких насосов, позволяющие учитывать все многообразие гидродинамических явлений в этих трактах, и для этого широкое применение нашли современные пакеты гидродинамического моделирования [13].

По данной тематике существует сравнительно небольшой объем публикаций. Наиболее емко данная тема освещена в статье В.А. Черемушкина, А.И. Петрова и П.С. Чабурко [14]. При проектировании и испытаниях судового герметичного насоса, оснащенного электродвигателем с «мокрым» ротором, был обнаружен эффект «запирания» потока в полости между вращающимся торцом ротора и неподвижной стенкой корпуса. Статья посвящена исследованию одного из методов борьбы с этим эффектом запирания, основанным на использовании неподвижных ребер на статоре (стенке корпуса) или неподвижных каналов, выполненных в нем же. Авторы экспериментально и методами гидродинамического моделирования выявили эффект «запирания» в пазухе с вращающейся стенкой во вспомогательном тракте герметичного насосного агрегата, возникающий вследствие образования макровихревых структур при совпадении двух факторов: большой ширины пазухи и значительного расхода жидкости от периферии к центру [14, 15].

Поле распределения давления в исследуемой пазухе показано на рис. 4 [14].

Расчет течения во вспомогательных трактах насоса показал, что в зоне I при увеличении момента скорости жидкости вследствие ее взаимодействия с вращающимся диском возникает интенсивное вихреобразование [14], как показано на рис. 5.

Также авторами [14] предложен метод устранения эффекта «запирания» путем применения статорных лопаток или закрытых каналов на статоре насосного агрегата, ранее не описанный в литературе. Проведено гидродинамическое моделирование вспомогательных трактов насосного агрегата, подтвердившее эффективность предложенного метода.

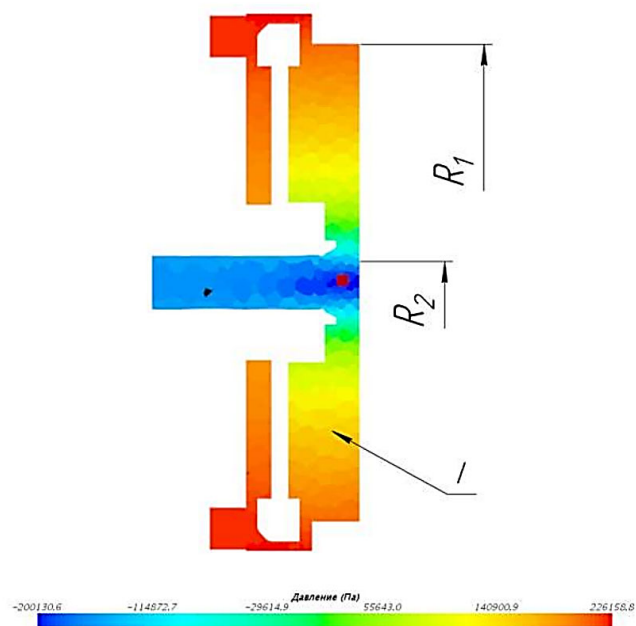


Рис. 4. Зона понижения давления

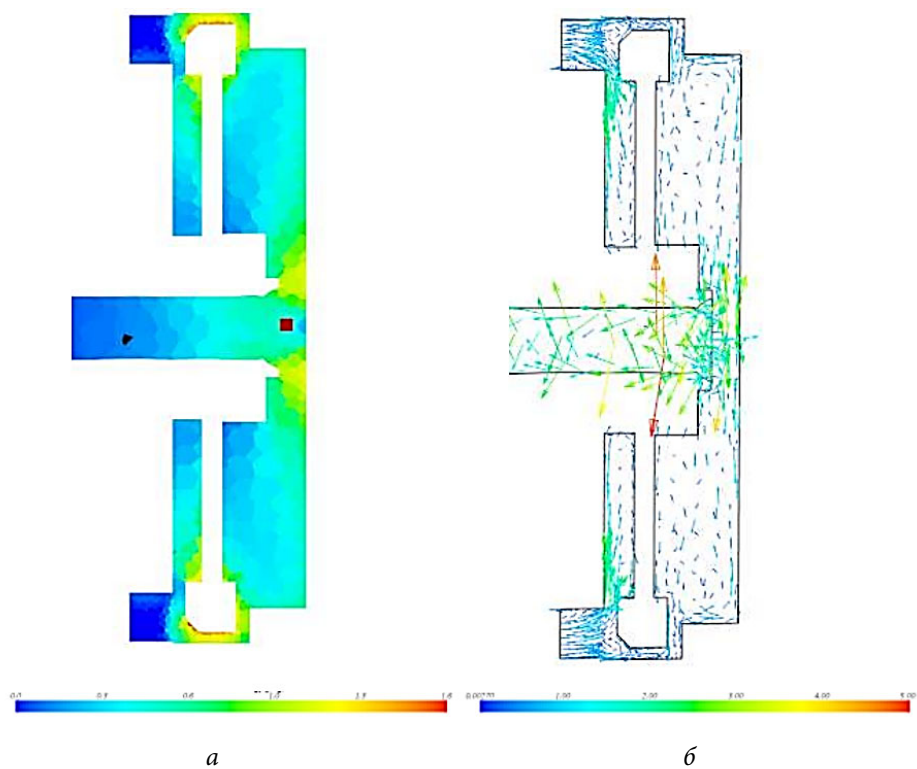


Рис. 5. Поле распределения в пазухе:

a — турбулентной кинетической энергии; *b* — вектора скорости

В результате анализа данных, содержащихся в специальной литературе, заметим, что существующие современные методы гидродинамического моделирования опираются строго на непосредственное решение дифференциальных уравнений, т. е. невозможно спроектировать рабочий насос с магнитной муфтой или с герметичным электродвигателем без сложного компьютерного моделирования. Таким образом, на сегодняшний день не существует четкой методики быстрой оценки работоспособности магнитных муфт в герметичных насосах без применения пакетов гидродинамического моделирования, а значит, сделать вывод, что данная тема является недостаточно исследованной. Дальнейшие изыскания в этой области позволят быстрее прогнозировать работу муфты в целом, что ускорит процесс разработки и создания герметичных насосов.

Литература

- [1] Кузнецов В.С., Яроц В.В. Расчет параметров истечения жидкости через цилиндрические дроссельные каналы в режиме существования "эффекта запираания". *Машиностроение и инженерное образование*, 2016, № 4, с. 8–14.
- [2] Ломакин В.О., Кукушкин П.А., Крылов В.И. Модернизация вспомогательного контура охлаждения магнитной муфты. *Территория НЕФТЕГАЗ*, 2017, № 7-8, с. 84–91.
- [3] Ломакин В.О., Кулешова М.С., Чабурко П.С., Баулин М.Н. Комплексная оптимизация проточной части герметичного насоса методом ЛП-ТАУ поиска. *Насосы. Турбины. Системы*, 2016, № 1, с. 55–61.
- [4] Макаров К.А. О физическом смысле числа Рейнольдса и других критериев гидродинамического подобия. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, № 1(25). URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1185.html>.
- [5] Петров А.И. Системы поддержания теплового баланса в современных стендах для испытаний лопастных насосов. *Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация*, 2015, № 5. URL: <http://maplants.elpub.ru/jour/article/view/24>.
- [6] Кузнецов В.С., Шабловский А.С., Яроц В.В. Влияние противодействия на некоторые гидродинамические характеристики потока жидкости в клапанных щелях. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 4(16). URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/684.html>.
- [7] Боровин Г.К., Протопопов А.А. Расчет оптимального числа лопаток рабочего колеса центробежного насоса. *Инженерный вестник*, 2014, № 11. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/747924.html>.
- [8] Протопопов А.А., Шульжицкий А.А. Исследование влияния питающего напряжения на максимальный напор центробежного насоса. *Молодежный научно-технический вестник*, 2016, № 3. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/836477.html>.
- [9] Протопопов А.А., Захарова Е.В. Динамика малых колебаний низкоинерционного ротора малорасходного центробежного насоса с гидростатическими подшипниками. *Политехнический молодежный журнал*, 2017, № 5. URL: <http://ptsj.ru/catalog/pmc/hydr/95.html>.
- [10] Ломакин В. Чабурко П.С. Влияние закрутки потока на гидравлический КПД насоса. *Инженерный вестник*, 2015, № 10. URL: <http://engsi.ru/doc/820781.html>.
- [11] Артемов А.В., Щербачев П.В., Тарасов О.И. Применение В-сплайнов для построения бокового полуспирального подвода насоса. *Инженерный вестник*, 2014, № 12. URL: <http://engsi.ru/doc/742584.html>.

- [12] Гаврюшина О.С., Мулярчик И.Г. Сравнение расходно-перепадных характеристик пневматических приводов с исполнительными двигателями поступательного и вращательного действия. *Инженерный вестник*, 2014, № 12.
URL: <http://engsi.ru/doc/745727.html>.
- [13] Ломакин В.О., Петров А.И. Численное моделирование теплового баланса в охлаждаемой магнитной муфте высокотемпературного герметичного насоса. *Инженерный вестник*, 2014, № 12. URL: <http://ainjournal.ru/doc/743214.html>.
- [14] Черемушкин В.А., Петров А.И., Чабурко П.С. Применение статорных лопаток во вспомогательных трактах герметичных насосов. *Машины и Установки: проектирование, разработка и эксплуатация*, 2017, № 2.
URL: <https://maplants.elpub.ru/jour/article/view/59#>.
- [15] Петров А.И., Полуэктов Д.А. Разработка новой линейки центробежных судовых насосов для горячего теплоносителя. *Инженерный вестник*, 2015, № 10.
URL: <http://engsi.ru/doc/816467.html>.

Мельничук Елизавета Сергеевна — студентка кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

LITERATURE REVIEW ON OPTIMAL COOLING OF MAGNETIC COUPLING OF CHEMICAL ROTODYNAMIC PUMP

E.S. Melnichuk

elizabeth.melnichuk96@gmail.com

SPIN-code: 7853-4669

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

A review of literature on research studies of optimal cooling of magnetic coupling of chemical rotodynamic pump is performed. Today, this subject is particularly relevant. Issues of ecology, as well as fire and explosion safety at workplace are increasingly being raised. In order to solve this kind of problem in chemical and petrochemical industry, it is advisable to use hermetic pumps with magnetic clutch and hermetic electric motor. The main problems of using such pumps, identified as a result of the review, were problems of heat balance in cooled magnetic coupling and calculation of fluid flow in auxiliary paths. These problems are solvable, but highly energy-intensive, so the use of hermetic pumps is advisable in cases where the benefit exceeds risks and complexity of design.

Keywords

Hydraulics, hydromachines, rotodynamic pump, pump drive, energy consumption, energy economy, auxiliary paths calculation, magnetic coupling, hermetic pump, blockage effect, pocket

Received 20.09.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Kuznetsov V.S., Yarots V.V. Calculation of parameters for liquid expiration through cylindrical throttle channels in the mode of "blockage effect" existence. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie*, 2016, no. 4, pp. 8–14.
- [2] Lomakin V.O., Kukushkin P.A., Krylov V.I. Modernization of auxiliary cooling circuit of a magnetic coupling. *Territoriya NEFTEGAZ* [Oil and Gas Territory], 2017, no. 7-8, pp. 84–91.
- [3] Lomakin V.O., Kuleshova M.S., Chaburko P.S., Baulin M.N. Complex wet end part optimization of hermetic pump with LP-TAU method. *Nasosy. Turbiny. Sistemy* [Pumps. Turbines. Systems], 2016, no. 1, pp. 55–61.
- [4] Makarov K.A. On the physical meaning of Reynolds number and other criteria of hydrodynamic similarity. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2014, no. 1(25). Available at: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1185.html>.
- [5] Petrov A.I. Systems of the heat balance maintenance in modern test benches for centrifugal pumps. *Mashiny i ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya* [Machines and Plants: Design and Exploiting], 2015, no. 5. Available at: <http://maplants.elpub.ru/jour/article/view/24>.
- [6] Kuznetsov V.S., Shablovskiy A.S., Yarots V.V. Back pressure effects on some characteristics of fluid flow in valve slots. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2013, no. 4(16). Available at: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/684.html>.

- [7] Borovin G.K., Protopopov A.A. Optimum number calculation of the centrifugal pump impeller blades. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2014, no. 11. Available at: <http://engsi.ru/doc/747924.html>.
- [8] Protopopov A.A., Shul'zhitskiy A.A. Research on effect of supply voltage on maximum impeller pump head. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskiy vestnik*, 2016, no. 3. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/836477.html>.
- [9] Protopopov A.A., Zakharova E.V. Dynamics of small oscillations in a low-inertia rotor of a low-discharge centrifugal pump with hydrostatic bearings. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2017, no. 5. Available at: <http://ptsj.ru/catalog/pmc/hydr/95.html>.
- [10] Lomakin V., Chaburko P.S. Effect of stream vortex on pump hydraulic efficiency. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2015, no. 10. Available at: <http://engsi.ru/doc/820781.html>.
- [11] Artemov A.V., Shcherbachev P.V., Tarasov O.I. Using V-splines for constructing side half-spiral pump supply. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2014, no. 12. Available at: <http://engsi.ru/doc/742584.html>.
- [12] Gavryushina O.S., Mulyarchik I.G. Comparison of delivery-difference characteristic of pneumatic drives with rotary and translation actuating motors. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2014, no. 12. Available at: <http://engsi.ru/doc/745727.html>.
- [13] Lomakin V.O., Petrov A.I. Numerical modelling of thermal balance in cooled magnetic clutch of high-temperature hermetic pump. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2014, no. 12. Available at: <http://ainjournal.ru/doc/743214.html>.
- [14] Cheremushkin V.A., Petrov A.I., Chaburko P.S. Using stator blades in accessory tracts of hermetic pumps. *Mashiny i Ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya* [Machines and Plants: Design and Exploiting], 2017, no. 2. Available at: <https://maplants.elpub.ru/jour/article/view/59#>.
- [15] Petrov A.I., Poluektov D.A. Development of the new product line of centrifugal marine pumps for hot heat carried. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2015, no. 10. Available at: <http://engsi.ru/doc/816467.html>.

Melnichuk E.S. — student, Department of Fluid Mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.