

В. П. Чуйко¹, С. П. Кулинич¹, В. В. Кравцов²,
С. Л. Пушкар³

¹ Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина

² ООО «ООС «СЕРТАТОМ», г. Киев, Украина

³ ООО НПП «Сумывнешсервис», г. Сумы, Украина

Повышение уровня безопасности и экономической эффективности АЭС путем модернизации процесса обслуживания главного циркуляционного насоса

Проанализированы проблемы, возникающие при обслуживании главного разьема главного циркуляционного насоса (ГЦН). Описывается техническое устройство, позволяющее значительно улучшить эксплуатационные показатели. Обосновывается повышение уровня безопасности и экономической эффективности АЭС путем модернизации процесса обслуживания ГЦН.

Ключевые слова: АЭС; главный циркуляционный насос; разъем; шпилька; гидропривод; устройство; усилие; экономическая эффективность; безопасность; гидравлический ключ.

В. П. Чуйко, С. П. Кулинич, В. В. Кравцов, С. Л. Пушкар

Підвищення рівня безпеки та економічної ефективності АЕС модернізацією процесу обслуговування головного циркуляційного насоса

Проведено аналіз проблем, що виникають під час обслуговування головного роз'єму головного циркуляційного насоса (ГЦН). Описано технічний пристрій, який дає змогу значно поліпшити експлуатаційні показники. Обґрунтовується підвищення рівня безпеки та економічної ефективності АЕС модернізацією процесу обслуговування ГЦН.

Ключові слова: АЕС; головний циркуляційний насос; роз'ємання; шпилька; гідропривід; пристрій; зусилля; економічна ефективність; безпека; гідралічний ключ.

© В. П. Чуйко, С. П. Кулинич, В. В. Кравцов, С. Л. Пушкар, 2014

Обеспечение ядерной безопасности играет ведущую роль в сфере коллективной безопасности, поскольку ядерные риски и ядерные аварии имеют трансграничный характер. Проблема безопасности ядерных технологий является общей для мирового сообщества. Функционирование ядерных объектов должно сопровождаться внедрением технических и организационных мероприятий по повышению их уровня безопасности, реализацией международных программ в области технической безопасности и культуры безопасности, государственным регулированием и научно-технической поддержкой [1]. Уровень безопасности АЭС формируется множеством факторов. Одним из важнейших факторов является обеспечение надлежащего состояния оборудования путем его замены или ремонта. При этом выполнение работ с нарушением технологии ремонта, с необоснованным уменьшением объемов ремонта, замена одного вида ремонта другим, перенос сроков выполнения ремонтных работ оборудования, отсутствие специального инструмента, приспособлений и материалов, необходимых для проведения ремонтных работ, могут негативно повлиять на уровень безопасности АЭС [2].

Обеспечение экономической эффективности, соответствие экологическим нормам и нормативам по охране труда — цель любого сектора производства, а путь к ее достижению — постоянное повышение качества и уменьшение сроков выполнения технологических операций. К приоритетным задачам относится автоматизация процессов и систем контроля выполняемых операций. К насосному оборудованию, и ГЦН в частности, выдвигается ряд обязательных требований: общая надежность, долговечность, полная герметичность неподвижных стыков, виброустойчивость [3]. Повышение качества выполнения технологических операций и сокращение времени, затрачиваемого на обслуживание ГЦН с помощью новых технологий, позволяет увеличить экономическую эффективность АЭС.

Анализ существующих технических решений и постановка проблемы. При проведении осмотра, ремонта, замены внутренних деталей ГЦН необходимо выполнить процедуру взаимного отсоединения и присоединения крышки и корпуса насоса, которые в собранном состоянии соединены посредством шпилек, вкрученных в корпус насоса. Прижимное усилие между корпусом и крышкой обеспечивается затяжкой гайки, навинченной на шпильку. При этом сама процедура отсоединения и присоединения крышки и корпуса насоса достаточно трудоёмка. С целью сокращения времени выполнения операции и доли ручного труда используется специальное гидравлическое оборудование — гидравлические ключи, предназначенные для предварительной вытяжки шпилек, ввернутой в корпус ГЦН, после чего выполняется операция завинчивания и отвинчивания гайки, накрученной на шпильку. При обеспечении расчетных значений продольной деформации шпилек совместно с фиксированным моментом завинчивания гайки возможно быстрое и качественное выполнение процесса сборки и разборки крышки и корпуса. Продольная деформация шпилек обеспечивается перемещением поршня гидроцилиндра. Гидроцилиндр является силовым элементом гидроключа.

В патентах [4–7] приведено описание работы гидроключей с каскадным расположением гидроцилиндров для создания необходимого усилия. Каскадное расположение гидроцилиндров обусловлено особенностью геометрии корпуса ГЦН — незначительными расстояниями между местами расположения отверстий и шпилек — и применяется, в основном, тогда, когда нет возможности повысить

создаваемое гидроцилиндром усилие увеличением площади поршня гидроцилиндра или увеличением давления рабочей жидкости. Для одновременного вытягивания всех шпилек, вкрученных в корпус ГЦН, расположение гидроцилиндров должно соответствовать расположению шпилек. Создать необходимое усилие для вытягивания шпилек с определенной конструкцией взаимным расположением можно с помощью специально спроектированного гидравлического ключа, который при этом не выходит за определенные габариты.

В настоящее время известны и широко применяются гидравлические устройства, представляющие собой специальные гидроцилиндры, опорные втулки и тяги, накручивающиеся на резьбовой конец крепежной шпильки. Такие устройства устанавливаются поочередно на каждую шпильку отдельно, после чего выполняется вытягивание шпильки, затягивание крепежной гайки и переустановка на следующую шпильку. Недостатки данных гидроключей по отношению к крупногабаритному оборудованию — большие трудозатраты и длительное время для выполнения большого количества переустановок, неравномерность нагрузки на шпильки и разъем в процессе затягивания, что приводит к деформации мест уплотнения.

Известны также моментные ключи. Они имеют гидравлический или механический привод и работают с тарированным моментом. Их недостатком является большое количество переустановок моментных головок ключей. При этом крепежная шпилька подвергается дополнительной нагрузке от приложенного крутящего момента. Гидравлическое устройство, спроектированное фирмой Weputek совместно с ЗАО «Комплект-Атом-Ижора» [8] для уплотнения разъемов корпусов, обеспечивает одновременные нагрузки всех шпилек разъема корпуса. Однако в случае увеличения необходимого осевого усилия при существующем максимальном рабочем давлении в гидросистеме нужно увеличивать радиальные размеры исполнительных механизмов, что невозможно в условиях ограниченного пространства между крепежными элементами.

Исходя из изложенного, актуально создание устройства, которое гарантирует:

обеспечение расчетного усилия затяжки при уплотнении корпусов путем одновременной нагрузки всех крепежных шпилек (или группы шпилек) при заданных радиальных габаритах устройства;

обеспечение рабочего давления в гидросистеме до значений, гарантирующих запас прочности силовых элементов устройства;

легкое повышение нагрузки на крепежные шпильки за счет увеличения количества ступеней рабочих гидроцилиндров при неизменном рабочем давлении в гидросистеме;

обеспечение требуемой точности затяжки;

сокращение времени выполнения операций по уплотнению и разуплотнению разъемов;

уменьшение доли тяжелого ручного труда по сравнению с традиционными методами затяжки;

применение современной технологии контроля затяжки.

Техническое решение. На рис. 1 изображена конструкция устройства, предложенная для решения поставленных задач [9]. Кожух 1 является основным элементом устройства и несет нагрузку. Он изготовлен из стали, имеет кольцевую форму. Для крепления исполнительных механизмов 2 в кожухе есть отверстия. На внутренней поверхности

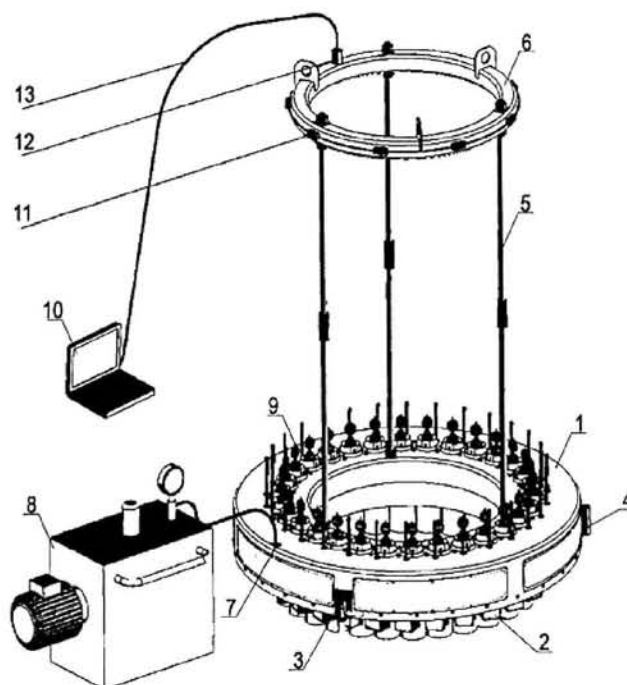


Рис. 1. Устройство автоматической герметизации главного разъема ГЦН

кожуха закреплен гидравлический коллектор высокого давления 3. По периметру внешней вертикальной полки предусмотрены три опорных устройства 4, которые служат для установки устройства и выполнения испытательных и ремонтных работ. В горизонтальной полке кожуха — три резьбовых отверстия для крепления штанг 5, соединяющих кожух с верхним строповым кольцом 6. Внешняя вертикальная полка кожуха имеет шесть окон, используемых для контроля и ремонта исполнительных механизмов. Окна оснащены съемными крышками. На горизонтальной плоскости кожуха расположен штуцер 7, который с помощью гибкого рукава высокого давления соединяется с масляной станцией 8. Конструкция кожуха такова, что внутри него располагаются практически все гидравлические элементы устройства, и он свободно устанавливается на корпус оборудования.

Устройство имеет систему измерения и контроля. Устройства 9 измерения значений вытягивания крепежных шпилек — электронные. Передача информации на компьютер 10 может осуществляться беспроводным путем — радиоволнами или комбинированным инфракрасным излучением (см. рис. 1). В этом случае инфракрасный сигнал от измерительных устройств принимается устройствами сбора информации 11, которые соединены с передатчиком 12, обрабатывающим и передающим данные через провода 13 на компьютер 10.

Многоступенчатый исполнительный механизм (рис. 2) используется для создания необходимого усилия при вытягивании крепежной шпильки и передачи этого усилия на тягу 1. Количество исполнительных механизмов соответствует количеству крепежных шпилек. Каждый исполнительный механизм включает опорную втулку 2, рабочие силовые гидроцилиндры 3, привод 4 для вращения гайки главного разъема.

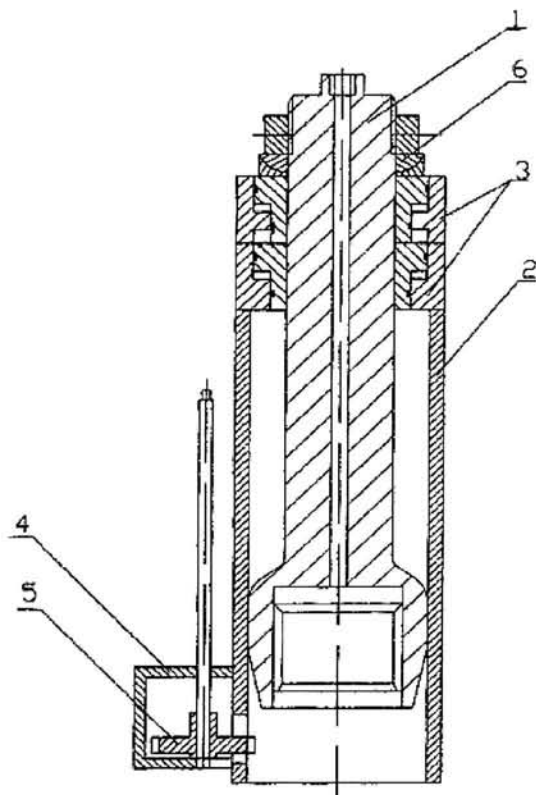


Рис. 2. Исполнительный механизм

На рис. 2 изображены два гидроцилиндра. В зависимости от требуемого значения усилия количество гидроцилиндров может изменяться. Опорные втулки 2 исполнительных механизмов предназначены для установки исполнительных механизмов на поверхность корпуса. На наружной поверхности опорной втулки крепится привод 4 с зубчатым колесом 5, что обеспечивает передачу крутящего момента на крепежную гайку с установленным на ней адаптером-кольцом с зубьями.

Осевое усилие через две сферические шайбы 6 передается на тягу 1, навинченную на резьбовой конец шпильки. Исполнительные механизмы крепятся на кожухе с помощью специальных шпонок, обеспечивающих их самоустановку в трех плоскостях на регламентированную величину. Полости цилиндров 3 первой ступени соединены с гидравлическим коллектором гибкими соединительными элементами.

Для описанного устройства получен патент [9]. Устройство изготовлено в натуральную величину; создан стенд испытаний, который моделирует процесс уплотнения. Механическая часть устройства успешно прошла испытания, что подтверждается протоколом испытаний при участии ГП НАЭК «Энергоатом» и представителей украинских атомных станций.

Приведем сравнение временных затрат на операции уплотнения и разуплотнения главного разъема ГЦН с применением гидравлического ключа и без него.

Время на выполнение разуплотнения главного разъема с применением гидравлического ключа рассчитано при условии, что изделие находится в реакторном отделении на отг. 3б, маслонасосная станция и пневматический ключ, подключенные к пневматической системе, — на отг. 25,4, а сама операция состоит из нескольких процессов (табл. 1).

Таблица 1. Временные затраты на разуплотнение главного разъема ГЦН с применением гидравлического ключа

Процесс	Время, мин	Обслуживающий персонал
Установка 30 колец на гайки главного разъема	2	2 слесаря
Подъем изделия при помощи крана, спуск на главный разъем насоса на 20–40 мм после соприкосновения тяг исполнительных механизмов со шпильками главного разъема	8	1 крановщик, 2 слесаря
Навинчивание от руки двух-трех тяг на два-три витка шпильки главного разъема для создания направления	1	2 слесаря
Опускание изделия до упора опорными втулками на сферические шайбы главного разъема	1	2 слесаря
Навинчивание тяги на шпильки главного разъема при помощи пневматического ключа, проверка калибром положения поршней исполнительных механизмов	12	2 слесаря
Подключение маслонасосной станции к коллектору изделия при помощи гибкого рукава высокого давления	1	1 слесарь
Создание давления в гидравлической системе, обеспечивающего вытяжку всех шпилек	4	Автоматически
Откручивание гайки главного разъема на 1–1,5 витка при помощи моментных ключей	12	2 слесаря
Сброс давления в системе	1	Автоматически
Отвинчивание 30 тяг со шпилек главного разъема при помощи пневматических ключей	8	2 слесаря
Отсоединение рукава от коллектора изделия	1	1 слесарь
Снятие при помощи крана изделия с главного разъема и установка на временные опоры	8	1 крановщик, 2 слесаря
Итого	59	2 слесаря, 1 крановщик

Таблица 2. Временные затраты на уплотнение главного разъема ГЦН с применением гидравлического ключа

Процесс	Время, мин	Обслуживающий персонал
Выкрутка пробок на 30 шпильках главного разъема и вставка в отверстия шпилек измерительных штанг	8	2 слесаря
Установка на гайки главного разъема 30 колец	2	2 слесаря
Подъем изделия при помощи крана, спуск на главный разъем насоса на 20—40 мм poste соприкосновения тяг исполнительных механизмов со шпильками главного разъема	8	1 крановщик, 2 слесаря
Навинчивание от руки двух-трех тяг на два-три витка на шпильки главного разъема для создания направления	1	2 слесаря
Опускание изделия до упора опорными втулками на сферические шайбы главного разъема	1	2 слесаря
Навинчивание тяг на шпильки главного разъема при помощи пневматического ключа и проверка калибром положения поршней исполнительных механизмов	14	2 слесаря
Установка индикаторов на торцы тяг и их обнуление	4	2 слесаря
Подключение персонального компьютера к блоку сбора информации, подключение маслонасосной станции к коллектору изделия при помощи гибкого рукава высокого давления	1	2 слесаря
Создание давления в гидравлической системе, обеспечивающего непрерывную поэтапную вытяжку всех 30 шпилек	6	Автоматически
Закручивание при помощи моментных ключей гаек главного разъема	15	2 слесаря
Сброс давления в системе и снятие индикаторов	6	2 слесаря
Отвинчивание при помощи пневматических ключей 30 тяг со шпилек главного разъема	10	2 слесаря
Отсоединение компьютера от блока сбора информации и рукава от коллектора изделия	1	2 слесаря
Снятие краном изделия с главного разъема и установка на временные опоры	8	1 крановщик, 2 слесаря
Итого	85	2 слесаря, 1 крановщик

Суммарное время (59 мин) на разуплотнение главного разъема ГЦН с применением гидравлического ключа в процессе овладения обслуживающим персоналом опыта работы может снизиться до 45—50 мин. Для удобства дальнейшего расчета примем общее время разуплотнения главного разъема насоса 60 мин.

Исходя из опыта проведения ремонтных работ, длительность разуплотнения главного разъема традиционными методами составляет примерно 5 ч, в этой операции принимает участие пять-шесть специалистов, тогда как при использовании монтажного комплекта достаточно двух слесарей и одного крановщика.

Экономия времени при использовании изделия составит 4 ч.

При 12 насосах, находящихся в эксплуатации, ежегодно выполняется ремонт, связанный с разуплотнением главного разъема на 4 насосах. С учетом этого годовая экономия времени составит 16 ч.

Время на выполнение уплотнения главного разъема рассчитано из тех же условий (табл. 2).

Суммарное время на уплотнение главного разъема ГЦН с применением гидравлического ключа (85 мин) в процессе овладения опытом работы обслуживающего персонала может снизиться до 60—65 мин. Для дальнейшего расчета примем общее время уплотнения главного разъема насоса 1,3 ч.

В настоящее время длительность процесса уплотнения главного разъема при работе традиционными методами составляет приблизительно 8,5—9 ч, в этой операции принимает участие пять-шесть специалистов, тогда как при использовании монтажного комплекта достаточно двух слесарей и одного крановщика.

Экономия времени — примерно 7,5 ч. При четырехгодичном ремонтном цикле годовая экономия времени равна 30 ч.

Суммарная экономия времени при операциях разуплотнения-уплотнения главного разъема насосов ГЦН-195М в год составит примерно 46 ч.

Учитывая, что эти работы стоят на критическом пути при ремонте оборудования энергоблока и подготовке к пуску реактора, перераспределение высвободившегося ремонтного персонала на выполнение других работ позволит снизить общий срок ремонта и, как следствие, повысить экономическую эффективность. Для реактора ВВЭР-1000 можно получить 46 ГВт дополнительно выработанной энергии в год.

С условием применения описанного гидравлического ключа время, проведенное персоналом в условиях ионизирующих излучений, более чем в 5,5 раза меньше по сравнению со временем, проведенным персоналом при используемых на данный момент методах обслуживания разъема ГЦН.

Выводы

Применение созданного гидравлического ключа позволит повысить качество обслуживания главного разьема ГЦН и исключить нарушения технологии.

Использование комплекта благодаря одновременному задействованию всех 30 шпилек позволяет:

предупреждать создание аварийной ситуации, связанной с повреждением шпилек главного разьема за счет высоких технических возможностей описанного гидравлического ключа;

значительно сокращать дозовые нагрузки рентгеновского излучения на персонал за счет уменьшения времени выполнения операции;

уменьшать время простоя оборудования.

Список использованной литературы

1. Шевцов А. И. Ядерная безопасность в Украине та евроінтеграційні процеси / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, А. З. Дорошкевич // Стратегічна панорама. — 2004. — № 4. — С. 57–61.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок: ПНАЭ Г-7-008-89. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 170 с.
3. Марцинковский В. А. Насосы атомных электростанций / В. А. Марцинковский, П. Н. Ворона. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 256 с.
4. Пат. РСТ/FR2007/051478 Франция, МПК В 23 Р 19/06, WO 2008/00095 А1. Device for tensioning threaded rods / Monville, Jean-Michel; Loiseau, Valerie; Faus, Jose; ALEGRE, Marc; заявитель и патентообладатель АК-ТИБОЛАГЕТ SKF Hornsgatan 1, S-415 50 Goteborg № 0605924; заявл. 30.06.2006; опубл. 03.01.2008. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008000995>
5. Пат. 2092303 Российская Федерация, МПК В25 В 29/02. Устройство для сборки и разборки крепежных деталей фланцевых соединений сосудов давления / Геймур А. П.; заявитель и патентообладатель Особое конструкторское бюро машиностроения. — № 94008246/28; заявл. 10.03.1994; опубл. 10.10.1997. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/304535>
6. Пат. 08-011063 Япония, МПК В23 Р 19/06. Flange bolt fastening method and fastening auxiliary device / Yoshida Tadashi; Suwa Hideyuki; заявитель и патентообладатель Hitachi Plant Eng & Constr Co Ltd. — № 06-169070; заявл. 28.06.1994; опубл. 16.01.1996. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.sumobrain.com/patents/jp/Flange-bolt-fastening-method-auxiliary/JP3467849.html>
7. Пат. 5330159 США, МПК G2 C 13/06. Apparatus for automatically inserting and removing screw-threaded elements into and from tapped bores / Siegfried Heiermann; заявитель и патентообладатель GEA WENUTEC GMBH, Germany. — № US 08/005,560; заявл. 19.01.1993; опубл. 19.07.1994. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US5330159>
8. Коновалов А. И. Гайковёрт нового века / А. И. Коновалов // Атомная стратегия. — 2006. — № 22. — С. 33. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.proatom.ru/files/as22_20_40.pdf
9. Пат. 71976 Украина, МПК F16B 1/00. Пристрій для створення зусилля при герметизації фланцевих роз'ємів корпусів обладнання / Пашченко В. Д., Пушкар С. Л., Проценко С. В., Чуйко В. П. — № u 2010, заявл. 20.04.2010; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15.

References

1. Shevtsov A., Zemlianyi M., Doroshkevich A. (2004), "Nuclear Safety in Ukraine and European Integration Processes" [Yaderna bezpeka v Ukraini ta yevrointehratsiini protsesy], Stratehichna panorama, No. 4, pp. 57–61. (Ukr).
2. Rules of Design and Safe Operation of Equipment and Piping of Nuclear Power Plants PN AE G-7-008-89 [Pravila ustroistva i bezopasnoi ekspluatatsii oborudovaniia i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok: PNAE G-7-008-89], Moscow: Energoatomizdat, 1990, 170 p. (Rus).
3. Martsinkovskiy V., Vorona P. (1987), Pumps of Nuclear Power Plants [Nasosi atomnykh elektrostantsii], Moscow: Energoatomizdat, 1987, 256 p. (Rus).
4. MONVILLE, Jean-Michel; LOISEAU, Valerie; FAUS, Jose; ALEGRE, Marc. Patent PCT/FR2007/051478 [FR], B 23 P 19/06, WO 2008/00095 A1. Device for Tensioning Threaded Rods, owner AK-TIEBOLAGET SKF Hornsgatan 1, S-415 50 Goteborg No. 0605924; app. 30.06.2006; pub. 03.01.2008, available at: <http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008000995> (Fr)
5. Geimur A. P. Patent 2092303 [RU], MPK B25 B 29/02, Device for Assembly and Disassembly of Flange-Joint Fasteners of High-Pressure Vessels, owner Osoboe konstruktorskoe biuro mashinostroeniia, No. 94008246/28; app. 10.03.1994; pub. 10.10.1997. [Patent 2092303 Rossiiskaia Federatsiia, MPK B25 B 29/02. Ustroistvo dlia sborki i razborki krepezhnykh detalei flantsevykh soedineniii sosudov davleniia], available at: <http://bankpatentov.ru/node/304535> (Rus).
6. Yoshida Tadashi; Suwa Hideyuki. Patent 08-011063 [JP], MPK B23 P 19/06, Flange Bolt Fastening Method and Fastening Auxiliary Device, owner Hitachi Plant Eng & Constr Co Ltd, No. 06-169070; app. 28.06.1994; pub. 16.01.1996, available at: <http://www.sumobrain.com/patents/jp/Flange-bolt-fastening-method-auxiliary/JP3467849.html> (Eng).
7. Siegfried Heiermann. Patent 5330159 [US], MPK G2 C 13/06, Apparatus for Automatically Inserting and Removing Screw-Threaded Elements Into and From Tapped Bores; owner GEA WENUTEC GMBH, GERMANY, No. US 08/005,560; app. 19.01.1993; pub. 19.07.1994, available at: <http://www.google.com/patents/US5330159> (Eng).
8. Konovalov A. (2006), "Wrench of the New Century" [Gaikovirt novogo veka], Atomnaia strategii, No. 22, p. 33, available at: http://www.proatom.ru/files/as22_20_40.pdf (Rus).
9. Pashchenko V.; Pushkar S.; Protsenko S.; Chuiko V. Patent 71976 [UA], MPK F16B 1/00. Device for Creating Efforts during Sealing of Flange Connector Equipment Casing / [Patent 71976 Ukraina, MPK F16B 1/00. Prystrii dlia stvorennia zusyillia pry hermetyzatsii flantsevykh roz'emiv korpusiv obladnannia], No. u 2010 04681; app. 20.04.2010; pub. 10.08.2012, Bull. No. 15. (Ukr).

Получено 09.09.2014.