

УДК 621.9

*Е.И. СОКОЛ, Г.И. ИЩЕНКО, А.Ю. ЧЕРКАССКИЙ, М.Г. ИЩЕНКО, А.В. ЛИННИК***ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ ДЛЯ ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС**

В статті розглянуті технологічні особливості виробництва унікального енергетичного обладнання турбіни для Дністровської ГАЕС масою 900т, діаметром 12м. Науково-технічне співробітництво заводу «Турбоатом» та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» дозволяє ефективно вирішити конструкторсько-технологічні завдання та впровадити в виробництво інноваційні наукоємні процеси виготовлення унікальних гідроагрегатів. Діяльність підприємства здійснюється замкнутому циклу: від дослідження, проектування, підготовки виробництва, виготовлення до шефмонтажу та техобслуговування поставленої техніки. Детально аналізуються технологічні особливості виготовлення основних деталей за видами виробництва в заготівельному металургійному, зварювальному, механіко-виробничому виробництві при використанні сучасного портально-фрезерного станку з ЧПУ мод.НС33-Вальдріх Кобург (Німеччина) з використанням унікальних пристосувань для фрезерування 5-ти метрових лопастей. Розроблені методи та засоби контролю унікальних деталей до механічної обробки та після використання нової координатно - вимірювальної руки машини «Фаро» (Франція) з програмним забезпеченням Delcam. Завдяки комплексному технічному переозброєнню з застосуванням науково-технічного та виробничого потенціалу створено унікальний комплексний замкнений технологічний процес виробництва гідроагрегатів Дністровської ГАЕС на найвищому світовому рівні.

Ключові слова Технологічні особливості, виробництво, унікальне енергетичне обладнання, турбіни для Дністровської ГАЕС, заготівельне, металургійне, зварювальне, механікозбірне виробництво, методика та засоби контролю комплексне технічне переозброєння.

В статье рассмотрены технологические особенности производства уникального энергетического оборудования турбины для Днестровской ГАЭС массой 900т, диаметром 12м. Научно-техническое сотрудничество завода «Турбоатом» и Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» позволяет эффективно решать конструкторско-технологические задачи и внедрять в производство инновационные наукоёмкие процессы изготовления уникальных гидроагрегатов. Деятельность предприятия осуществляется по замкнутому циклу: от исследования, проектирования, подготовки производства, изготовления до шефмонтажа и техобслуживания поставленного оборудования. Детально проанализированы технологические особенности изготовления основных деталей по видам производства в заготовительном металлургическом, сварочном, в механосборочном производстве при использовании модернизированного портально-фрезерного станка с ЧПУ мод. NS33-Waldrich Coburg (Германия) с использованием уникальнейших приспособлений для фрезерования 5-ти метровых лопастей. Разработаны методика и средства для контроля уникальнейших деталей до механической обработки и после с использованием новой координатно - измерительной руки машины «Фаро» (Франция) с программным обеспечением Delcam. Благодаря комплексному техническому перевооружению с применением научного, инженерного и производственного потенциала создан уникальный комплексный замкнутый технологический процесс изготовления гидроагрегата Днестровской ГАЭС на высочайшем мировом уровне.

Ключевые слова: технологические особенности, производство, уникальное энергетическое оборудование, турбины для Днестровской ГАЭС, заготовительное, металлургическое, сварочное, механосборочное производства, методика и средства контроля комплексное техническое перевооружение.

In the article technological features of production of the unique power equipment of the turbine for the Dnieper-Stara PSES with the mass of 900 tons, diameter of 12 m are considered. The scientific and technical cooperation of the Turboatom plant and the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" allows us to effectively solve design and technological problems and introduce innovative science-intensive processes for the production of unique hydrogagates. The activity of the enterprise is carried out on a closed cycle: from research, design, preparation of production, production to installation supervision and maintenance of the supplied equipment. The technology of manufacturing the impeller of a hydroturbine is considered. On the accuracy and quality of its production depends on the efficiency of the pump / turbine, and it must be in the pumping mode 92.8% in the turbine mode 94.0%. Technological peculiarities of manufacturing the main parts by kinds of production in procurement metallurgy, welding, in mechanic-assembly production are analyzed in detail using the modernized portal-milling machine with CNC mod. NS33-Waldrich Coburg (Germany) using unique devices for milling of 5-meter blades.

Methods and tools for controlling the unique parts before machining and then using the new coordinate - measuring arm of the Faro machine (France) with the Delcam software have been developed. Thanks to the complex technical re-equipment with the use of scientific, engineering and production potential, a unique complex closed technological process for the manufacture of the hydroelectric unit of the Dniester PSEP at the highest world level has been created.

Keywords: technological features, production, unique energy equipment, turbines for Dniester hydroelectric power station, procurement, metallurgical, welding, mechanized assemblies, methods and means of control, complex technical re-equipment.

Постановка проблеми. Производство энергетического оборудования – это сложный наукоёмкий и комплексный технологический процесс, для реализации которого необходимо иметь сильный научно-инженерный потенциал и мощную интеллектуальную и производственную базу. Такими характеристиками обладает современный ПАО «Турбоатом». Именно постоянный поиск новых технологических решений и применение инновационных методик изготовления трудоемкой продукции позволяет предприятию оставаться конкурентоспособным и востребованным.

Цель работы. Создание наукоёмкого производства для изготовления гидротурбин мирового уровня.

Основной материал. Деятельность предприятия

осуществляется по замкнутому циклу: от исследования, проектирования, подготовки производства, изготовления до шефмонтажа и техобслуживания поставленного оборудования [1, 2, 3, 5].

Остановимся на технологических особенностях производства турбины для Днестровской ГАЭС.

Это уникальный проект гидравлической электростанции на Украине и изготовление гидротурбины так же уникальный технологический процесс (рис. 1).

Вес отдельных деталей и узлов турбины впечатляет:

- щит кольцевого затвора - $m=80\text{т}$. $\varnothing=10,7\text{м}$;
- вал турбины – $m=100\text{т}$. $L = 8,5\text{м}$;
- рабочее колесо – $m=120\text{т}$. $\varnothing = 7,3\text{м}$;
- статор турбины (в сборе) – $m=300\text{т}$. $\varnothing = 12,2\text{м}$;

© Е.И. Сокол, Г.И. Ищенко, А.Ю. Черкасский, М.Г. Ищенко, А.В. Линник, 2017

- крышка турбины – $m=370\text{т}$. $\text{Ø} = 12\text{м}$;

- направляющий аппарат (в сборе) $m=900\text{т}$,
 $\text{Ø}=12\text{м}$ [2, 3, 4].

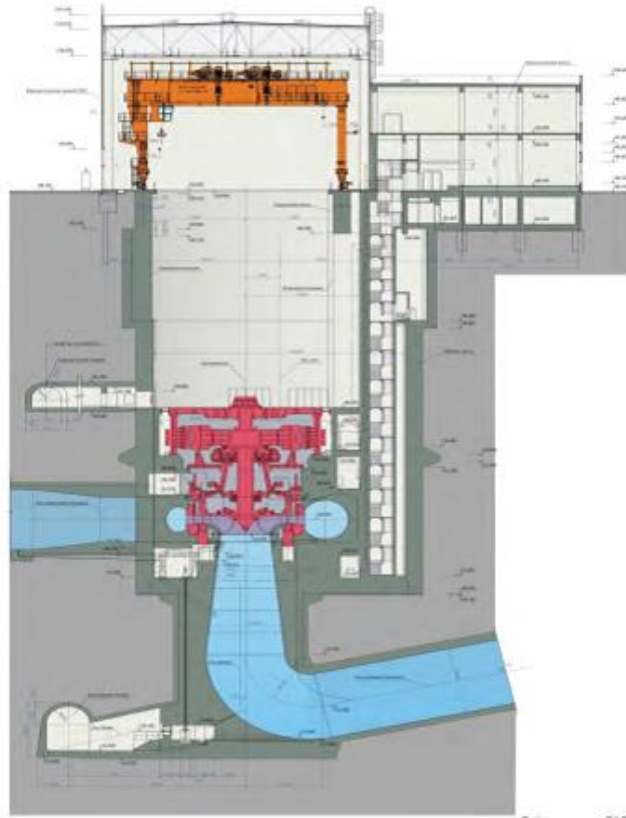


Рис.1 – Разрез по агрегату Днестровской ГАЭС

Что подтверждает тот факт, что в производственном процессе имеет место также внешняя кооперация. Представим отдельные новые технологии, которые выполняются на ПАО «Турбоатом» в настоящее время.

В качестве примера реализации сложного технологического решения рассмотрим технологию изготовления рабочего колеса гидротурбины, так как от точностных и качественных характеристик этого из-

делия зависит эффективность работы насос/турбины, которая эксплуатируется в насосном режиме 92,8% в турбинном режиме – 94,0%.

В рабочем колесе 7 лопастей (рис.2). Вес заготовки 1 лопасти – 10т., длина – 5м. От точности изготовления лопасти зависит точность изготовления рабочего колеса, что прямопропорционально эффективности работы агрегата [6].



Рис.2 – Рабочее колесо Днестровской ГАЭС

В металлургическом производстве: заготовки лопастей и лопаток (жидкий вес 16т.) при производстве четвертого гидроагрегата отлиты в литейном цехе ПАО «Турбоатом» цельными вместо сварно-литых из частей, как это было раньше. Это стало возможным благодаря проведенной модернизации и замене металлургического оборудования на формовочном, обрубном, термическом, литейном участках и

перехода на новую технологию, основанную на фуран – процессе и использование блочно – модульного комплекта оснастки (рис.3, рис.4).

В заготовительно – сварочном производстве: для сборки, сварки и обрубки крупногабаритных металлоконструкций были созданы три новых участка, которые оснащены современным оборудованием.



Рис.3 – Новый мобильный смеситель ф. IMF (Италия)



Рис.4 – Заливка лопасти рабочего колеса по новой технологии

А также модернизированы три газорезательные линии «Мессер Гресхайм» (Германия) для автоматической резки листового проката (рис. 5 и рис. 6).

Сборка и сварка рабочего колеса выполняется на специализированном участке, оснащённом оборудованием для электроподогрева, оборудованием для сварки одновременно всех 7 лопастей. Сварка производится аустенитными электродами европейских производителей. Термическая обработка после сварки

выполняется в шахтной электропечи Ø8м. Контроль сварных швов 100% (визуальный, УЗК, ЦД).

В механосборочном производстве при изготовлении гидравлической турбины была разработана и внедрена в производство новая технология механической обработки лопастей на базе станков с ЧПУ. Суть технологии заключается в обработке сложнопрофильного изделия по управляющим программам, вместо обработки по шаблонам и копирами [7].



Рис. 5 – Современный участок сварки ПАО «Турбоатом»



Рис. 6 – Рабочее колесо Днестровской ГАЭС после сварки

Внедрение такой технологии на ПАО «Турбоатом» стало возможным за счет применения модернизированных обрабатывающих центров «Вальдрих Кобург» (Германия), «Шкода» (Чехия), «Иноченти» (Италия). Качественное решение задачи сложнопрофильного формообразования на металлообрабатывающем оборудовании потребовало проектирования и изготовлена специальной оснастки, разработки управляющих программ для обработки и контроля деталей.

Обработка ведется с использованием 5 – координатной головки и современного режущего инструмен-

та (рис.7). Лопастей – это детали сложного профиля, которые имеют теоретический чертеж, подтвержденный лабораторными модельными испытаниями [1, 2, 4, 6]. Лопастей в металле должны соответствовать теоретическому чертежу т.к. это обеспечивает КПД гидромашин. Обработка профиля лопасти, разделки под сварку по стороне обода и ступицы рабочего колеса, входной и выходной кромок выполняется на специальных установочных приспособлениях, позволяющих позиционировать лопасть в оптимальное положение для фрезерования (рис.8, рис.9)



Рис.7 – Модернизированный портално-фрезерный станок мод. HC33-Waldrich Coburg (Германия)

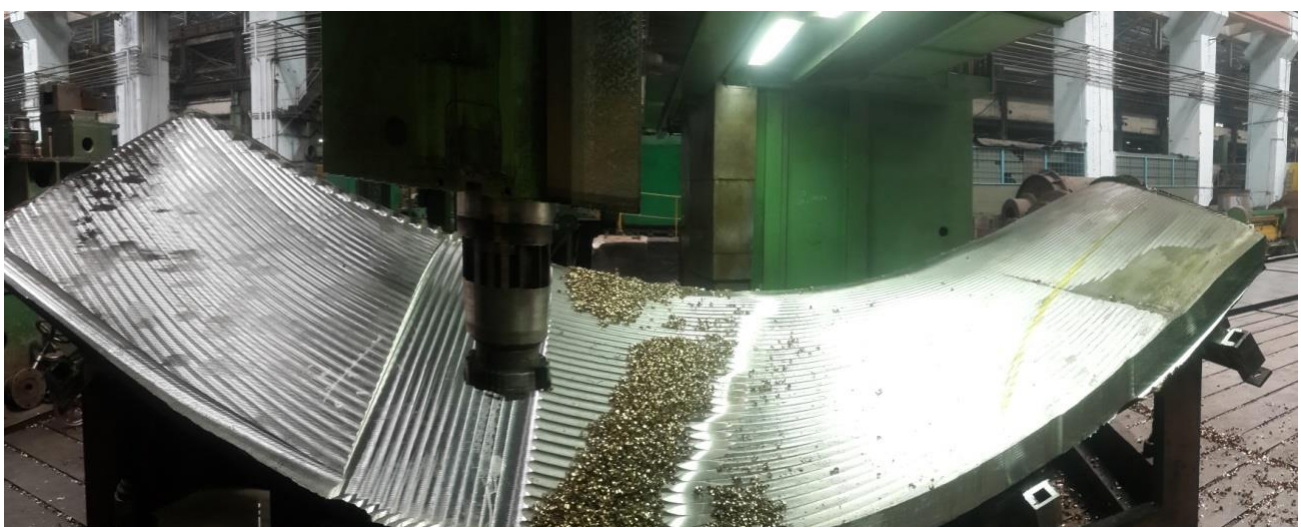


Рис.8 – Приспособление для фрезерования «тыльной» стороны лопасти

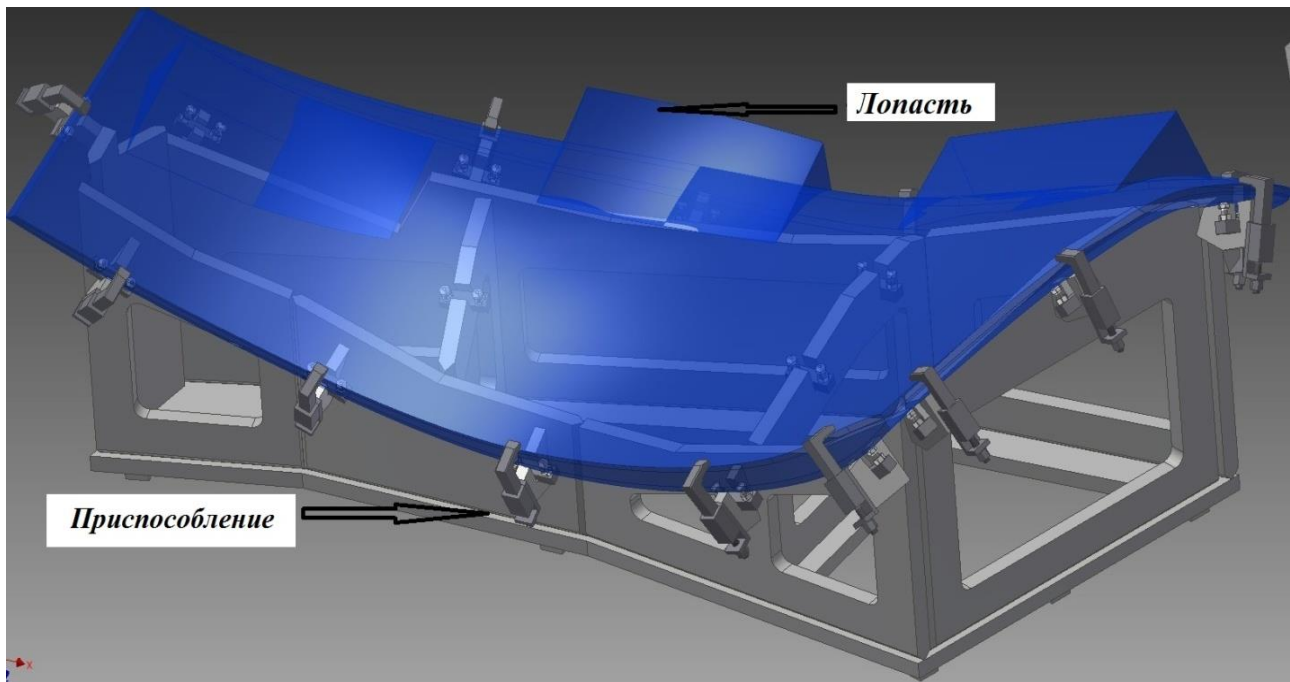


Рис 9 – Приспособление для фрезерования «рабочей» стороны лопасти



Рис. 10 – Фрезерование лопасти на станке с ЧПУ фирмы Waldrich Coburg (Германия)

Разработанное приспособление значительно повышает жесткость установки, оптимизирует вылет режущего инструмента на участках криволинейных перепадов сложного профиля лопасти, раскрывает «труднодоступные зоны» на переменном профиле лопасти.

Контроль деталей до механической обработки и после нее выполняется с использованием новой коор-

динатно - измерительной руки «Фаро» (Франция), высокоточная работа которой координируется с использованием интегрированного программного обеспечения Delcam [1, 2]. Контрольная разметка лопасти перед механической обработкой – очень важная операция и необходима для равномерного распределения припусков в заготовке (рис. 12).

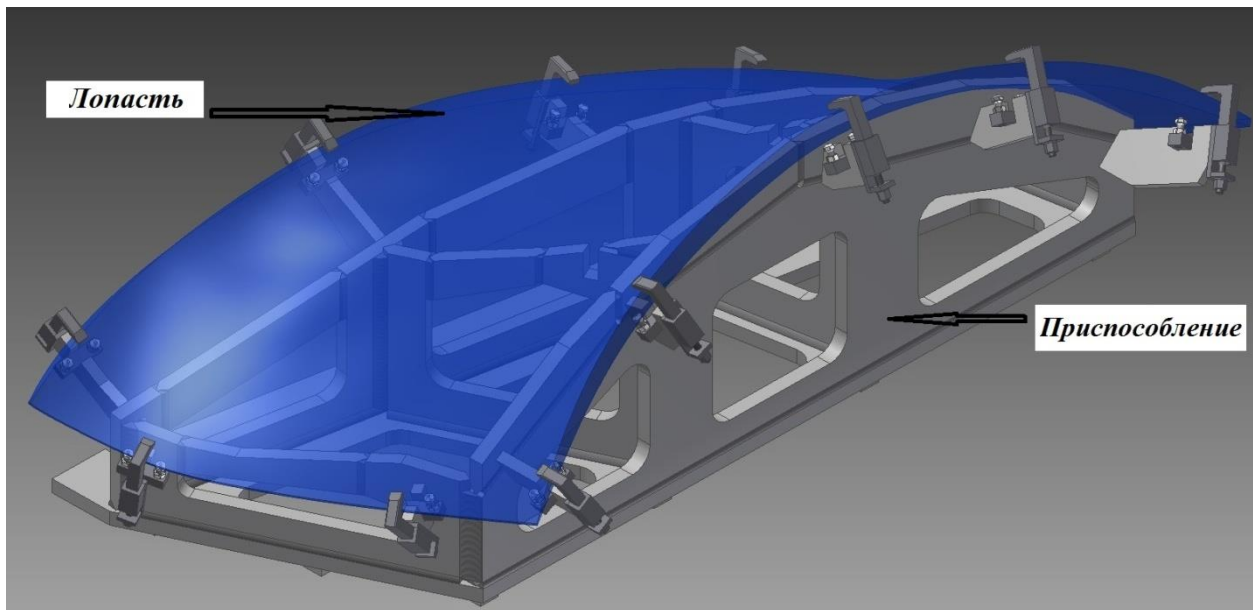


Рис. 11 – Контроль профильных точек на станке после фрезерования



Рис.12 – Контрольная разметка лопасти под механическую обработку

Выводы. Таким образом, имея современные обрабатывающие центры с ЧПУ, специальные установочные приспособления, высокопроизводительный инструмент, высокоточные управляющие программы мы получаем точно и качественно обработанные детали.

Благодаря проведенной работе по техническому перевооружению металлургического, заготовительно – сварочного, механосборочного производств с 2008г. по 2016г. в преддверии подготовки к изготовлению четвертого гидроагрегата Днестровской ГАЭС на «Турбоатоме» замкнули производство рабочих колес.

Рис.13 – Отгрузка рабочего колеса $\varnothing = 7,3\text{м}$, $m=120\text{т}$. спецтранспортом

Эти новые решения и технологии позволили значительно сократить циклы производства, повысить качество изготовления продукции и вернуть отдельные детали из внешней кооперации на собственное производство.

Список литературы

1. *Субботин, В. Г.* «Турбоатом» – это 80 лет инноваций, надежности и успеха / В. Г. Субботин, интервью. Провела: О. Шукина // Турбоатом: газ. трудового коллектива ОАО «Турбоатом». – 6 февр. 2014 г. – № 1 (4784). – С. 1-2. – Режим доступа : <http://www.turboatom.com.ua/content/documents/27/2673/files/2014-02-06.pdf>.
2. *Угольников В. В.* Создание крупных гидротурбин и обратимых гидромашин / В. В. Угольников, И. С. Веремеенко // Энергомашиностроение. - 1986. - № 1. - С. 35-39.
3. *Веремеенко И. С.* Опыт модернизации гидротурбинного оборудования в ОАО «Турбоатом» // Вестн. НТУ «ХПИ». -2001. - Вып. 129. - С. 10-22.
4. *Турбоатому - 75.* История, достижения, перспективы / В. Г. Субботин (ред.), А. А. Бугаец (ред.). – Харьков : Золотые страницы, 2009. – 200 с. 3. Левченко, Е. В. Опыт ОАО «Турбоатом» в разработке и модернизации турбин для АЭС / Е. В. Левченко, В. Л. Швецов И. И. Кожешкурт, А. Н. Лобко // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьк. политех. ин-т». Сер.: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – 2010. – № 3. – С.
5. *Добротворский С.С.* Повышение конкурентоспособности отечественного машиностроительного производства в современных условиях // С.С. Добротворский, Е.В. Басова, Л.Г. Добровольская, А.К. Мялица // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Технологии в машиностроении. Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – Вып.55(42). – С. 25-31.
6. *Добротворский С.С.* Исследование оптимального угла наклона концевой сферической фрезы относительно обрабатываемых поверхностей деталей сложной формы с переменной жесткостью / С.С. Добротворский, Е.В. Басова, М.И. Гасанов и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – Вып. 69. – С. 108 – 112.
7. *Басова Е.В.* Обеспечение точности изготовления сложнопрофильных поверхностей концевыми фрезами на обрабатывающих центрах/ *Е.В. Басова* // Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении – 2015: сборник научных трудов [Текст] / Закрытое акционерное общество «ОНИКС». – Ирбит: ЗАО «ОНИКС», 2015. – 235 с.: ил, табл.; – С. 153-162.

References (transliterated)

1. *Subbotin, V.* "Turboatom" - 80 Years of Innovation, Reliability and Success / VG Subbotin, interview. Spent: O. Shchukin // Turboatom: gas. Labor collective of OJSC "Turboatom". - Feb. 6 2014 No. 1 (4784). pp. 1-2. Access mode: <http://www.turboatom.com.ua/content/documents/27/2673/files/2014-02-06.pdf>.
2. *Ugolnikov V., Veremeenko I.* Sozdanie krupnykh gidroturbin i obratimyykh gidromashin [Creation of large hydro turbines and reversible hydromashines]. Energomashinostroeniya. 1986 - No 1. pp. 35-39.
3. *Veremeenko I.* Opyit modernizatsii gidroturbinogo oborudovaniya v ОАО «Turboatom» [With the experience of modernization of hydro turbine equipment at ОАО Turboatom]. Vestn. NTU "KhPI". 2001. No129. pp. 10-22.
4. *Turboatom - 75.* History, achievements, prospects / VG Subbotin (ed.), AA Bugaets (ed.). - Kharkiv: Golden Pages, 2009. - 200 p. 3. Levchenko, EV Experience of OJSC "Turboatom" in the development and modernization of turbines for nuclear power plants / E.V. Levchenko, V. L. Shvetsov, I. I. Kozheshkurt, A. N. Lobko // Vestn. National Tech. Un "Kharkiv. Polytechnic In-t ". Sir: Energy and heat engineering processes and equipment. 2010. No. 3. pp. 5-11
5. *Dobrotvorskiy S.S., Basova E.V., Dobrovolskaya L.G. etc.* Povyshenie konkurentosposobnosti otechestvennogo mashinostroitelnogo proizvodstva v sovremennykh usloviyakh [Increase of competitiveness of domestic machine-building production in modern conditions] Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. No.55(42). pp. 25-31.
6. *Dobrotvorskiy S., Basova E., Hasanov M., Golovatii R.* Issledovanie optimalnogo ugla naklona kontsevoy sferi-cheskoj frezyi otositelno obrabatyvaemykh poverhnostey detaley slozhnoy formy s peremennoy zhestkostyu [Research optimal value of inclination angle in ball end milling relative to machined surfaces parts complex shapes with variable stiffness]. Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternyye integriro-vannyye tehnologii: sb. nauch. Tr Kharkov. KhAI, 2015, vol 69. pp. 108-112.
7. *Basova E.V.* Obespechenie tochnosti izgotovleniya slozhnoprofilnykh poverhnostey kontsevyimi frezami na obrabatyvayuschih tsentrah [Ensuring the accuracy of the manufacture of sophisticated surfaces with end mills at machining centers]. Problemyi proektirovaniya i avtomatizatsii v mashinostro-enii – 2015: sbornik nauchnykh trudov. Zakryitoe aktsionernee obschestvo «ONIKS». – Irbit: ZAO «ONIKS», 2015. – 235 p.: il, tabl. pp. 153-162.

Поступила (received) 16.06.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Технологічне забезпечення виготовлення гідравлічної турбіни для Дністровської ГАЕС / С.И. Сокол, Г.И. Ищенко, А.Ю. Черкасский, М.Г. Ищенко, О.В. Линник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 5–13. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-004X.

Технологическое обеспечение изготовления гидравлической турбины для Дністровської ГАЕС / Е.И. Сокол, Г.И. Ищенко, А.Ю. Черкасский, М.Г. Ищенко, А.В. Линник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 5–13. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2079-004X.

Technological support for the manufacture of a hydraulic turbine for the Dniester PSPP / E. Sokol, G. Ishchenko, A. Cherkasy, M. Ishchenko, A. Linnik // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 26 (1248). – P5–13. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сокол Євген Іванович - доктор технічних наук, професор, ректор Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, тел.: (057) 700-15-64; omsroot@kpi.kharkov.ua;

Сокол Евгений Иванович – доктор технічних наук, професор, ректор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, тел.: (057) 700-15-64; omsroot@kpi.kharkov.ua;

Sokol Evgeny Ivanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, tel.: (057) 700-15-64; omsroot@kpi.kharkov.ua;

Ищенко Григорій Іванович - головний інженер ПАТ «Турбоатом», Харків, тел.: 38 (0572) 90-22-08; office@turboatom.com.ua;

Ищенко Григорий Иванович – главный инженер ПАО «Турбоатом», Харьков, тел.: 38 (0572) 90-22-08; office@turboatom.com.ua;

Ishchenko Grigory Ivanovich - Chief Engineer of PJSC "Turboatom", Kharkov, tel.: тел.: 38 (0572) 90-22-08; office@turboatom.com.ua;

Черкасский Алексей Юрьевич - перший заступник генерального директора ПАТ «Турбоатом», Харків, тел.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Черкасский Алексей Юрьевич – первый заместитель генерального директора ПАО «Турбоатом», Харьков, тел.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Cherkassky Alexey Yurievich - First Deputy General Director of PJSC "Turboatom", Kharkiv, tel.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Ищенко Михайло Григорович - начальник технологічного відділення ПАО «Турбоатом», Харків, тел.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Ищенко Михаил Григорьевич – начальник технологического отдела ПАО «Турбоатом», Харьков, тел.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Ishchenko Mikhail Grigorievich - Chief of Technology Department of PJSC "Turboatom", Kharkiv, tel.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Линник Александр Васильович - головний конструктор гідротурбін ПАТ «Турбоатом», Харків, тел.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Линник Александр Васильевич – главный конструктор гидротурбин ПАО «Турбоатом», Харьков, тел.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua;

Linnik Alexander Vasilievich - Chief Designer of the hydro turbines of PJSC "Turboatom", Kharkiv, tel.: +38 (057) 349-24-50, office@turboatom.com.ua.