

ПРИРОДНИЧІ ТА ТЕХНІЧНІ НАУКИ
NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

УДК 621:004.4`24(477)

АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЇХ В УКРАЇНІ

Габовда О.В., Садовнікова Т.М.

ANALYSIS OF COMPLEX SYSTEMS OF AUTOMATION IN MACHINE-BUILDING
AND IMPLEMENTATION OF THEIR IN UKRAINE

Habovda Olga, Sadovnikova Tetyana

Сучасні світові тенденції цифрової трансформації виробництва вимагають впровадження в Україні комплексних наскрізних систем автоматизації (КСА) підприємств класу CAD/CAM/CAE/CAPP/PLM/ERP. В статті надана порівняльна характеристика останніх версій продуктів лідируючих світових компаній – розробників систем цього класу за концепцією сучасної платформи «модель на основі життєвого циклу», висвітлені проблеми їх впровадження в Україні та перспективи розвитку української промисловості.

Ключові слова: КСА, PLM, Industry 4.0, ІІоТ, цифрові двійники, хмарні технології.

Modern global tendencies of digital transformation Industry 4.0, having irreversible character, require improvement of complex pass-through automation systems in Ukraine (CPAS) of enterprisses of class CAD/CAM/CAE/CAPP/PLM/ERP, lacking of which makes it impossible to make the country's economy competitive. But Ukrainian industry witnesses rather difficult times: manufacturing of great many enterprises posseses a low level of automation and a large number of universal, special equipment without computer numerical control, which makes it impossible to overpass to the latest platforms of system manufacturers of CPAS. The comparative characteristics of the latest versions of products of leading world companies is given in the present article – developers of systems of this class on the concept of the modern platform "life-cycle model" are - NX by Siemens PLM Software; CATIA by Dassault Systems; Creo Parametric by PTC, the problems of implementation of PLM technologies at large enterprises of Ukraine are highlighted in the article under consideration.

Keywords: КСА, PLM, Industry 4.0, ІІоТ, Digital Twins, cloud technologies.

Галузева структура машинобудування в Україні дуже різноманітна, але не на всіх її ланках виробництво має висхідну тенденцію. Серед найбільш успішних можна виділити в першу чергу авіабудування, а також важке та побутове машинобудування. На всіх машинобудівних підприємствах України використовуються системи автоматизованого проектування (САПР) того чи іншого класу в залежності від масштабів, специфіки та фінансових можливостей підприємств. Проте в сучасних умовах на перший план виходить комплексна автоматизація виробництва, яка неможлива без впровадження наскрізних комплексних систем автоматизації (КСА) класу CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/PLM/ERP [1]. У світі з'явилися революційні тенденції в області інтелектуального виробництва під назвою Industry 4.0, які передбачають його цифрову трансформацію на всіх рівнях життєвого циклу виробу.

Питання розвитку цифрового виробництва в Україні дуже актуальні, оскільки українські підприємства значно відстають від західних в плані автоматизації. У 2011 році була створена Асоціація підприємств промислової автоматизації України (АППАУ), метою якої є об'єднання з ІТ-сектором, хай-тек спільнотами та спрямування загального руху на

пришвидження модернізації української промисловості шляхом впровадження новітніх технологій. Багато в напрямку комплексної автоматизації робить українська корпорація «Інформаційні технології» - розробник системи ІТ - Enterprise, яка акумулює досвід успішних впроваджень на підприємствах різного профілю. Фахівці ІТ-Enterprise також націлені на розробку рішень по реалізації концепцій Industry 4.0 в Україні.

Для раціонального підбору систем автоматизації підприємств вивчається ринок САПР, їх можливості та доцільність впровадження на конкретному виробництві. Фірми – виробники САПР, регулярно анонсують оновлення своїх розробок, викладаючи відомості у фахових журналах, на своїх сайтах, виступаючи з доповідями на конференціях. Дослідженнями ринку інформаційних технологій займається разом з рядом інших незалежна аналітична компанія «Forrester Research». Вона має вісім дослідницьких центрів в США, Канаді та Європі. Фаховим джерелом інформації є також міжнародний інформаційно-аналітичний PLM журнал «CAD/CAM/CAE Observer», який висвітлює питання розробки і застосування новітніх комп'ютерних технологій в сфері автоматизації процесів конструювання, аналізу, розрахунків, технологічної підготовки виробництва та управління даними на всіх етапах життєвого циклу виробів та інші.

Метою статті є порівняльний аналіз функціональних можливостей лідируючих систем автоматизованого проектування важкого класу в розрізі найсучасніших концепцій комплексної автоматизації виробництва та висвітлення проблеми впровадження їх на підприємствах України. Дослідження проводилися із застосуванням загальнонаукових методів шляхом аналізу науково-технічної інформації за даною тематикою. Для досягнення мети були проаналізовані інформаційні джерела, на основі яких виділені САПР ведучих компаній, які порівнювалися за певним набором їх можливостей.

Коротко нагадаємо призначення складових комплексної системи автоматизації класу CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/PLM/ERP: CAD (Computer Aided Design) – система автоматизованого проектування; CAE (Computer Aided Engineering) – інженерний аналіз; CAM (Computer Aided Manufacturing) – комп'ютерна підтримка виготовлення виробу (проектування обробки деталей на верстатах з СЧПУ і створення керуючих програм для таких верстатів); CAPP (Computer-Aided Process Planning) – технологічна підготовка виробництва; ERP (Enterprise Resource Planning System) – планування ресурсів підприємства (система призначена для ведення єдиної бази даних по всіх підрозділах і завданнях); PDM (Product Data Management) – система управління даними про виріб (збирає інформацію з усіх автоматизованих систем CAD/CAM/CAE/CAPP/ERP, що використовуються на підприємстві); PLM (Product Lifecycle Management) – технологія управління життєвим циклом виробу від маркетингових досліджень до експлуатації та обслуговування.

Основною ознакою важких САПР є те, що вони забезпечують весь життєвий цикл створення виробу від концептуальної ідеї до її реалізації, використовують в основному свої стандарти зберігання даних і мають в своєму складі набір конверторів для передачі моделей в інше програмне середовище. При цьому створюється проектно-технологічне середовище для одночасної роботи всіх учасників виробничого процесу з єдиною віртуальною електронною моделлю виробу. Лідируючими системами автоматизованого проектування важкого класу є: NX (колишня назва Unigraphics NX) від німецької компанії Siemens PLM Software; CATIA від французької фірми Dassault Systèmes; Creo Parametric (колишня назва Pro/ENGINEER) від американської корпорації PTC [2-4]. Платформи кожного з названих виробників мають свої розробки систем CAD/CAE/CAM/CAPP/PDM/ /PLM/ERP. Аналізуючи CAD/CAE/CAM системи цих корпорацій, можна стверджувати, що на даний час вони знаходяться майже на одному рівні (в різні часи системи поступалися своїм лідерством одна одній). Найсучаснішими версіями продуктів є: Creo 5.0 (2018 року випуску) від PTC; NX12 (2017 року випуску) від Siemens PLM Software; CATIA V5-6R2017 (2016 року випуску) від Dassault Systèmes.

Сучасна стратегія виробників ПО орієнтована на створення хмарної архітектури. Відповідно, змінюються й концепції систем PLM. Взагалі то, PLM – це не готове або налаштоване програмне рішення, а деяка сукупність технологій і методів інтеграції вже функціонуючих корпоративних систем із засобами колективної роботи з метою створення єдиного інформаційного простору. Як вже відмічалось, сьогодні світовим трендом в розвитку індустріальних підприємств є цифрове моделювання виробництва, яке включає такі концепції як ІоТ (Industrial Internet of Things - Індустріальний Інтернет речей); VR (Virtual Reality – технології віртуальної реальності – імітація реальних об'єктів за допомогою штучно створюваних 3D – об'єктів), AR (Augmented Reality – технології доповненої реальності – результат накладання на реальні об'єкти будь-яких сенсорних даних з метою доповнення відомостей про об'єкт та покращення сприйняття інформації) (див. Рис.1) [5]; Digital Twins (Цифрові двійники – віртуальні копії реальних виробів, оснащених датчиками, через які відбувається передача даних про їх стан в цифрове середовище, забезпечуючи зворотній зв'язок фізичного світу з віртуальним. Кожному фізичному виробу відповідає свій цифровий двійник, який також проходить всі етапи життєвого циклу від проектування до утилізації) (див. Рис.2) [6].

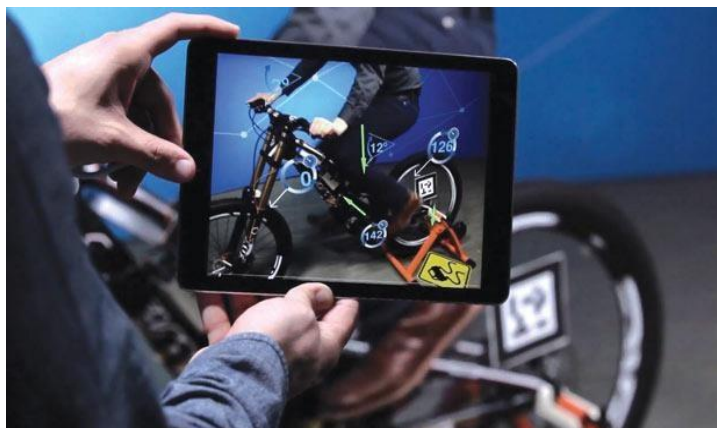


Рис.1. AR - технології доповненої реальності

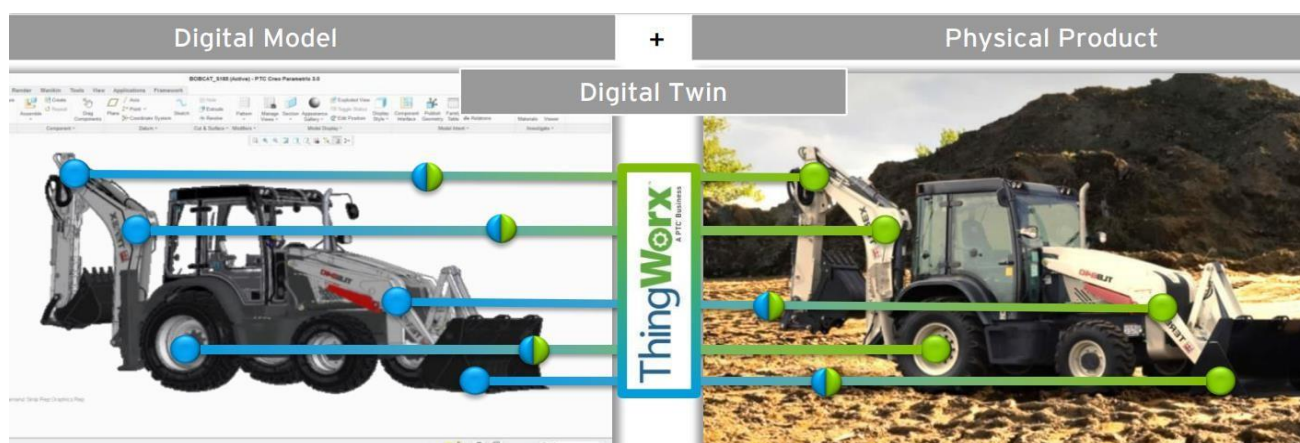


Рис.2. Цифрові близнюки

PLM - системи ведучих розробників (Windchill від PTC; Teamcenter від Siemens PLM Software та ENOVIA SmarTeam - сумісна розробка Dassault Systèmes та IBM) в тій чи іншій степені реалізують в своїх рішеннях ці концепції. PTC сильна на арені ІоТ з платформою ThingWorx, яка підключена до її програмного забезпечення для САПР CREO та комплекту PLM Windchill11. Крім того, вона може забезпечити розширені можливості з точки зору візуалізації зв'язаного з ThingWorx рішення AR - Vuforia (платформа доповненої реальності). За даними дослідження Forrester Research (див. Рис.3) корпорація PTC є лідером ринка PLM.

Компанія Siemens PLM Software вийшла вперед в області цифрового двійника: має безліч функцій для створення, імітації та передачі цифрових двійників за допомогою своїх систем NX CAD, Simcenter (програмний продукт для інженерного аналізу), MindSphere (хмарна платформа ІоТ) і Teamcenter. На відміну від вище згаданих, фірма Dassault Systèmes підключилася до концепції ІоТ пізніше, але на даний час вивела на ринок свою інноваційну платформу імітаційного моделювання 3DEXPERIENCE з версією ENOVIA R2018x. [7,8].



Рис.3. Рейтинг постачальників PLM
(за звітом Forrester Wave™: Управління життєвим циклом продукту для дискретних виробників, Q4 2017) [7]

Корпорація PTC надає єдине рішення в комплексній системі автоматизації машинобудівного підприємства завдяки продуктам Creo 5.0 та Windchill 11 з його інтегрованими модулями. Це було поштовхом для впровадження цього комплексного рішення на більш ніж 40 великих підприємствах України. Прикладом таких підприємств є Індустріальна група УПЕК, що включає Об'єднаний інженерний центр (ОІЦ) та такі провідні машинобудівні підприємства як: Харківський підшипниковий завод (ХАРП); Лозівський ковальсько-механічний завод (ЛКМЗ); Харківський електротехнічний завод «Укрелектромаш» (ХЕЛЗ); Харківський верстатобудівний завод (Харверст); Українська ливарна компанія (УЛК).

Залучення продуктів PTC Creo Parametric – Windchill дало можливість зв'язати в рамках однієї системи КТПВ (конструкторсько - технологічної підготовки виробництва) п'ять підприємств, які розташовані не просто на різних майданчиках, але навіть в різних містах. Створення інтеграційного рішення УПЕК було здійснено практично з нуля (див. Рис. 4). На заводах групи працює комплекс технологічної підготовки виробництва на базі систем Windchill MPMLink і Вертикаль (російської компанії АСКОН). Сімейство продуктів Windchill найбільш повно відповідає сучасним вимогам, оскільки з самого початку розроблялося корпорацією PTC як «хмарне» рішення по управлінню життєвим циклом виробу.

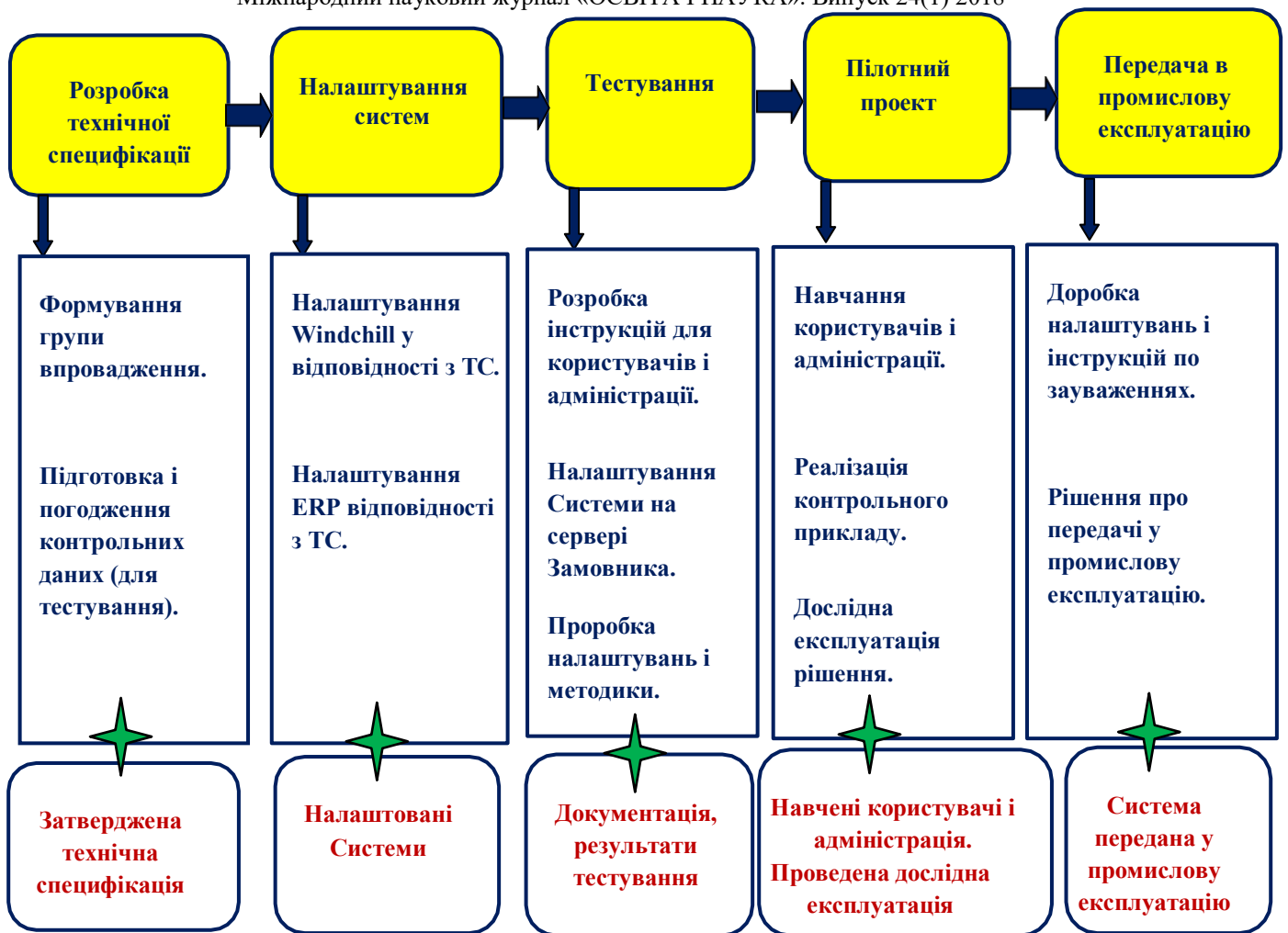


Рис.4. Загальна схема організації робіт на підприємствах УПЕК

Проблемою впровадження PLM в Україні, як і в інших країнах пострадянського простору, є розрив інтегрованого ланцюжка «проективання - виготовлення» на рівні формування технологічних процесів, тому що підхід до написання САПР технологічної підготовки виробництва значно відрізняється від західних технологій, оскільки останні зорієнтовані на СЧПУ і, відповідно, на випуск технологічного процесу як кінцевого продукту в електронному вигляді, а пострадянські технології кінцевим продуктом мають паперовий документ, у зв'язку з невисоким рівнем автоматизації та великою кількістю універсального і спеціалізованого обладнання без ЧПУ. До того ж, в системі Windchill MPMLink ще тільки планувався на той час модуль, який би забезпечив відповідність документації нормам ЄСТД. По цій причині фірмою – інтегратором Pro/TECHNOLOGIES була проведена стиковка Windchill з найбільш адаптованою САПР ТП «Вертикаль» від компанії АСКОН [9-10].

Крім групи УПЕК, комплексна система автоматизації Creo Parametric від PTC була впроваджена на таких підприємствах як ДП «Завод ім. Малишева», ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод», ВАТ «Дніпровагонмаш», ХК «АвтоКрАЗ», ВАТ «Азовмаш», ПАТ Сумське МНВО ім. Фрунзе, ВАТ «Дніпроважмаш», ХКБМ ім. Морозова, ВАТ «Мелітопольпрдмаш», ВАТ «ХМЗ «Світло шахтаря» та ін. Треба відмітити той факт, що ціни в Україні для PTC значно нижче, ніж для Dassault Systèmes та Siemens PLM Software, у зв'язку з відсутністю українських партнерських фірм, які займаються виключно впровадженням продуктів цих компаній. В корпорації PTC такою фірмою є ТОВ «ТЕХНОПОЛІС» (м. Київ).

АНТК «Антонов» - лідер вітчизняної індустрії, має багатий досвід впровадження

КСА: до 2009 року мав систему корпорації PTC, в 2010 році підприємство перейшло на платформу DSV5 (Dassault Systèmes), а в 2012 році – на продукти NX/Teamcenter (Siemens PLM Software). На відміну від PTC, Dassault Systèmes і Siemens PLM Software ідуть по шляху спеціалізації та конкурують між собою також і в авіаційній промисловості. На підприємстві планувалося створити 450 робочих місць CAD/CAM/CAE системи Siemens NX та не менше 650 робочих місць PLM системи Siemens Teamcenter. Протягом трьох років з використанням продуктів Siemens PLM Software був спроектований та випробуваний новітній транспортний літак Ан-178.

В результаті проведених досліджень зроблений порівняльний аналіз лідируючих систем автоматизованого проектування - NX від Siemens PLM Software; CATIA від Dassault Systèmes; Creo Parametric від PTC з точки зору забезпечення комплексної автоматизації підприємств, яка набула особливої актуальності в зв'язку з світовими тенденціями щодо цифрової трансформації виробництва. Найбільш адаптованими для підприємств України, на думку авторів, є комплексні системи Creo Parametric корпорації PTC, хоча останнім часом активно просуваються на ринки України та країн СНД продукти компанії Siemens PLM Software. Повноцінна реалізація технологій PLM в Україні з використанням продуктів ведучих світових компаній обмежена низьким рівнем автоматизації на багатьох підприємствах, великою кількістю універсального і спеціалізованого обладнання без ЧПУ, випуском технологічного процесу, як кінцевого продукту, в паперовому, а не в електронному вигляді. Перспективні концепції розвитку промисловості: Industrial IoT, модель на основі життєвого циклу, цифрові двійники, віртуальна і додана реальність, хмарні технології вказують напрямок, в якому має рухатися і розвиватися українське виробництво. Проблеми, означені в статті, стоять сьогодні в Україні дуже гостро та потребують висвітлення, оскільки без переводу економіки на цифрові рейки неможливо зробити економіку конкурентною. Виробничі процеси все далі стають цифровими, і це процес незворотній. Перед підприємствами постає багато проблем інвестиційного плану, але й спостерігається тенденція до зниження вартості ПО.

На думку авторів статті, цифрова трансформація виробництва дає поштовх й до нових «революційних» ідей в технології виготовлення виробів, до прикладу – поява адитивного виробництва, тому є сенс проводити дослідження в цьому напрямку. Крім того, не можна обминути увагою процес «розмивання» меж між важкими та середніми класами САПР, тим більше, що саме вони використовуються на багатьох середніх і малих промислових підприємствах України. Відомі розробники цих систем, такі як, наприклад, SolidWorks від Dassault Systèmes, також мають на меті створення комплексного продукту, який би забезпечував автоматизацію повного життєвого циклу виробу, і багато роблять в цьому напрямку.

Список використаних джерел

1. Кохановский В.И. Проблемы выбора комплексной системы класса CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/PLM на машиностроительном предприятии [Текст] / В.И. Кохановский, О.В. Кохановская // Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Машинознавство і САПР. – 2009. – №28. – С.59 – 80.
2. The Leading Product Design 3D CAD Software [Electronic resource]. – Available at: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo>.
3. NX12 [Electronic resource]. – Available at: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/12/index.shtml>.
4. Amit Patel CATIA V5-6R2017 (aka V5R27) is Finally Here! [Electronic resource]. – Available at: <https://www.intrinsys.com/blog/2017/catia-v5-6r2017-is-here>.
5. Frankel Aaron Есть способ лучше: цифровой двойник повысит эффективность процессов конструкторско-технологического проектирования и производства [Текст] / Aaron Frankel, Jan Larsson // CAD/CAM/CAE Observer. – 2016. – №3 (103). – С.36–40.

6. Marco Liesegang Digital Twin Augmented Reality [Electronic resource]. – Available at: http://files.messe.de/abstracts/76412_EY_Liesegang.pdf.

7. PTC Named a Leader in PLM Solutions for Discrete Manufacturing [Electronic resource] – Available at: <https://www.ptc.com/en/resources/plm/report/forrester-wave/>.

8. Ogewell Verdi PLM's Tough Journey: From Managing Documents to the Model-Based Enterprise – TV Report [Electronic resource] – Available at: <https://www.engineering.com/PLMERP/ArticleID/16362/PLMs-Tough-Journey-From-Managing-Documents-to-the-Model-Based-Enterprise-TV-Report.aspx>.

9. Толстов Д.Ф. Проект внедрения PLM в УПЭК. Эпизод III. Интеграция систем Windchill и ВЕРТИКАЛЬ на этапе автоматизации ТПП [Текст] / Д.Ф.Толстов // CAD/CAM/CAE Observer. – 2011. – №3(63). – С. 3–7.

10. Стрелков П.В. Проект внедрения PLM в УПЭК. Эпизод IV. Интеграция PDM-ERP – все о ней говорят, но мало кто видел [Текст] / П.В. Стрелков // CAD/CAM/CAE Observer. – 2011. – №5 (65). – С.20–25.

References

1. Kokhanovskiy Volodymyr and Olga, Kokhanovskaia. 2009. *Problemy vybora kompleksnoi systemy klassa CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/PLM na mashynostroytelnom predpriyatyy [Problems of choosing a complex CAD / CAM / CAE / CAPP / PDM / PLM system in a machine building enterprise].* Sbornyk nauchnykh trudov «Vestnyk NTU «KhPY»: Mashynoznavstvo i SAPR №28: 59-80.

2. The Leading Product Design 3D CAD Software [Electronic resource]. Available at: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo>.

3. NX12 [Electronic resource]. Available at: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/12/index.shtml>.

4. Amit Patel CATIA V5-6R2017 (aka V5R27) is Finally Here! [Electronic resource]. Available at: <https://www.intrinsys.com/blog/2017/catia-v5-6r2017-is-here>.

5. Frankel, Aaron, Jan, Larsson. 2016. *Est sposob luchshe: tsyfrovoy dvoynoy povysyt effektivnost protsessov konstruktorsko-tekhnologicheskogo proektyrovaniya y proyzvodstva [There is a better way: a digital double will enhance the efficiency of design and engineering design and production processes].* CAD/CAM/CAE Observer. №3 (103): 36-40.

6. Liesegang, Marco Digital Twin & Augmented Reality [Electronic resource] . Available at: http://files.messe.de/abstracts/76412_EY_Liesegang.pdf.

7. PTC Named a Leader in PLM Solutions for Discrete Manufacturing [Electronic resource]. Available at: <https://www.ptc.com/en/resources/plm/report/forrester-wave/>.

8. Verdi, Ogewell PLM's Tough Journey: From Managing Documents to the Model-Based Enterprise – TV Report [Electronic resource]. Available at: <https://www.engineering.com/PLMERP/ArticleID/16362/PLMs-Tough-Journey-From-Managing-Documents-to-the-Model-Based-Enterprise-TV-Report.aspx>.

9. Tolstov, Dmytryi. 2011. *Proekt vnedreniya PLM v UPEK. Epizod III. Yntehratsiya system Windchill y VERTYKAL na etape avtomatyzatsyy TPP [PLM implementation project in UPEC. Episode III. Integration of Windchill and VERTICAL systems at the stage of automation of TPP].* CAD/CAM/CAE Observer. №3(63): 3-7.

10. Strelkov, Pavel. 2011. *Proekt vnedreniya PLM v UPЭК. Epizod IV. Yntehratsiya PDM-ERP – vse o nei hovoriat, no malo kto vydel [PLM implementation project in UPEC. Episode IV. Integration of PDM-ERP - everyone talks about it, but few have seen it].* CAD/CAM/CAE Observer. №5 (65): 20-25.