

## СИСТЕМА SOLIDWORKS ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

С.С. Чаплінський, І.В. Павлик, Ю.М. Бурда, Д.О. Ткачівський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,  
e-mail: s schaplin@yahoo.com

*Представлено загальний огляд сучасних систем автоматизованого проектування. Окремо і детально розглянута САПР SolidWorks та її додатки. Проаналізована можливість використання даної системи для проектування нафтогазового обладнання.*

Ключові слова: CAD/CAM/CAE, SolidWorks, проектування, нафтогазове обладнання

*Представлен общий обзор современных систем автоматизированного проектирования. Отдельно и подробно рассмотрена САПР SolidWorks и её приложения. Проанализирована возможность использования данной системы для проектирования нефтегазового оборудования.*

Ключевые слова: CAD/CAM/CAE, SolidWorks, проектирование, нефтегазовое оборудование

*The general review of modern computer-aided designs is presented. Separately SolidWorks and its add-on's are considered in detail. The possibility for using this system for planning of oil and gas equipment is analyzed.*

Keywords: CAD/CAM/CAE, SolidWorks, design, oil and gas equipment

Сьогодні для досягнення успіху на ринку промислове підприємство вимушене працювати над скороченням термінів випуску продукції, зниженням її собівартості і покращенням її якості. Не є винятком і виробники обладнання для нафтових і газових промислів. Стрімкий розвиток комп'ютерних технологій призвів до появи CAD/CAM/CAE систем, які є найбільш продуктивними для досягнення поставлених цілей.

Під CAD системами (computer-aided design – комп'ютерна підтримка проектування) розуміють програмне забезпечення, яке автоматизує роботу інженера-конструктора і уможливує вирішення завдань проектування виробів і оформлення технічної документації за допомогою персонального комп'ютера. Сучасні CAD системи дають змогу реалізовувати ідею наскрізного циклу підготовки і виготовлення продукції складних промислових виробів. На даний час загальноновизнаним фактом є неможливість проектування і виготовлення складної наукомісткої конструкції (кораблів, літаків, двигунів, різного виду обладнання, у тому числі і нафтового) без застосування CAD систем.

CAM системи (computer-aided manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення) автоматизують розрахунки траєкторії переміщення інструменту для обробки на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) і забезпечують складання керуючих програм для них за допомогою персонального комп'ютера.

CAE системи (computer-aided engineering – комп'ютерна підтримка інженерних розрахунків) призначені для розв'язання різних інженерних задач (розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість, аналіз теплових процесів, розрахунок механізмів і гідравлічних систем і т. д.).

CAD/CAM/CAE системи успішно розвиваються уже декілька десятиліть. За цей час відбулося їх ранжування на 3 рівні: високий,

середній і низький. Системи високого рівня (Unigraphics, CATIA, ProEngineer) дають змогу оперувати величезним набором можливостей і функцій, але вони вимагають висококваліфікованих спеціалістів і сучасного комп'ютерного обладнання. Системи низького рівня (AutoCAD, DataCAM, SurfCAM) мають досить обмежені функції, проте не потребують потужних комп'ютерів. Системи середнього рівня (SolidWorks, SolidEdge, КОМПАС) – це «золота середина». Вони забезпечують користувача достатнім набором функцій для розв'язання більшості задач [1].

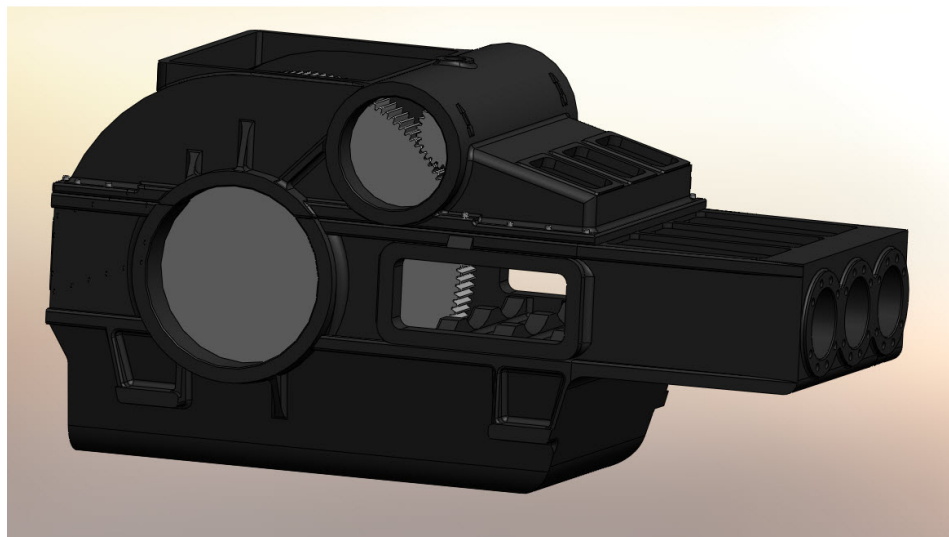
Враховуючи специфіку експлуатації та виготовлення нафтогазового обладнання, провідні промислові підприємства широко використовують САПР різних видів та рівнів.

Найбільш поширеною та економічно ефективною, на наш погляд, є система автоматизованого проектування SolidWorks. Пакет SolidWorks, розроблений одноіменною американською корпорацією, і є Windows-додатком, за допомогою якого можна створювати 3D-моделі будь-якої складності і конфігурації (рис. 1) [2]. Основними і найбільш корисними функціями SolidWorks є:

- елементно-орієнтоване конструювання;
- параметричне конструювання;
- двонаправлена асоціативність між кресленнями, моделлю та збіркою;
- функціональність Windows;
- наявність бібліотечних елементів;
- підтримка ЄСКД.

Розглянемо кожний з пунктів детальніше.

Під елементом розуміють найменший стандартний блок, що розробляється індивідуально. В SolidWorks модель створюється інтеграцією таких стандартних блоків. Іншими словами, модель є комбінацію окремих елементів у певній послідовності, певним чином пов'язаних між собою. Порядок додавання елементів до



**Рисунок 1 – Корпус бурового насоса**

деталі відображається у дереві конструювання, яке є одним з найважливіших вікон у SolidWorks. У ньому відображені також всі відомості про модель: її матеріал, освітлення сцени, камери та ін.

Параметрична суть SolidWorks полягає у можливості використання стандартних властивостей і параметрів для визначення форми і розмірів моделі. Це дає змогу вільно модифікувати вигляд і геометрію деталі. Тобто можна редагувати форму і розмір будь-якого елемента на кожному з етапів проектування, що значно полегшує виконання конструкторських робіт. Наприклад, щоб змодифікувати конструкцію фланця (змінити кількість і діаметр отворів), достатньо вибрати елемент (отвір) і відредагувати його прототип – діаметр і кількість [3].

Двонаправлена асоціативність полягає у двосторонньому зв'язку між трьома основними режимами роботи: Part (деталь), Assembly (збірка), Drawing (креслення). Це означає, що зміни вузла чи деталі у будь-якому з режимів одночасно будуть зафіксовані і в інших.

Функціональність Windows полягає у можливості зручного використання стандартних комбінацій клавіш (наприклад, Ctrl+s для збереження документа, Ctrl+c для копіювання вибраних елементів у буфер обміну і т. д.), режиму drag-and-drop ("перетягування" окремих елементів, деталей, вузлів між документами), виклику контекстного меню натисканням на праву кнопку миші. Також меню програми дуже подібне до меню інших Windows-додатків.

Деякі елементи під час проектування обладнання використовуються частіше, ніж інші. Система SolidWorks містить стандартні елементи: кріпильні вироби (болти, гайки, шайби, гвинти, штифти, шпонки, стопорні шайби), підшипники (роликові та кулькові різної конфігурації), сортамент прокатних сталей (таври, двотаври, швелери, кутники), зубчасті передачі (зубчасті рейки, колеса різної конфігурації). Бібліотеки SolidWorks містять стандарти багатьох країн: США, Англії, Китаю, Японії, Німе-

ччини; також наявні підшипники кочення таких світових брендів, як SKF та Torrington.

Однією з переваг SolidWorks є відкриті коди API, які дають змогу користувачеві створювати певні програми, що автоматизують його працю і здатні значною мірою заощадити час. Для програмування використовується середовище програмування Visual Basic For Applications, відоме користувачам Microsoft Office.

Створення вузлів та агрегатів обладнання в машинобудуванні конструювання деталей є лише частиною процесу проектування. Важливим складовим елементом проектування є розрахунки: на міцність, кінематичні, гідравлічні, аеродинамічні, теплові розрахунки і т.д. SolidWorks може використовуватись як база для деяких інших додатків, які дають можливість виконувати вищезгадані розрахунки досить точно і без великих затрат часу. А це, у свою чергу, уможливіє зниження собі вартості і скорочення часу від задуму проекту до впровадження його на ринок. Тобто, у вікні SolidWorks можна запускати сумісні програми, розроблені компанією Dassault System, для виконання фізичного моделювання умов експлуатації деталі чи вузла без проведення високовартісних дослідів на дорогих установках. Наведемо приклади деяких з них.

Додаток COSMOSWorks створений для розрахунку міцності, жорсткості і стійкості деталей і вузлів. В основі аналізу COSMOSWorks лежить метод кінцевих елементів, в якому складна задача розбивається на декілька простіших. Деталь розбивається на елементарні фрагменти (кінцеві елементи), які мають спільні точки (вузли). COSMOSWorks складає системи диференціальних рівнянь, що описують поведінку деталі або збірки в цілому. За початковими та граничними умовами (задані в'язі та навантаження) програма розв'язує складені системи диференціальних рівнянь. Результат (еквівалентні напруження, зміщення і т. д.) відображається на схемі самої деталі (рис. 2). За допомогою COSMOSWorks можна розв'язувати

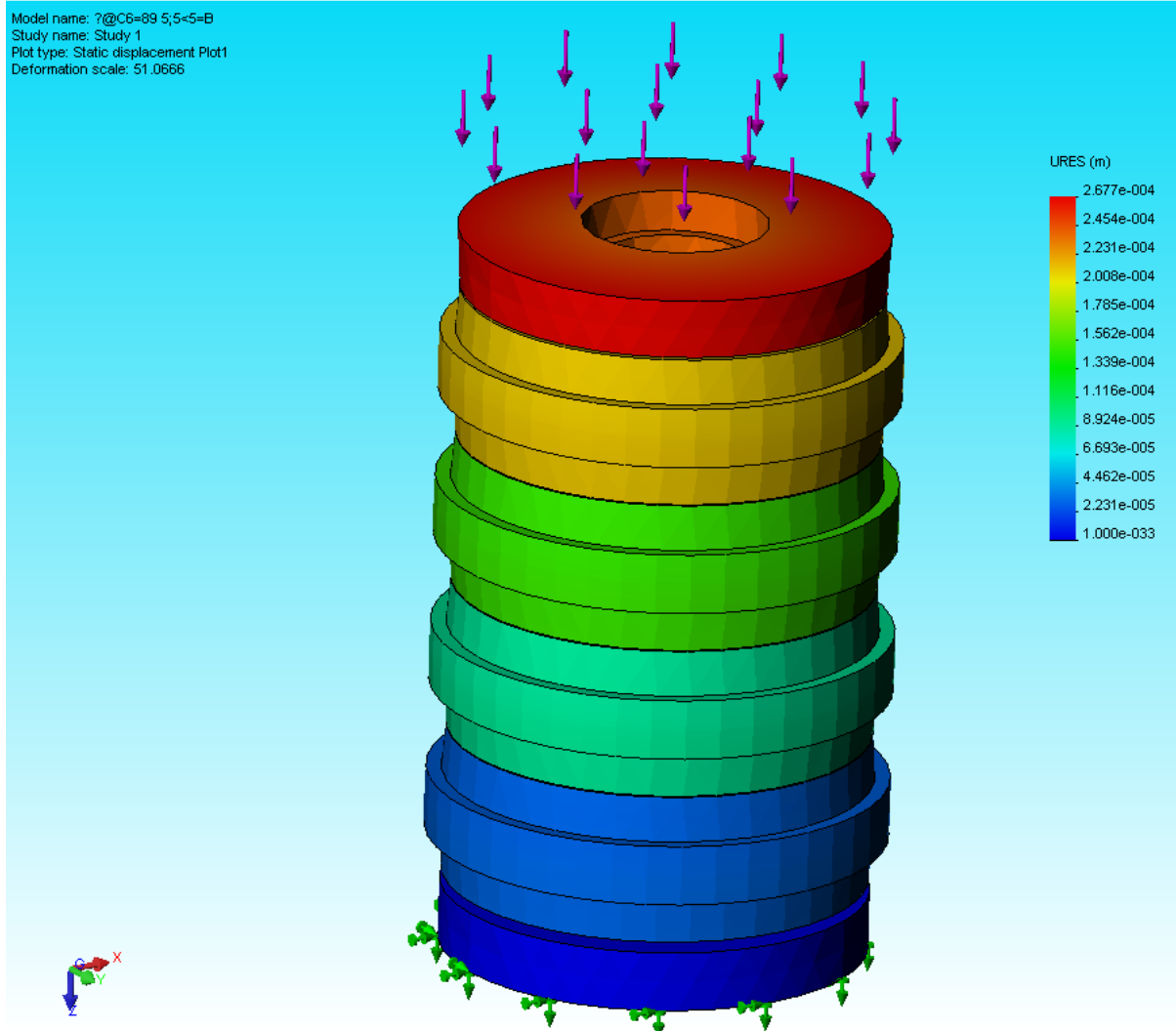


Рисунок 2 – Розрахунок пружного елемента штока ШСНУ у COSMOSWorks (вказано зміщення елементів)

задачі лінійного і нелінійного статичного аналізу, динамічного аналізу з урахуванням неперіодичних навантажень, коливань, вібрацій. Також можливо проводити розрахунки критичних сил і форм втрат стійкості. COSMOSWorks дає можливість обґрунтовано оптимізувати деталі і вузли нафтогазового обладнання у плані економії матеріалоємності, підвищення довговічності, забезпечення належних умов експлуатації.

Модуль COSMOSFloWorks призначений для моделювання потоку рідин і газів у широкому діапазоні чисел Рейнольдса, для розв'язання різноманітних задач серед яких: аналіз обтікання деталі, аналіз потоків у клапанах, форсунках, трубопроводах та інших елементах нафтогазового обладнання, аналізу перенесення речовини у газах і рідинах. Для користувача розроблено велику базу даних щодо властивостей речовин. Розрахунки ведуться так само, як і у COSMOSWorks методом розв'язання систем диференціальних рівнянь. Початковими параметрами є швидкість, тиск та витрата рідини – при гідравлічних розрахунках, а також параметри джерела теплоти – при тепло-

вих розрахунках. У ході розрахунку трубопроводів можливо задаватися шорсткістю поверхонь.

Для кінематичного та динамічного аналізу механізмів існує додаток SolidWorks Motion (COSMOSMotion), який дозволяє отримати числові результати таких параметрів механізму, як переміщення, швидкість, прискорення різних точок, а також сили і моменти сил, що діють на ланки. Результат можна отримати у числовому, табличному та графічному вигляді. Слід зауважити, що програма дозволяє генерувати траєкторію характерних точок моделі і зберігати її як криву (сплайн). Отримані результати (сили у кінематичних парах, інерційні навантаження) можуть бути передані для подальшої обробки у COSMOSWorks. Щодо застосування COSMOS-Motion до нафтового обладнання, то варто зауважити можливість оптимізації конструкції верстата-гойдалки. Особливістю даного модуля є те, що деякі спряження моделі за необхідності можуть бути змінені на піддатливі втулки, що володіють заданою жорсткістю і демпфуючими властивостями. Також можна створювати віртуальні пружини, які мо-

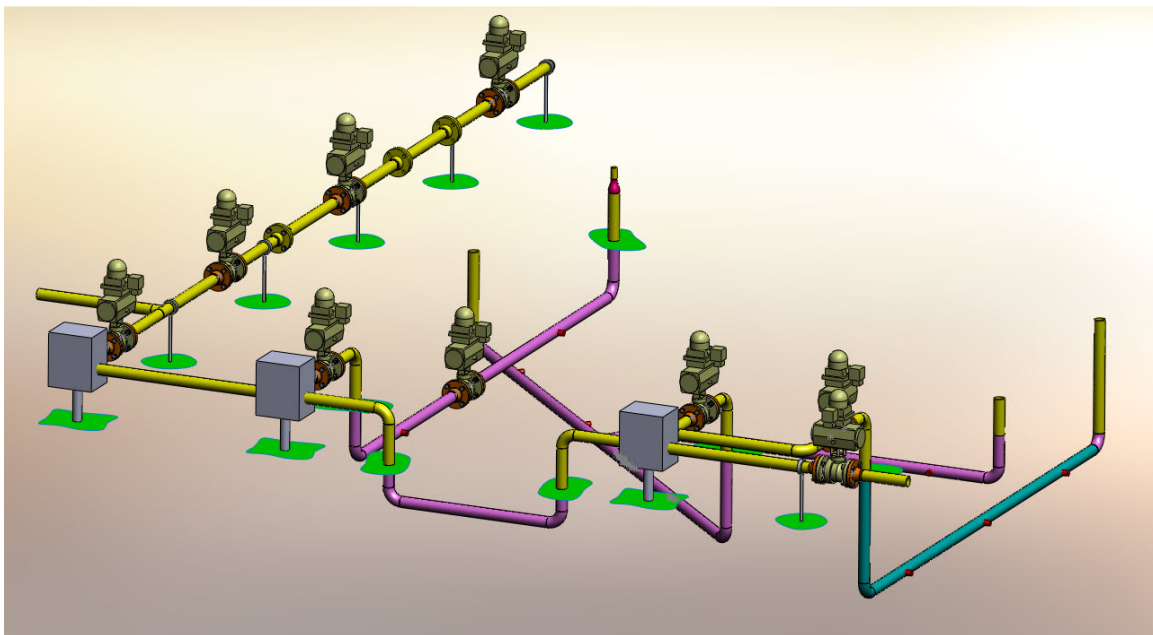


Рисунок 3 – Приклад виконання газопроводу за допомогою SolidWorks Routing

жуть володіти нелінійним законом деформації, а також бути в'язкими. Існує можливість задавати коефіцієнт тертя між сполученими поверхнями.

Розглянуті вище програми належать до САЕ-систем. Але існує і низка САD-систем, за допомогою яких можна значно заощадити час на проектування тієї чи іншої моделі. Зокрема для проектування трубопроводів існує модуль SolidWorks Routing, за допомогою якого у збірках значно полегшилось прокладання трубопроводних трас (рис. 3), а також електричних маршрутів. Дана програма, як і більшість додатків, розроблених компанією Dassault System, працює у вікні SolidWorks, і пропонує користувачеві велику бібліотеку стандартних деталей для проектування трубопроводів (наприклад, фланці різних конфігурацій, трійники, хрестовини, перехідники, клапани і т. д.) та електричних маршрутів (штекерів різного виду, вентиляторів, кнопок, тумблерів і т. д.). Також є можливість створювати власні елементи і додавати їх до вже існуючих.

Важливими елементами нафтогазового обладнання є силові трансмісії, складовими елементами яких є зубчасті колеса різних видів, ланцюгові, клинопасові передачі тощо. Одним з недоліків бібліотек зубчастих коліс у SolidWorks є те, що евольвентний профіль зубців замінюється звичайним дуговим, що у деяких випадках неприпустимо (наприклад при дослідженні пари зачеплення у COSMOSWorks), адже геометричні форми моделі не збігаються з реальними об'єктами дослідження. Компанія Camatics розробила модуль GearTrax, за допомогою якого можна створювати елементи трансмісій, наприклад циліндричні прямозубі і косозубі зубчасті колеса, конічні передачі з радіальним та спіральним напрямком зубців, черв'ячні передачі (існує можливість створення окремо черв'яка або черв'ячного колеса і/або

готової збірки кінематичної пари зі спряженнями), шківні клинопасових передач, а також пасів з зубцями, зірочки ланцюгових передач, шліцеві з'єднання (прямозубі та евольвентні). Дана програма будує профіль зубців лінією (сплайном), яка точно відповідає евольвенті. GearTrax передбачає встановлення зазору між колесами зубчастого з'єднання, зміщення, а також зміну більшості основних параметрів зачеплення як у циліндричних та конічних, так і у черв'ячних передачах. При запуску GearTrax відкривається нове вікно (на відміну від усіх згаданих вище програм, основна робота ведеться саме у ньому), у яке заносять усі параметри для побудови того чи іншого елемента трансмісії. Також у робочому вікні присутній ескіз кінематичної пари (для зубчастих коліс та черв'ячної передачі) або окремої деталі (шківа, зірочки). Після вибору усіх необхідних параметрів відбувається генерація віртуальної моделі деталі або збірки власне у SolidWorks з подальшою можливістю редагування та удосконалення.

Недоліком GearTrax є складність побудови великих трансмісій (наприклад, коробок зміни швидкостей, роздавальних коробок). Компанія Camatics зробила якісно новий крок у полегшенні проектування механічних передач, випустивши абсолютно окрему програму GearTeq. У даному додатку проектування відбувається в окремому вікні у тримірному вигляді. Користувач за допомогою готових елементів будує механізм, змінюючи ті чи інші параметри, тобто створює віртуальний ескіз передачі. Існує можливість розгляду спроектованої передачі у просторі, а також імітування руху і перевірки роботоздатності (у кінематичному плані). Після проектування механізму у GearTeq відбувається побудова у SolidWorks усіх елементів трансмісії окремо як деталей, а після цього генерується збірка з усіма необхідними спряженнями, тобто будується аналог спроектованого раніше

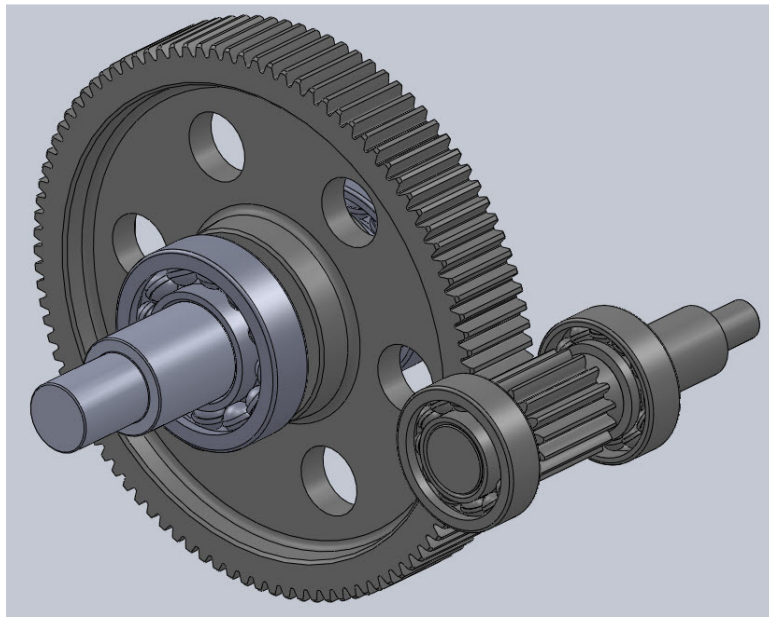


Рисунок 4 – Зубчасте зачеплення. Вінець колеса і шестерня виконані у GearTrax

у SolidWorks. Важливою перевагою даної програми є наявність підпрограми побудови планетарних редукторів різних видів та конфігурацій (з нерухомими тими чи іншими елементами), а також хвильових редукторів.

Робочі процеси багатьох машин нафтогазової промисловості вимагають використання механізмів, рух вихідних ланок яких повинен строго підпорядковуватись законам і бути узгодженим з рухом інших ланок. Найпростішими, найбільш надійними і компактними для виконання таких функцій є кулачкові механізми. Для їх проектування, ідеально підходить ще один продукт компанії Camatics – додаток CamTrax, який уможливує проектування кулачкових механізмів різних видів: плоских (як з обертовим, так і з поступальним рухом кулачка), дискових, просторових циліндричних. Проектування здійснюється поетапно шляхом побудови ескізу теоретичного профілю кулачка. Після цього можна задавати закони зміни переміщення, швидкості, прискорення, кута тиску штовхача по даному профілю. Як і у розглянутих вище програмах, після закінчення проектування профілю кулачка він генерується у SolidWorks для подальшого редагування.

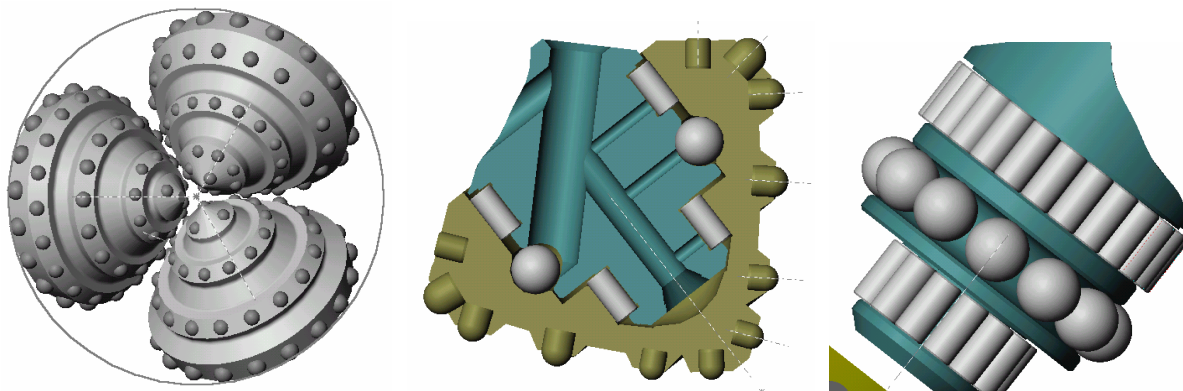
Модуль CAMWorks є САМ-додатком SolidWorks для створення програм для верстатів з ЧПУ. Підтримується багато видів механічної обробки: фрезерування, точіння, свердління, ерозійна обробка і т. д. Робота ведеться безпосередньо у середовищі SolidWorks за раніше спроектованою моделлю. Стратегія обробки у CAMWorks – це набір операцій, які задумані для забезпечення виготовлення у оброблюваній деталі даного елемента, а також збору усієї необхідної інформації для виконання тієї чи іншої операції (схема обробки, правила врізання в матеріал, підвід і відвід інструменту, площини переходу і т. д.). Всі операції обробки відображаються у вигляді дерева операцій (аналог дерева побудови моделі). Результат роботи збері-

гається у моделі або збірці, забезпечуючи таким чином повну асоціативність моделі і траєкторії інструмента (усі траєкторії автоматично обновлюються і обчислюються за найменшої зміни геометрії деталі). Також програма передбачає можливість змоделювати близьку до реальної обстановку на столі верстата. За допомогою великої інтелектуальної бази даних, яка забезпечує користувача різною технологічною інформацією про ті чи інші операції обробки, бібліотек ріжучого інструменту, матеріалів і режимів різання, процес створення дерева обробки стає інтуїтивно простим.

Розробники SolidWorks також створили низку модулів для візуалізації моделі з метою реклами, кращого уявлення про роботу механізму. За допомогою одного з таких модулів – PhotoWorks – можна створювати фотореалістичні зображення деталей та збірок (рис. 5).



Рисунок 5 – Пневмокомпенсатор бурового насоса, візуалізований у PhotoWorks



**Рисунок 6 – Елементи шарошки долота**

Додаток дає змогу створювати зображення з максимально наближеною до реальної структурою матеріалу, освітленням, фоном. Дана програма надає користувачеві можливість широкого вибору з бібліотек фонів різного типу та освітлення. PhotoWorks надає можливість налаштувати рендерінг зображень у широкому діапазоні (від роздільної здатності до вибору формату зображення).

SolidWorks Animator розроблений для створення анімації збірок в просторі (у деяких випадках деталей). Особливо зручно використовувати анімацію для презентацій, щоб показати внутрішню будову виробу, а також принцип його дії. За допомогою інтелектуального ядра, можна генерувати анімації складання-розкладання збірок, імітацію фізичного моделювання (руху всього механізму, при заданому русі вхідної ланки). Процес створення анімацій є дуже гнучким і з різноманітними можливостями (зміна кольору, прозорості деталей, орієнтацію деталей у просторі).

Система SolidWorks ефективно використовується для проектування шарошки долота [6, 7] (рис.6).

Отже, на основі вищевикладеного, можна стверджувати, що система автоматизованого проектування SolidWorks містить усі компоненти, необхідні для проектування, розрахунку, та підготовки виробництва машин та механізмів. «Дружній» інтерфейс та широкі можливості програмного забезпечення дають змогу максимально скоротити час від задуму до виготовлення продукції. Відносно низька вартість пакету SolidWorks дає змогу використовувати його в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, наприклад, при розробці різних видів нафтогазового обладнання.

### *Література*

- 1 Павлик І.В. Комп'ютерна графіка: конспект лекцій [Текст] / І.В. Павлик, Л.С. Шкіца, С.С. Чаплінський. – Івано-Франківськ: Факел, 2005. – 137 с.
- 2 Тику Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2006 [Текст] / Ш. Тику. – СПб.: Питер, 2007. – 720 с.
- 3 Дударева Н. Ю. SolidWorks 2007 [Текст] / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 1328 с.
- 4 SolidWorks Russia [Электронный ресурс] : Веб-страница содержит данные о продукте SolidWorks. – Электрон. дан. – М., [2009]. – Режим доступа: <http://www.solidworks.ru/>. – Загл. с экрана.
- 5 SolidWorks / : 3D CAD Design Software [Электронный ресурс] / : Веб-страница содержит данные про продукты SolidWorks. – Электрон. дан. – US & CANADA, [2009]. – Режим доступа: <http://www.solidworks.com/>. – Заголовок з екрану.
- 6 Боднарчук О.В. САПР “ДОЛОТО” - інтегрована система сучасного конструювання шарошкових доліт / [О.В. Боднарчук, О.Т. Драганчук, В.А. Корнута та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 1999. – №4. – С.53-56.
- 7 Боднарчук О.В. Розробка системи автоматизованої підготовки креслярської документації тришарошкових доліт / [О.В. Боднарчук, О.Т. Драганчук, В.А. Корнута та ін.]: тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ, 1999. – С. 78-81.

*Стаття постуила в редакційну колегію  
26.02.10*

*Рекомендована до друку професором  
Ю.Д.Петриною*