

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ

спеціальність 131 Прикладна механіка
освітня програма(спеціалізація) Технологія машинобудування
інститут, факультет Машинобудівний

освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

спеціальність G9 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво
(код і найменування галузі)

ступінь вищої освіти Магістерський
(назва ступеня вищої освіти)

Конспект лекцій «Інтелектуальні системи проєктування та аналізу» для студентів спеціальності G9 Прикладна механіка, галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво / Укл.: доц. каф. Технологія машинобудування Вишнепольський Євген Валерійович – Запоріжжя: НУЗП, 2025 року – 59 с.

Укладачі: доц. каф. Технології машинобудування Вишнепольський Євген Валерійович,

Рецензент: доц. каф. Технології машинобудування Гончар Н. В.

Відповідальний
за випуск: доц. каф. Технології машинобудування Дядя С. І.

Затверджено на засіданні
кафедри "Технології
машинобудування"
Протокол № 1
від 06.08 . 2025р.

Рекомендовано до видання
НМК Машинобудівного факультету
Протокол № 1
від 26. 08. 2025р.

ЗМІСТ

Тема 1 Розробка операцій адитивного виробництва NXCAM	6
Тема 2 Інтеграція NXCAM і TEAM CENTER застосування даних у виробництві	14
Тема 3 Тема 3 Статистична обробка даних в машинобудуванні	23
Тема 4 Виконання аналізу в NX Advanced simulation	35
Тема 5 Введення у TEAMCENTER	47
Перелік джерел	58

ВСТУП

Мета дисципліни - Надання студентам цілісних знань про новітні системи САПР CAD/CAM/CAE, розрахованих на вирішення актуальних проблем виробництва.

Завдання вивчення дисципліни Знання, які студенти отримують при вивченні цієї дисципліни використовуються як у курсовому, так і в дипломному проектуванні. Також ці знання студенти випускники зможуть використовувати для подальшої роботи на підприємствах машинобудівного профілю, де активно впроваджуються системи автоматизованої підготовки виробництва.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинний отримати загальні компетентності: здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми; навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; здатність виявляти ініціативу, креативність та підприємливість при розробці проектів; здатність до критичного аналізу, оцінки і синтезу нових та складних ідей; здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт; здатність працювати автономно та в команді; фахові компетентності: здатність проводити аналіз існуючих та нових технологічних процесів з формоутворення поверхонь деталей та заготовок; здатність використовувати CAD/CAM/CAE на етапах життєвого циклу виготовлення промислових виробів; здатність проводити планування дослідження із залученням сучасних інформаційних технологій, формувати цілі дослідження, складати техніко - економічне обґрунтування досліджень, що проводяться; здатність надати науково-практичне обґрунтування проектів; здатність моделювати процеси формоутворення поверхонь деталей та заготовок, використовуючи набуті знання та методи математичного моделювання із застосуванням комп'ютерних технологій та програмного забезпечення; здатність, використовуючи знання форм і методів наукового пізнання, застосовувати їх у галузі

механічної інженерії; здатність прогнозувати зміни в технологіях формоутворення деталей та заготовок, використовуючи патентні дослідження, рекомендації і стандарти, світову наукову та технічну літературу; здатність встановлювати закономірності процесів, що відбуваються при механічній обробці деталей, здатність обробляти отримані результати, аналізувати і осмислювати їх; здатність застосовувати програмне забезпечення для проектування технологічних процесів обробки матеріалів з науково - обґрунтованим вибором обладнання, інструменту, режимів різання, стратегії; здатність обирати вимірювальний інструмент у відповідності до параметрів, що контролюються, розробляти технологічні процеси з використанням засобів активного контролю стану інструменту та розмірів деталі, розпізнавати за результатами вимірювання оброблених деталей заподій похибок та відхилень; здатність до розробки технологічних процесів виготовлення деталей з формуванням необхідних властивостей поверхневого кулі; очікувані програмні результати навчання: розробка операцій токарний-фрезерної обробки в NXCAM; інтеграція NXCAM і TEAM CENTER; застосування даних у виробництві, бібліотека ресурсів HRL та каталогів інструменту; виконання аналізу в NX Advanced simulation; введення у TEAMCENTER.

Тема 1 Розробка операцій адитивного виробництва NXCAM

Розробка операцій адитивного виробництва в середовищі Siemens NX CAM є комплексною дисципліною, що інтегрує інженерне мислення, процесну інженерію, цифровий двійник обладнання та керування даними в єдиному ланцюжку створення цінності. Щоб успішно проєктувати, валідувати та впроваджувати адитивні технології, необхідно розуміти як фундаментальні фізичні закономірності шарового формування, так і програмно-апаратні інструменти NX, які дозволяють перетворювати геометрію на керовані траєкторії з прогнозованою якістю та повторюваністю. У центрі уваги технолога NX CAM — перехід від CAD-моделі до виробничого «рецепта», що визначає орієнтацію деталі, підтримки, стратегії заповнення й оболонок, параметри джерела енергії, послідовність і темп термічних циклів, а також методи контролю та компенсування деформацій. Усі ці рішення повинні узгоджуватися з можливостями конкретної машини, властивостями матеріалу та вимогами до кінцевого виробу.

Починати слід із геометрії. NX підтримує конвергентне моделювання, поєднуючи NURBS-поверхні та полігональні сітки, тож можна працювати як з параметричними моделями, так і з імпортованими STL або 3MF. Принципова вимога до «друкованості» — водонепроникність мешу, відсутність самоперетинів і коректна орієнтація нормалей. Залежно від процесу, мінімальні товщини стінок і радіуси потрібно адаптувати: для металевого порошкового спікання чи плавлення типово не опускаються нижче приблизно 0.5–0.8 мм для стінок та 1.5–2.0 мм для вільних каналів без опор, тоді як для екструзійних полімерів мінімальна стінка часто стартує від 1.0–1.2 мм. У NX варто одразу нормалізувати систему координат: нульова площина збігається з платформою, вісь Z спрямована догори, а геометрію за потреби масштабують для компенсації усадки, скажімо, $s \approx 1.01$ – 1.03 для деяких полімерів і постпроцесів спікання. Формат 3MF бажаний завдяки підтримці матеріалів і метаданих, проте STL з контрольованими допусками тріангуляції залишається

універсальним для сумісності.

Коли вихідні дані підготовлені, переходять до процесної інженерії, де визначальними є поєднання матеріалу, машини і стратегії. Для металів у порошкових процесах часто використовують алюмінієві сплави на кшталт AlSi10Mg, нержавіючі сталі 316L або 17-4PH, титанові Ti-6Al-4V, нікелеві суперсплави Inconel 718, інструментальні сталі H13, кобальт-хром. Кожен матеріал має власне «вікно процесу», яке описують потужністю джерела, швидкістю сканування, товщиною шару, кроком штриха, чергуванням кутів між шарами, та специфічними режимами для оболонок і поверхонь. Для Directed Energy Deposition параметри доповнюються витратою порошку чи швидкістю подачі дроту, діаметром плями, стратегіями багат шарового наплаву та контролем висоти в реальному часі. Полімерні екструзійні технології керують температурними профілями сопла і стола, швидкістю екструзії та вентиляцією, тоді як Binder Jetting і фотополімеризація залежать від насичення зв'язувальним, експозиції й подальшого запікання чи спікання. Siemens NX організовує ці параметри в рецепти процесу, пов'язані з профілями машин, що полегшує їх повторне використання й контроль змін через PLM.

Орієнтація деталі на платформі займає центральне місце в плануванні, адже вона визначає масштаб і характер опорних структур, термонапружений стан, якість критичних поверхонь і тривалість побудови. У порошкових металевих процесах орієнтацію часто добирають так, щоб нависаючі кромки мали кут не нижче близько 45 градусів до горизонталі, за можливості витісняючи опори з функціональних поверхонь на другорядні зони, орієнтуючи канали для виведення порошку, а тонкі ребра — так, щоб зменшити їх перегрів чи провисання. NX пропонує аналіз нависань і оцінку кількості опор, а також дозволяє виконати варіативний пошук орієнтації зі зважуванням між мінімізацією висоти, опор і часом друку. Після вибору орієнтації приступають до проектування опор: для PBF це можуть бути решітчасті ребра з контрольованим контактом, конічні й лінійні елементи, які не лише утримують геометрію і теплопровідність, але й спроектовані для легкого відділення після

побудови. У SLA тонкі стовпчики з кульовими контактами дають чисті точки відриву, а для DED опори можуть бути мінімальними або взагалі непотрібними, натомість критичним стає планування послідовності та підтримання стабільної висоти шару.

На рівні стратегії сканування і заповнення приймають рішення, що формують структуру треків у шарах. Для PBF традиційним є «острівний» або шаховий підхід, де великі площі розбивають на менші сегменти розміром кілька міліметрів, а кут штриха змінюють між шарами, наприклад на 67 градусів, щоб зменшити накопичення термічної анізотропії. Заповнення поєднують з 1–3 контурами по периметру із зниженими швидкостями для кращої якості країв, а зони upskin і downskin налаштовують окремо для поверхонь, орієнтованих вгору та вниз, що впливають на шорсткість та лазерну взаємодію з дрібнопорошковими шаринами. У DED стратегія часто відштовхується від геометрії: планарні зрізи для об'ємів, контурно-керовані траєкторії для ребер і стінок, багатопрохідні «валики» з оптимальним перекриттям, щоб забезпечити однорідну мікроструктуру та мінімізувати підріз. Екструзійні полімерні процеси оперують шаблонами інфілу, які впливають на механічні властивості та вагу: лінійні, триангульовані, гіроїдні структури, що в NX можна моделювати як решітки та поєднувати із суцільними оболонками. Тут важливо збалансувати висоту шару й ширину екструзії для досягнення компромісу між швидкістю та якістю поверхні.

Самі «операції» у розумінні NX AM — це конфігуровані об'єкти, що задають параметри слайсингу, опор, траєкторій і послідовності побудови. Для порошкового процесу технолог вибирає машину з бібліотеки Machine Kit, імпортує або створює збірку Build, розташовує деталі з урахуванням відступів та зон недоступності, генерує опори за шаблонами, налаштовує профілі для ядра, контурів і поверхневих шарів, визначає стратегію чергування кутів, розмір «островів», порядок сканування контурів та заповнення, а також паузи для локального охолодження. Далі опрацьовуються налаштування термоциклу, сегментація великих площ на дрібні

осередки, обмеження максимальної довжини векторів для згладження термічних піків. Після обчислення траєкторій використовується симуляція: кінематична перевірка рухів, контроль зіткнень із дозувальним ножом чи стінками камери, візуальний аналіз накладання треків і прогноз теплових концентрацій. Для багатьох машин NX експортує дані в OEM-сумісні формати на кшталт 3MF, CLI або SLI, а там, де передбачено пряме керування, — у нативні формати або G-код із спеціальними M-кодами та параметричними блоками.

У DED розробка операції наближається до класичного САМ мислення, але з протилежним знаком: замість знімання матеріалу ми його додаємо. Кінематика п'яти осей та калібрування TCP факела критичні для узгодження траєкторій з реальною орієнтацією сопла й фокусом. Траєкторії можуть будуватися як планарні шари, але часто застосовують контурні гіді по геометрії, спіралі або зміщені доріжки з контролем перекриття, щоб сформувати суцільний «валик». Процесні параметри — потужність, витрата порошку чи швидкість дроту, швидкість подачі й відносний зсув — зберігаються у наборах та можуть змінюватися по висоті або локально по сегментах, наприклад зменшуючи потужність на поворотах чи в місцях перегріву. NX симулює ці траєкторії на цифровому двійнику верстата, дозволяючи виявити колізії з деталлю, столом або оснасткою, та відлагодити логіку ввімкнення/вимкнення лазера і подачі матеріалу між переходами.

Гібридне виробництво, коли адитивні й видавальні операції поєднані в одному маршруті, — сильна сторона NX CAM. Типовий сценарій: спочатку виконується адитивне нарощення базової форми або ремонт зношеної частини, після чого без переустановлення частина переходить у фрезерні або токарні операції для доведення базових поверхонь і посадок. У такому режимі єдиний набір нульових точок, кінематики і бібліотек інструментів спрощує інтеграцію, а симуляція перевіряє наскрізно весь процес на колізії та доступність. Важливим є погодження теплового стану деталі: іноді між адитивним і механічним етапами закладають технологічні паузи або термообробку; NX може планувати ці стани як частину маршруту, а

Teamcenter — фіксувати їх як технологічні вимоги.

Окремої уваги заслуговує моделювання і компенсація деформацій. Шарова побудова призводить до неоднорідних термічних полів і залишкових напружень, що виявляються у викривленні, піднятті країв, мікротріщинах. За допомогою Simcenter 3D проводять термомеханічні розрахунки побудови: на рівні шарів задають послідовність і параметри сканування, теплові джерела моделюють як рухомі гауссові плями, оцінюють розподіл температур і деформацій. На основі результатів застосовують переддеформацію геометрії — компенсуючий «антишаблон», який після реального друку і охолодження наближає деталь до номіналу. NX підтримує такий цикл, коли вихідна CAD-геометрія модифікується автоматично згідно з полем зміщень, і цей підхід інтегрується в PLM-трасу, забезпечуючи відтворюваність і протоколювання. Додатково термоуправління через стратегії «островів», чергування кутів та локальні паузи доповнюють модельну компенсацію практичними засобами зниження напружень.

Постпроцесинг у контексті АМ — це не лише генерація G-коду. Для порошкових процесів потрібні формати, що описують слайси, контури, параметри сканування по шарах, нерідко з OEM-специфічними атрибутами. NX формує пакет побудови, включно з метаданими для трейсабіліті: позиція деталей на платформі, ідентифікатори партій порошку, ревізія рецепта процесу, час і енергетичні оцінки. Для DED та екструзійних процесів дійсно генерується G-код із включенням команд керування подачею матеріалу, лазером, газами захисту, а також стандартних CNC переміщень. Роль постпроцесора зростає, адже доводиться враховувати логіку машинного контролера, затримки на стабілізацію подачі порошку, корекції в реальному часі від висотомірів або датчиків баслайна. NX Post Configurator дає змогу налаштувати ці правила, а цифрова симуляція відтворює поведінку контролера для перевірки.

Якість і кваліфікація процесу — необхідна умова промислового застосування. Стандарти ASTM F42, ISO/ASTM 52900+ визначають термінологію та рамки

кваліфікації обладнання, матеріалів і процесів. У практиці це означає розробку купонів, матриць параметрів і планів експериментів для визначення робочого вікна. NX полегшує створення таких матриць через параметризацію операцій: варіанти потужності, швидкості, кроку хетча, орієнтації та висоти шару можуть автоматично породжувати серії тестових зразків з підписом метаданих. Далі результати випробувань — механіка, щільність, мікроструктура — пов'язуються з конкретними «рецептами» у Teamcenter, утворюючи базу знань процесу. Коли процес стабілізований, затверджується контрольована копія параметрів, а виробничі партії відстежуються за серійними номерами, партіями порошку, датчиками машини й журналами подій. Це дозволяє формувати аудит-трейл для галузей із високими вимогами, як-от аерокосмічна та медична.

Планування виробництва для адитиву має свої економічні особливості. У порошкових машинах оптимізують заповнення платформи, висоту і час побудови; великі серії можуть бути ефективнішими на кількох платформах у паралель. Вартість одиниці продукції визначається часом машини, вартістю матеріалу, післяобробкою (термічною, механічною, поверхневою), а також підготовкою і переробкою порошку. NX дозволяє оцінювати час і матеріал на етапі планування, що важливо для калькуляції, а при інтеграції з Teamcenter і MES — для наскрізного диспетчерування. Для DED ключем є маршрути і доступність верстатів із відповідними головками, а також узгодження післяопераційного фрезерування: планування зміни інструментів, зони доступу та перебазування.

Суттєвим елементом практичної компетентності є виявлення і уникнення типових помилок. До них відносять надмірні суцільні площі без сегментації, що провокують купола перегріву; повторювані кути сканування, які підсилюють анізотропію; недостатню увагу до опор у вузьких кишнях, де видалення матеріалу стає проблемою; обмеження кінематики при п'ятиосьовому DED, коли орієнтація факела виходить за допустимі кути; неправильне узгодження рецепта з конкретною партією порошку, що змінює поглинання та в'язкість розплаву. NX тут допомагає як

аналітичними інструментами (аналіз нависань, карти траєкторій, симуляція колізій), так і дисципліною даних (версіонування параметрів і процедур).

Оптимізація параметрів і використання методів експериментального дизайну забезпечують швидше знаходження «робочого вікна». Через параметричні таблиці в NX можна згенерувати серії побудов із варіацією P , v , h , t і кутів хетча, з маркуванням кожної ділянки. Поєднання з аналітикою та машинним навчанням — зокрема регресіями, байєсівською оптимізацією або активним навчанням — дозволяє зменшити кількість реальних друків і сконцентруватися на найбільш інформативних точках. Деякі користувачі інтегрують датчики в процесі (піровізори, камери плавильної ванни) з наступною обробкою даних та кореляцією з параметрами шорсткості, пористості або розмірами в готовій деталі. Такий зворотний зв'язок поступово трансформує рецепти в самонавчальні.

Безпека та екологічні аспекти для адитиву не менш важливі. Металеві порошки — це ризик вибухонебезпечного пилу та токсичність; потрібна інертна атмосфера, контроль вологості, правильний збір і рециркуляція порошку. Лазерні системи вимагають класифікованих зон і засобів захисту очей. Полімерна екструзія супроводжується виділенням ЛОС і часток — необхідна вентиляція. NX, звісно, не замінює процедур безпеки, проте допомагає проектувати процес так, щоб зменшити контакт із порошком за рахунок ефективного заповнення платформи, точного прогнозу матеріалу та скорочення переробок, а також документувати інструкції з безпеки в комплекті технологічних карт.

Узагальнюючи методологію розробки операцій, корисно дотримуватися послідовності: уточнити вимоги до виробу (допуски, механіка, поверхні, орієнтація навантажень), підібрати технологію і матеріал з реалістичними очікуваннями щодо властивостей, виконати підготовку геометрії та перевірити друкованість, обрати машину і створити Build із коректною орієнтацією, спроектувати опори з урахуванням механіки і термоуправління, налаштувати рецепти шарів для ядра й оболонок, визначити стратегії сегментації та чергування кутів, прорахувати

траєкторії, провести симуляцію кінематики і теплового ризику, за потреби виконати модельну компенсацію деформацій, згенерувати постпроцес і виробничий пакет, провести контроль якості з прив'язкою до параметрів і забезпечити трейсабіліті через PLM. На етапі промислового впровадження варто сформувати бібліотеку затверджених рецептів і шаблонів NX для типових матеріалів і задач, навчити команду правилам ухвалення рішень з орієнтації і опор, упровадити процедури DoE та аналізу даних, організувати цифровий двійник обладнання для верифікації сценаріїв без ризику для реальної машини.

Подальший розвиток адитивних операцій у NX невід'ємно пов'язаний із зростанням ролі симуляцій і даних. Розширення фізичних моделей плавильної ванни, розробка адаптивних стратегій у реальному часі з використанням сенсорики, глибша інтеграція з системами контролю якості й комп'ютерного зору, а також підтримка нових матеріалів і процесів — усе це визначатиме практику наступних років. Зі свого боку Siemens NX, поєднуючи CAD, AM, CAM, CAE і PLM, надає інженеру не просто інструмент для генерації траєкторій, а платформу для прийняття обґрунтованих рішень на кожному етапі життєвого циклу виробу. Вміння структурувати вимоги, мислити процесами, детально налаштовувати параметри й використовувати симуляцію та дані для валідації — ключові компетентності, що перетворюють адитивне виробництво з експерименту на передбачуваний і сертифікований технологічний процес.

Тема 2 Інтеграція NXCAM і TEAM CENTER застосування даних у виробництві

У загальнокорпоративному масштабі NX CAM можна розглядати як складову частину єдиної інтегрованої платформи, що дозволяє управляти усіма даними конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, а також обмінюватися інформацією з виробничими системами.

Рішення від компанії Siemens PLM Software пропонує використання інтегрованої платформи на базі власної лінійки продуктів, які охоплюють усі процеси життєвого циклу виробу від підготовки 3D-моделі деталі до перевірки якості її виготовлення (рис. 2.1).

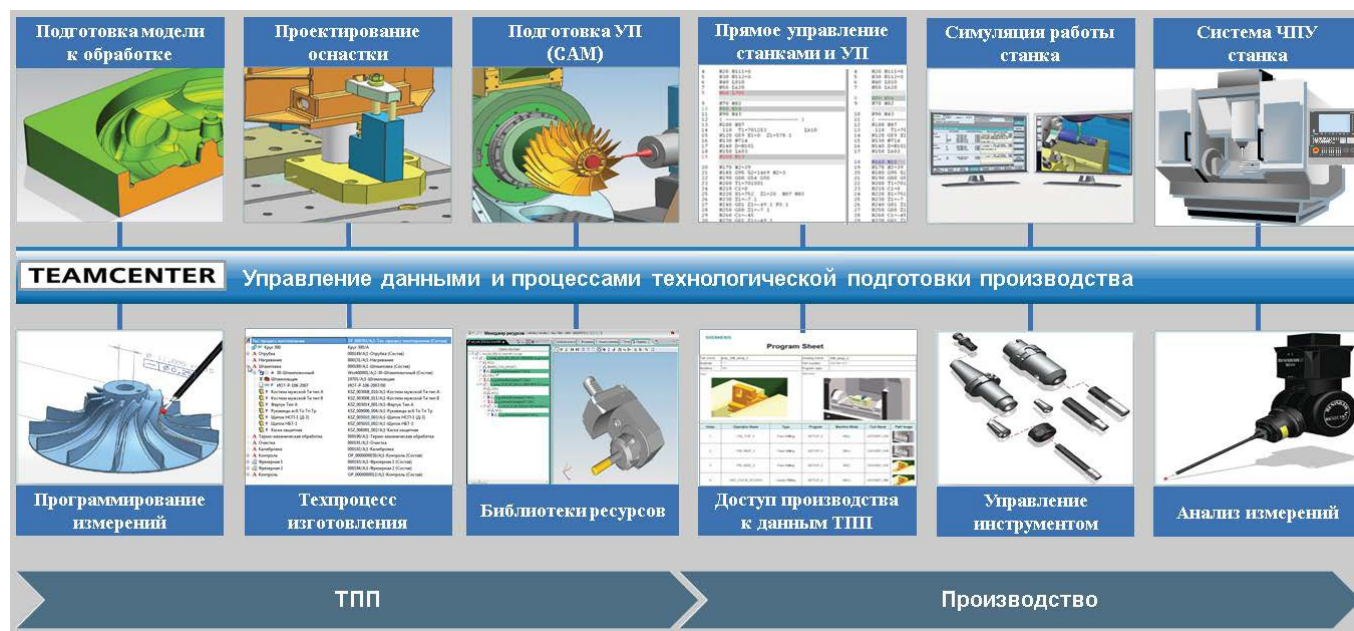


Рисунок 2.1 - Рішення Part Manufacturing

У основі платформи лежить PLM- система Teamcenter для управління інженерними даними. Переваги такого рішення - в централізації даних, використанні єдиних ресурсів і шаблонів, легкому доступі усіх служб до даних, своєчасному

реагуванні на внесені зміни і оновлення даних, а також можливості передачі даних у виробництво, у тому числі на верстати з ЧПУ.

Спільна робота NX CAM і Teamcenter дозволяє використати при підготовці програм, що управляють, бібліотечні ресурси і шаблони з Teamcenter, а також зберігати усі дані усередині відповідної операції технологічного процесу.

Технологічний процес виготовлення деталі створюється в модулі Планувальник процесів виготовлення системи Teamcenter. У загальному випадку процес описується відповідним маршрутом виготовлення, а потім кожен елемент маршруту описується відповідними технологічними операціями (рис. 2.2).

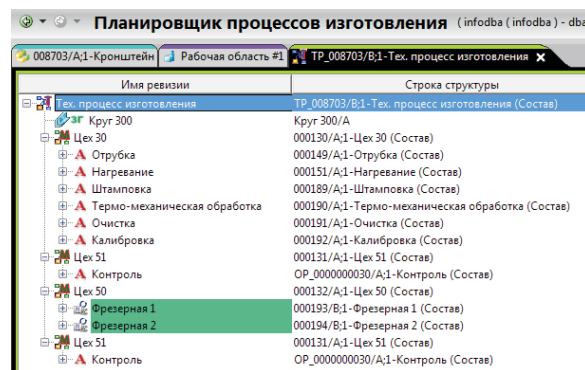


Рисунок 2.2 - Модуль - планувальник процесів виготовлення

Операція, пов'язана з обробкою в середовищі NX CAM, задається спеціальним типом об'єкту Операція з ЧПУ (рис. 2.3). Об'єкт містить усередині себе одну або декілька модифікацій(2). Номер модифікації операції (А, В, .) зазвичай відповідає номеру модифікації деталі, призначеної для обробки і пов'язаної з цією операцією(5).

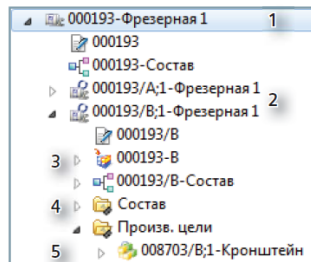


Рисунок 2.3 - Об'єкт Операція з ЧПУ

Сам проект обробки, створений в середовищі NX CAM, зберігається в наборі даних типу UGMASTER(3). У складі(4) операції обробки створюються усі пов'язані з нею дані. Це оброблювана деталь, заготівля, оснащення, верстат, інструмент і інші загальнотехнологічні ресурси. Приклад відображення операції обробки з компонентами, що входять, і їх 3D-візуалізацій представлений на рис. 2.4. Можливість графічної візуалізації даних вбудована в оболонку Teamcenter.

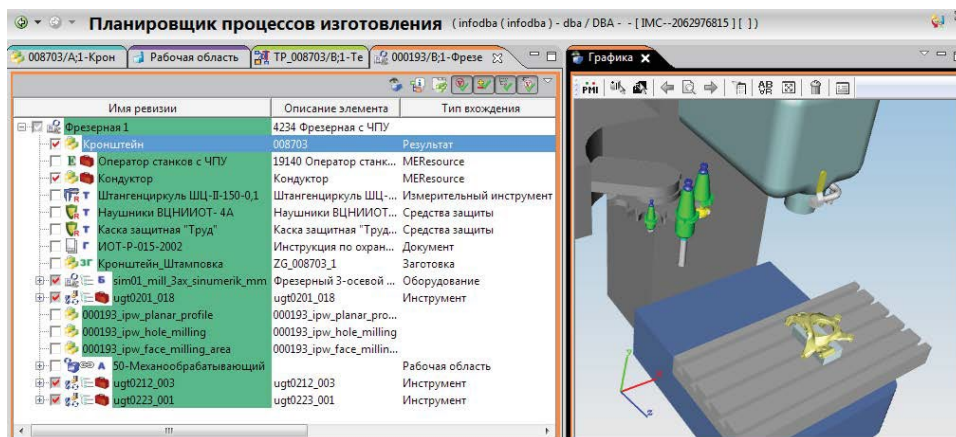


Рисунок 2.4 - Приклад технологічної операції з вкладеними даними

Операція з ЧПУ нарівні з іншими операціями, що створюються в Teamcenter, містить і переходи. У термінології Teamcenter - робочі дії (рис. 2.5). Робочі дії, пов'язані безпосередньо з процесом обробки в NX CAM, визначаються об'єктами

певних типів : MENCProgram і MENCToolActivity. Ці об'єкти містять як описову частину (час, список інструменту, номер інструменту), так і дані по обробці (карти наладки, NC- програма) і створюються системою автоматично при збереженні проекту обробки в NX.

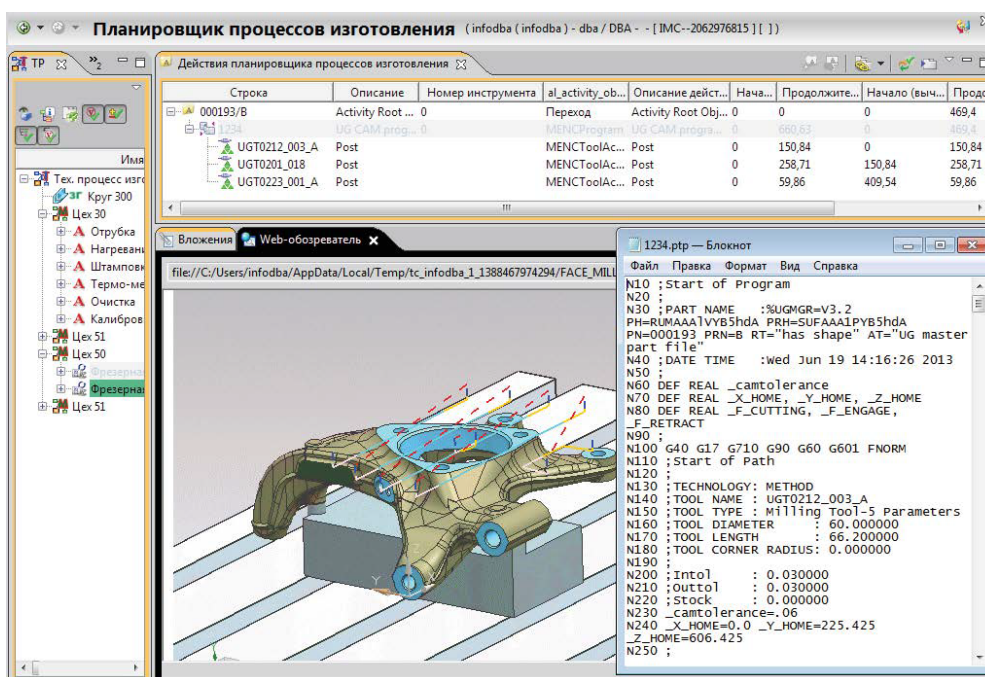


Рисунок 2.5 - Дані по обробці в Teamcenter

Також усередині операції з ЧПУ можуть бути і робочі дії (переходи), що визначають підготовчо-завершальні роботи (установка заготівлі, кріплення до плити, зняття заготівлі і т. д.). Загальний час роботи з урахуванням усіх типів робочих дій і їх тривалості визначається на рівні самої операції. А загальний час і послідовність виготовлення з урахуванням усіх операцій визначаються на рівні технологічного процесу в цілому і можуть бути підраховані і проілюстровані у вигляді наочних діаграм Ганта і Перта (рис. 2.6).

У загальному випадку при роботі в NX CAM під управлінням Teamcenter системи обмінюються між собою даними і інформацією в синхронному режимі. Усі

виробничі ресурси, такі як верстати, інструменти, технологічне оснащення, зберігаються у базі даних Teamcenter і завантажуються в проект NX CAM при створенні програми, що управляє.

А дані по обробці, створені в процесі роботи засобами NX CAM (NC- програма, цехова документація, час обробки), зберігаються в Teamcenter.

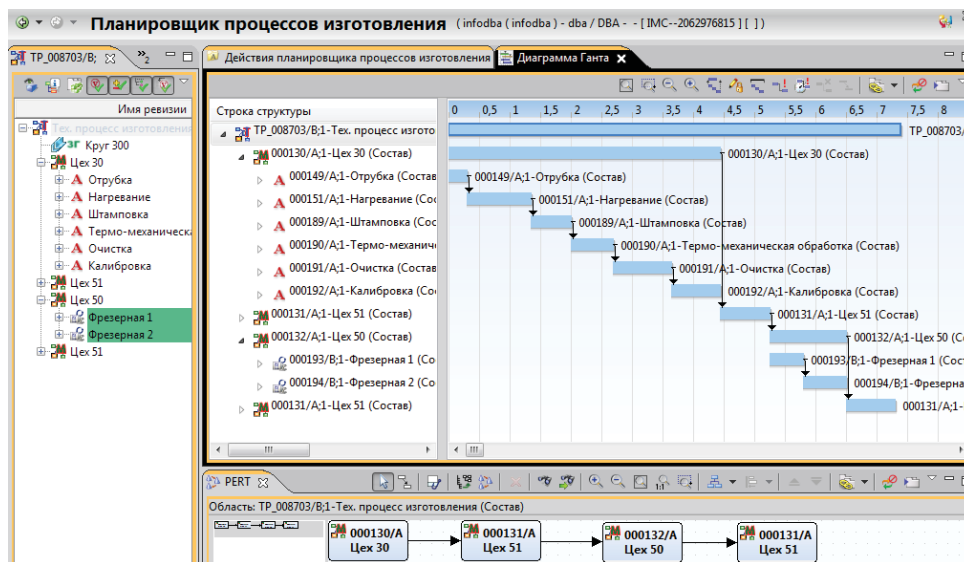


Рисунок 2.6 - Приклад технологічного процесу у вигляді діаграм

Приклад обробки деталі в NX CAM в середовищі Teamcenter

Приклад обробки здійснимий на деталі з файлу `game_remote.prt`, заздалегідь завантаживши її в систему Teamcenter. У виробничих умовах конструкторська деталь недоступна для зміни технологіві і відкривається тільки для читання. Якщо необхідно виконати підготовку деталі до обробки, то слід створити асоціативну WAVE- копію і вставити її у вигляді компонента до проекту обробки, як це було описано в попередніх главах книги.

На початку роботи відкриємо деталь `game_remote` в NX, запущеному під управлінням Teamcenter. Після відкриття деталі виконаємо запуск додатка Обробка. У діалоговому вікні, що відкрилося, Вибір класу бібліотеки виберемо клас GENERAL

і натиснемо ОК. У наступному діалоговому вікні (рис. 2.7) виберемо створений в попередньому розділі шаблон Складання з верстатом 3 - ах sinumerik і натиснемо ОКИ.

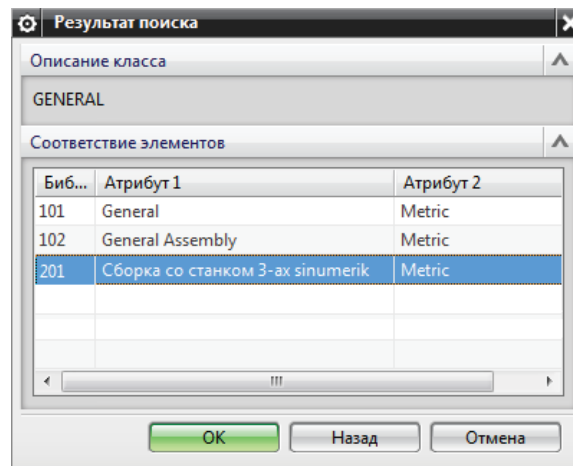


Рисунок 2.7 - Вибір шаблону обробки

В процесі створення проекту обробки необхідно задати обов'язкові атрибути, що відповідають ідентифікатору створюваного об'єкту проекту обробки, номеру модифікації і його імені. А також вибрати теку для розташування створюваного проекту обробки в Teamcenter. Після виконання цього кроку буде створений проект обробки із завантаженим верстатом (рис. 2.8).

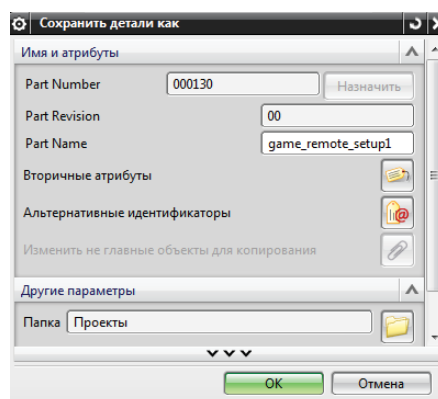


Рисунок 2.8 - Створення проекту обробки

Якщо основа деталі була розташована на початку абсолютної системи координат в площині $X - Y$, то деталь відразу встане на стіл верстата. У іншому випадку необхідно буде позиціонувати деталь (рис. 2.9).

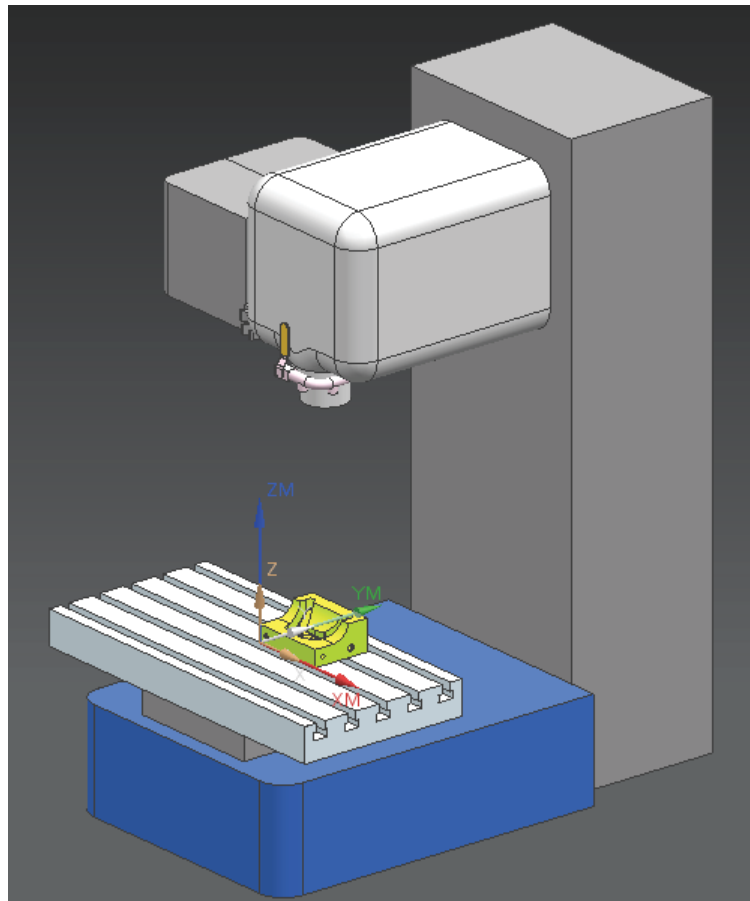


Рисунок 2.9 - Деталь на столі верстата

На наступному етапі необхідно задати геометрію деталі і заготівлі. При роботі в середовищі Teamcenter і відповідно до налаштувань, описаних вище, бібліотека доступного для вибору інструменту підключається з класифікатора Teamcenter. Виберемо клас інструменту End Mills і за допомогою критеріїв пошуку знайдемо фрезу з діаметром різальної частини 20 мм.

У NX вбудована перевірка сумісності державки інструменту з верстатом. Якщо типоразмер державки інструменту і типоразмер осередку магазину інструменту на верстаті мають взаємовідповідні параметри, то інструмент автоматично позиціонується в осередок магазину (рис. 2.10).

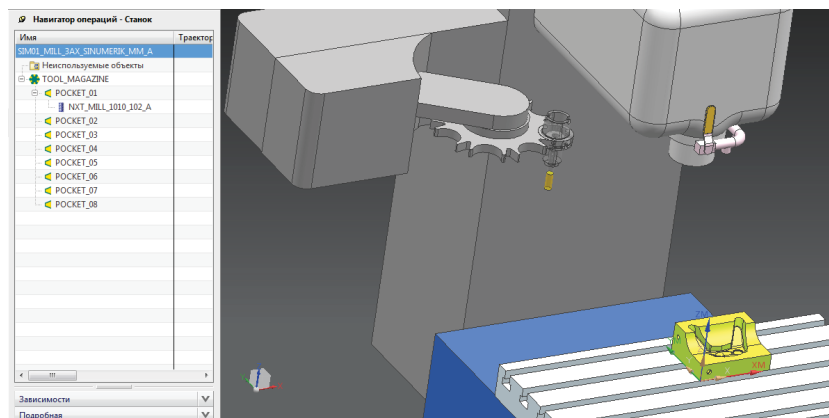


Рисунок 2.10 - Інструмент в осередку магазину

Виконаємо створення операції чорнової обробки CAVITY_MILL аналогічно тому, як описано в главі 1, а також перевірку траєкторії руху інструменту.

Після завершення створення операцій обробки перейдемо на вкладку Вид програми навігатора операцій. У ній відображені програмна група 1234 і операції обробки. Виберемо програмну групу і виконаємо команду Постпроцессировать для створення програми, що управляє.

Аналогічним чином виконаємо команду Цехова документація. Ця команда формує стандартні звіти (Tool list, Operation list) за проектом обробки. Створимо один або декілька звітів і збережемо увесь проект обробки.

В процесі збереження необхідно підтвердити збереження в Teamcenter нових типів даних (рис. 2.11), що містять програму, що управляє, і звіт. Тільки після цього дані потрапляють в Teamcenter.

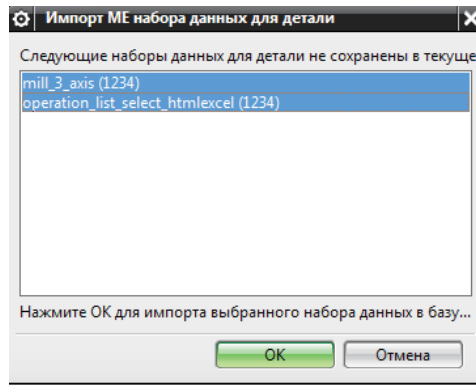


Рисунок 2.11 - Процесс збереження даних

Застосування даних у виробництві

Усі дані, що необхідні для виготовлення деталей і зберігаються в Teamcenter, можуть бути доступні безпосередньо на виробничих робітниках ділянках і завантажені в системи ЧПУ верстатів. Така можливість існує завдяки використанню спеціального модуля Teamcenter - DNC ShopFloor Connect.

Застосування цього модуля дозволить забезпечити персонал актуальною інформацією у будь-який момент часу і понизить вірогідність помилок, пов'язаних з використанням застарілих і неактуальних даних.

Функціональність цього модуля забезпечує:

- 1) підключення до даних Teamcenter через веб-браузер;
- 2) пошук необхідної виробничої операції;
- 3) перегляд усієї супровідної інформації, що відноситься до вибраної операції (карти наладки, 3D-модель деталі, ескізи і т. д.);
- 4) перегляд переліку інструменту, необхідного для виконання операції;
- 5) перегляд, вивантаження/завантаження на верстат і порівняння різних версій NC- програм;
- 6) вивантаження даних в MES- системи.

Тема 3 Статистична обробка даних в машинобудуванні

Кореляцією називається неповний зв'язок між досліджуваними явищами. Це така залежність, коли будь-якому значенню однієї змінної величини може відповідати декілька різноманітних значень іншої змінної. Вона відображає закон множини причин і наслідків і є вільною неповною залежністю. Кореляція (від англ. співвідношення, відповідність) — взаємозв'язок між ознаками, що полягає в зміні середнього значення однієї з них залежно від зміни іншої. Ознаки, пов'язані кореляційним зв'язком, називаються корельованими.

Кореляційний аналіз — метод, що вивчає кількісні характеристики кореляційних зв'язків.

Кореляційний аналіз є свого роду логічним продовженням (розвитком) методу статистичних групувань, його поглибленням. Він допомагає вирішити цілий ряд нових завдань в економічному аналізі. Розрахунки на основі кореляційних моделей підвищують ступінь точності аналізу, часто виявляють недоліки попереднього аналізу. Перевага цього методу полягає також і в тому, що він дає можливість розв'язувати задачі, які не можна вирішити за допомогою інших методів економічного аналізу, як, наприклад, відокремлення впливу багатьох факторів, які діють взаємопов'язано і взаємозумовлене. У дослідженнях важливо вивчати не стільки міру кореляції, скільки форму її й характер зміни однієї ознаки залежно від зміни іншої. Ці задачі розв'язуються методами регресійного аналізу.

Використання методу кореляції і регресії дозволяє вирішити такі основні завдання:

- встановити характер і тісноту зв'язку між досліджуваними явищами;
- визначити і кількісно виміряти ступінь впливу окремих факторів і їх комплексу на рівень досліджуваного явища;

- на підставі фактичних даних моделі залежності екологічних показників від різних факторів розраховувати кількісні зміни аналізованого явища при прогнозуванні показників і давати об'єктивну оцінку діяльності підприємств.

Суть кореляційного аналізу полягає в побудові, рішенні й аналізі економіко-математичної моделі у виді функції (рівняння) зв'язку між результативною та факторною або факторними ознаками:

$$y=f(x) \text{ або } y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Статистичне дослідження кореляційної залежності включає завдання визначення форми зв'язку і знаходження кількісної характеристики цієї форми. Процес встановлення форми зв'язку і вибору математичного рівняння, яке могло б найбільш повно відображати характер взаємозв'язку між ознаками досліджуваного явища, має вирішальне значення в кореляційному аналізі. Важливість цього етапу полягає в тому, що правильно встановлена форма зв'язку дає змогу добрати й побудувати найбільш адекватну модель і на основі її розв'язання отримати статистично достовірні й надійні характеристики зв'язку.

Під формою кореляційного зв'язку розуміємо тип аналітичного рівняння, що виражає залежність між досліджуваними ознаками.

Розрізняють дві форми зв'язку: лінійну і нелінійну. Лінійна виражається рівнянням прямої лінії, нелінійна — рівнянням кривих ліній: гіперболи, параболи, степеневої, показникової тощо. За напрямками зв'язки бувають прямими й зворотними. В першому випадку обидві ознаки змінюються в одному напрямі, тобто із зростанням факторної ознаки зростає результативна і навпаки, а в другому випадку обидві ознаки змінюються в різних напрямках. За щільністю зв'язки бувають — сильними, слабкими та ін. Коли визначається зв'язок між двома ознаками, кореляція називається простою; якщо ж явище розглядається як результат впливу декількох факторів — множинною.

Встановлення форми зв'язку означає вибір рівняння регресії, що найбільш повно відбиває характер взаємодії між результатом і фактором, за яким проводитимуться розрахунки.

Особливості, властиві кореляційному аналізу:

- при використанні кореляційного методу вирішальне значення має всебічний, економічно усвідомлений попередній аналіз даних господарської діяльності. Слід пам'ятати, що зв'язок між ознаками і властивостями — не результат математичних розрахунків, а лежить у природі самих екологічних явищ і за допомогою методів математичної статистики можна лише об'єктивно виразити існуючі закономірності економічних процесів;
- кореляцію можна виявити, лише досліджуючи достатньо велику сукупність спостережень, оскільки кореляційні зв'язки виявляються у формі спряженого варіювання двох або кількох зіставлених ознак.

Кореляційно-регресійний аналіз включає три етапи:

- математико-екологічне моделювання;
- рішення прийнятої моделі шляхом знаходження параметрів кореляційного рівняння (рівнянням регресії);
- оцінка та аналіз одержаних результатів.

Значення кореляційного аналізу у тому, що параметри рівняння використовуються: як знаряддя цілеспрямованої зміни результатів, як знаряддя техніко-економічне нормування, планування, прогнозування, як критерії напруженості плану, як знаряддя впливу на кінцевий результат.

Вивчення взаємозв'язків кореляційного типу має істотне значення особливо при аналізі явищ, які складаються під впливом великої кількості певних умов.

Статистичні характеристики кореляційного методу Основними характеристиками кореляційного методу є:

- рівняння регресії,

- коефіцієнт регресії, стандартизований коефіцієнт регресії, коефіцієнт еластичності,
- коефіцієнти та індекси кореляції і детермінації.

Рівняння регресії служить для розрахунку перших трьох показників, решта показників — обчислюються на основі зіставлення дисперсій. Для парної і множинної кореляції ці характеристики обчислюються за різними формулами.

Рівняння регресії - це аналітичне рівняння, за допомогою якого можна виразити взаємозв'язок між ознаками.

Тобто це регресійна модель або економіко-математична модель залежності результативної ознаки від факторної (факторних): від одного фактора $y = a + bx$ від декількох факторів $y = a + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n$.

Ці кореляційні рівняння пов'язують результативну ознаку (y) з факторною (x) у вигляді рівняння прямої лінії, де параметр a визначає середню зміну результативної ознаки при зміні факторної ознаки на одиницю її натурального виміру. Надійність цих рівнянь буде тим вище, чим вірніше і якісніше підібрані фактори, що впливають на результативний показник.

Коефіцієнти кореляції служить для оцінки щільності або сили зв'язку.

Статистичне дослідження кореляційної залежності між названими ознаками перед усім потребує встановлення форми зв'язку і вибору математичного рівняння, яке могло б найбільш повно відображати характер взаємозв'язку між ознаками досліджуваного явища. Цей етап має вирішальне значення в кореляційному аналізі. Його важливість полягає в тому, що правильно встановлена форма зв'язку дає змогу добрати й побудувати найбільш адекватну модель і на основі її розв'язання отримати статистично достовірні й надійні характеристики зв'язку. Форма зв'язку при парних залежностях звичайно визначається достатньо точно візуально — на основі кореляційної решітки і кореляційного поля. Побудова кореляційної решітки — перший етап дослідження, який дає змогу дійти деяких висновків щодо форми і напрямку зв'язку. Вона є двомірним рядом розподілу, тобто комбінаційною таблицею,

в підметі якої факторна ознака розчленується на групи, а в присудку — результативна.

Кореляційне поле — це графік, побудований у прямокутній системі координат, на якому у вигляді точок зображена кожна одиниця спостереження за двома корельованими ознаками. За характером розміщення точок судять про форму і напрям зв'язку. Достатньо поглянути на кореляційне поле, щоб дійти висновку про наявність зв'язку (точки сконцентровані в одному напрямі) або його відсутність (точки розкидані по всьому полю). Напрямок зв'язку визначається за законами «порожнини» в кутках рисунка: при прямому зв'язку — точки відсутні у верхньому лівому й нижньому правому кутах поля, при зворотному — в нижньому лівому і верхньому правому кутах поля. Форма зв'язку визначається за лінією регресії, що є головною характеристикою кореляційного зв'язку. Лінія регресії — це ламана лінія, яка зображає залежність середньої результативної ознаки від факторної. Форма лінії дає можливість перевірити, якій формі зв'язку відповідає явище, що вивчається.

Визначення числових характеристик зв'язку. Початковим етапом розрахунків є обчислення коефіцієнтів кореляції. Якщо розраховані коефіцієнти вказують на високу щільність взаємодії корельованих ознак, то подальше розв'язання рівняння регресії має значення. В протилежному випадку подальші розрахунки не мають смислу і кореляційний аналіз на цьому припиняється.

Значення кореляційного аналізу у тому, що параметри рівняння використовуються: як знаряддя цілеспрямованої зміни результатів, як знаряддя техніко-економічного нормування, планування, прогнозування, як критерії напруженості плану, як знаряддя впливу на кінцевий результат.

Вивчення взаємозв'язків кореляційного типу має істотне значення особливо при аналізі явищ, які складаються під впливом великої кількості певних умов.

Здійснення кореляційного аналізу передбачає такі послідовні етапи:

- 1) встановлення причинно-наслідкових зв'язків між досліджуваними ознаками (виявлення факторів та вибір серед них тих, які найбільше впливають на результативний показник);
- 2) формування кореляційно-регресійної моделі (інформаційне забезпечення аналізу, вибір типу і форми зв'язку, складання моделі);
- 3) визначення кореляційних характеристик (показників зв'язку);
- 4) статистична оцінка параметрів зв'язку (економічна інтерпретація, оцінка значимості коефіцієнтів кореляції (наскільки відібрані фактори пояснюють варіацію результативного показника) та використання їх для вирішення практичних завдань, наприклад прийняття рішень, прогнозування, планування, нормування тощо (рис.).

Отже, на початковому етапі аналізу виявляються зв'язки між результативною і факторними ознаками. Ці зв'язки можуть бути різними залежно від характеру залежності, напрямку дії та аналітичного виразу (рис.).



Схема кореляційно-регресійного аналізу

На другому етапі оцінюється вихідна інформація для дослідження з використанням різних статистичних критеріїв (середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації тощо), а потім формується модель стохастичного зв'язку.

Для здійснення кореляційного аналізу скористаємося прикладом, який використали раніше для демонстрації регресійного аналізу. Спочатку оцінимо типовість та однорідність даних спостереження, які визначаються відносним їх розподілом навколо середнього рівня, за допомогою таких критеріїв, як середньоквадратичне відхилення (σ) та коефіцієнт варіації (V).



Види зв'язків суспільних явищ

Використання методу кореляції і регресії дозволяє вирішити такі основні завдання:

- встановити характер і тісноту зв'язку між досліджуваними явищами;
- визначити і кількісно виміряти ступінь впливу окремих факторів і їх комплексу на рівень досліджуваного явища;
- на підставі фактичних даних моделі залежності екологічних показників від різних факторів розраховувати кількісні зміни аналізованого явища при прогнозуванні показників і давати об'єктивну оцінку діяльності підприємств.

Тіснота зв'язку у кореляційному аналізі характеризується за допомогою спеціального відносного показника, який отримав назву коефіцієнта кореляції.

При парній лінійній залежності тіснота зв'язку визначається за допомогою лінійного коефіцієнта кореляції

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y},$$

$$\text{де } \overline{xy} = \frac{\sum xy}{n}; \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}; \quad \bar{x} = \frac{\sum x}{n};$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - (\bar{x})^2}; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - (\bar{y})^2}.$$

Він може бути обчислений за іншими формулами:

$$r = \frac{\sum (y - \bar{y})(x - \bar{x})}{n \sigma_x \cdot \sigma_y}; \quad r = \frac{n \sum yx - \sum y \sum x}{\sqrt{[n \sum y^2 - (\sum y)^2][n \sum x^2 - (\sum x)^2]}};$$

$$r = \frac{\sum (y - \bar{y})(x - \bar{x})}{\sqrt{\sum (y - \bar{y})^2 \sum (x - \bar{x})^2}}; \quad r = b \frac{\sigma_x}{\sigma_y}.$$

Коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0 до ± 1 . Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, то зв'язок відсутній, а якщо одиниці, то зв'язок функціональний. Знак при коефіцієнті кореляції вказує на напрям зв'язку ("+" - прямий, "-" - обернений). Чим ближче коефіцієнт кореляції до одиниці, тим зв'язок між ознаками тісніший.

Розраховані значення коефіцієнта Стюдента порівнюють з його граничними (табличними) значеннями t_{05} ; t_{01} ; t_{001} що відповідають рівням значущості $\alpha = 0,05$; $0,01$; $0,001$. При цьому кількість ступенів свободи розраховують як $f = n - 2$.

Отже, за умови $t < t_{05}$ коефіцієнт кореляції вважають незначимим при рівні значущості $\alpha = 0,05$ (достовірність $p \geq 0,95$); за умови $0,05 \leq t < t_{01}$ коефіцієнт кореляції вважають значимим при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Статистична значущість коефіцієнта кореляції збільшується при $t > t_{01}$ або $t > t_{001}$ (відповідно, з достовірністю $p \geq 0,99$ або $p \geq 0,999$). Таким чином, під час використання кореляційного методу визначають:

- рівняння та коефіцієнти регресії;

- стандартизований коефіцієнт регресії;
- коефіцієнт еластичності та
- коефіцієнти та індекси кореляції і детермінації.

При цьому одержані рівняння регресії застосовують для:

- дослідження характеру зміни ознаки (величини) у при зміні фактора (величини) x ;
- прогнозування значень величини у при заданих значеннях x ;
- визначення оптимального значення фактора x для одержання необхідного значення параметра y або для утримання параметра y на певному (зазначеному) рівні.

Завдяки кореляційному аналізу є можливість глибше дослідити взаємозв'язки екологічних явищ і процесів, виявити вплив техногенних факторів на результати господарської діяльнaвколишнє середовище, виявити і підрахувати резерви підвищення ефективності виробництва. Все це позитивно позначається на здійсненні управлінської, маркетингової та інших видів діяльності, прийнятті економічно обґрунтованих господарських рішень.

Загальний екологічний стан довкілля формується в основному за рахунок забруднення природних сфер і в меншій мірі за рахунок техногенно-небезпечного забруднення довкілля. Стан захворюваності населення або небезпека його здоров'ю найбільш тісно пов'язана з обсягами виробництва промислової продукції, станом забруднення окремих природних сфер, небезпечних техногенних виробництв гігантів індустрії. Небезпеку здоров'ю населення спричиняють також планетарні зміни клімату – зменшення озонового шару і потепління клімату. Щільність зв'язку між основними ознаками високий і чітко виражений. Ризик небезпеки здоров'ю населення в АР Крим та у Львівській, Херсонській і Рівненській областях є особливо високим. Кількісна оцінка впливу екологічного стану довкілля на здоров'я населення і якість життя людини дозволить контролювати найбільш небезпечні компоненти забруднення довкілля буде відповідати не лише зміцненню людського капіталу, але

й підвищенню рівня екологічної безпеки, зниженню ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, зменшенню соціально-економічних збитків суспільства від впливу несприятливих факторів довкілля та впровадженню інноваційних технологій природокористування, диверсифікації господарської діяльності підприємств аграрної сфери.

Екологічні явища формуються під впливом багатьох чинників, тому наявні взаємозв'язки між ознаками, як правило, легко визначати тільки у великих за обсягом системах. Для аналізу результатів хімічних і екологічних досліджень досить часто застосовують регресійний та кореляційний методи аналізу. Зокрема, кореляційний аналіз надає змогу розв'язати низку складних завдань екології та охорони навколишнього середовища і сприяє підвищенню точності й надійності математичних моделей. Перевага кореляційного методу полягає також і в тому, що він надає змогу розв'язувати завдання, які не можна вирішити за допомогою інших методів аналізу, таких, наприклад, як відокремлення впливу кожного з багатьох чинників, що взаємопов'язано і взаємозумовлено діють на систему. Більш того, в екологічних дослідженнях необхідно визначати не стільки міру кореляції, скільки її форму і характер зміни однієї ознаки залежно від зміни іншої.

Під кореляційним зв'язком розуміють зв'язок, коли середньому значенню однієї ознаки, відповідає кілька значень іншої взаємопов'язаної з ним ознаки (середньому зростанню статистичної сукупності відповідає кілька значень маси одиниць спостережень).

У медичних, соціальних, біологічних дослідженнях найчастіше спостерігається саме кореляційна залежність, в зв'язку з чим більш детально охарактеризуємо її.

Необхідно пам'ятати, що кореляційні зв'язки проявляються тільки в якісно однорідній статистичній сукупності.

Кореляційний зв'язок можна представити у вигляді: – таблиць;

– графіка;

– коефіцієнта кореляції.

Недолік таблиць і графіків в тому, що вони дають уявлення про наявність зв'язку і його напрямку, але не характеризують його силу, яка є найважливішою характеристикою для формулювання висновків дослідження.

Коефіцієнт кореляції (R_{xy}) одним числом визначає наявність зв'язку, його напрямку та силу залежності ознак між собою, в цьому і полягає перевага коефіцієнта кореляції перед таблицями і графіками.

Під силою кореляційного зв'язку розуміють ступінь пов'язаності між ознаками або ступінь залежності однієї ознаки від іншої.

Сила кореляційної зв'язку знаходиться в межах від 0 до ± 1 і її рівень оцінюється за спеціальною приведеною нижче шкалою:

0 – зв'язок відсутній;

від $\pm 0,1$ до $\pm 0,29$ – слабка залежність; від $\pm 0,3$ до $\pm 0,69$

– середня залежність; від $\pm 0,7$ до $\pm 0,99$ – сильна залежність;

± 1 – повна залежність.

За напрямком кореляційний зв'язок може бути:

– прямий; – зворотній.

При прямому кореляційному зв'язку, зі зміною значення однієї ознаки змінюється значення іншої ознаки, яка була взаємопов'язана з нею в тому ж напрямку (наприклад, з підвищенням температури тіла у людини збільшується частота пульсу). Позначається прямий зв'язок знаком (+).

При зворотному кореляційному зв'язку зі зміною значення однієї ознаки змінюється значення іншої ознаки, яка була взаємопов'язана з нею в зворотному напрямку (наприклад, восени, чим нижче температура навколишнього середовища, тим вище захворюваність серед дитячого населення. Зворотній зв'язок позначається знаком (–)).

Крім того, кореляційний зв'язок може бути:

– прямолінійним; –

криволінійним.

Прямолінійний зв'язок характеризується відносно рівномірною зміною значень однієї ознаки, при рівній зміні іншої ознаки (наприклад, при вимірюванні артеріального тиску відповідність між максимальним і мінімальним рівнями АТ).

При криволінійному кореляційному зв'язку інше співвідношення: при рівномірній зміні значення однієї ознаки можуть спостерігатися зростаючі або спадаючі значення іншої ознаки.

Вимірювання і оцінка зв'язку між явищами при прямолінійному кореляційному зв'язку здійснюється за допомогою коефіцієнта кореляції, а при криволінійному зв'язку – кореляційним відношенням.

Тема 4 Виконання аналізу в NX Advanced simulation

Зазвичай для попередньої оцінки міцності/працездатності конструкції інженер-конструктор застосовує інженерні підходи, засновані на представленні конструкції у вигляді простих вузлів і елементів, для яких існують аналітичні оцінки пошуку напружено-деформованого стану. До таких оцінок можна віднести використання простих формул для пошуку напруги у балках при їх розтягуванні, вигині або крученні, пошуку відносного подовження, моментів інерції, сил реакції та ін. Інженер-конструктор вимушений працювати з великою кількістю спеціалізованої літератури для пошуку необхідних виразів і законів. Ці підходи мають істотні обмеження при їх застосуванні до реальних складних конструкцій і використовуються усе менше і менше в сучасних високотехнологічних виробництвах і конструкторських бюро. При використанні систем чисельного аналізу інженер дістає можливість моделювати конструкції і машини будь-якої складності з будь-якою необхідною (раціональною) мірою деталізації. У нього з'являється інструмент для аналізу реального розподілу напруги і деформацій в конструкції. NX Advanced Simulation на базі промислового вирішувача NX Nastran (і інших вирішувачів компанії Siemens PLM Software) дає інженерові можливість працювати з різними застосуваннями, залишаючись в єдиному середовищі проектування NX. Причому масштабованість модуля NX Advanced Simulation (NX Розширена симуляція) дозволяє вирішувати як прості, так і найскладніші завдання з різних областей механіки твердого тіла, що деформується, механіки рідин і газів, механіки теплопереноса та ін.

Основні кроки при виконанні інженерного аналізу за допомогою методу кінцевих елементів (рисунок 4.1) - це: створення моделі і, що ідеалізується, - part. Цей етап відповідає переходу від реальної фізичної моделі до зміненої (спрощеною) математичної моделі. Очевидно, що математичні моделі мають нескінченне число ступенів свободи, що спричиняє за собою ту, що практичну, що не реалізовується

рішення поставленої задачі для складної моделі; створення дискретної моделі FEM, що відповідає обмеженню числа ступенів свободи, тобто відбувається дискретизація моделі, що ідеалізується; рішення системи дозволяючих рівнянь, які відповідають вибраному типу аналізу.

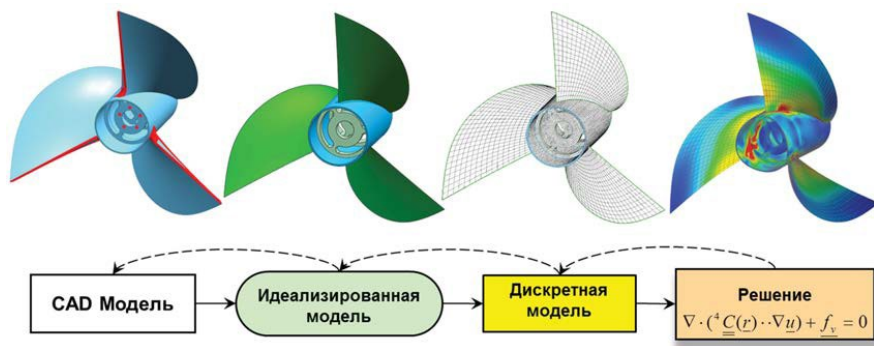


Рисунок 4.1 - Схема виконання інженерного аналізу

Необхідно враховувати, що рішення задачі чисельними методами не може бути абсолютно точним - кожен етап чисельного моделювання вносить певну погрішність в результат розрахунку. Для мінімізації погрішності розрахунку інженер повинен приділяти особливу увагу двом етапам : ідеалізації і дискретизація. На етапі ідеалізації здійснюється перехід до математичної моделі, що може внести істотну погрішність або навіть кардинальну помилку в результат. У свою чергу, на етапі дискретизації необхідно перевіряти збіжність чисельного рішення. Під збіжністю розуміється прагнення результату чисельного рішення до вірного при збільшенні числа ступенів свободи.

Окрім цього, займаючись чисельним моделюванням, необхідно пам'ятати, що КЕ аналіз - це завжди баланс досвіду самого інженера, необхідної точності результату, потужності обчислювальної техніки, часу розрахунку, часу розробки розрахункової моделі. Зазвичай більше деталізовані і добре такі, що дискретизують розрахункові моделі дають точніший результат, але вимагають більше часу як на

розрахунків, так і на підготовку. У свою чергу, якість і час підготовки розрахункової моделі можуть безпосередньо впливати на зниження часу розрахунку. А досвід і знання інженера як основний визначальний чинник можуть урівноважити і допомогти досягти балансу при рішенні реальних завдань.

NX Advanced Simulation - це багатфункціональний модуль звичайно-елементного моделювання з широкими можливостями візуалізації результатів моделювання конструкцій і їх поведінки. Модуль містить усі інструменти, які потрібні будь-якому CAE- фахівцеві, і підтримує широкий діапазон інженерних розрахунків. NX Advanced Simulation забезпечує повну асоціативність розрахункових моделей з CAD- моделями, що дозволяє фахівцеві швидко вносити зміни в конструкцію і відповідно в розрахункову модель (рис. 4.2).

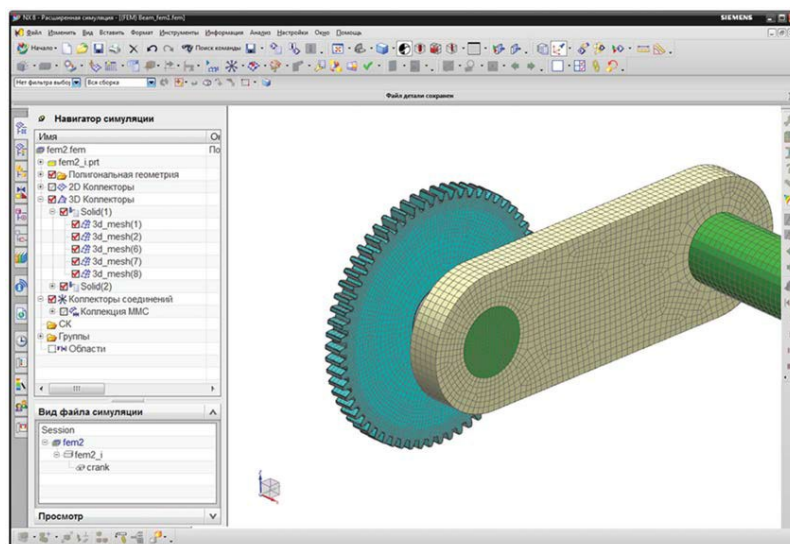


Рисунок 4.2 - Загальний вигляд NX Advanced Simulation

Відмітною особливістю NX Advanced Simulation є можливість, залишаючись в одному і тому ж середовищі моделювання NX, використати для вирішення різні ведучі промислові вирішувачі, такі як NX Nastran, MSC Nastran, ANSYS, LS - Dyna і ABAQUS. При цьому необхідно задати тільки тип використовуваного вирішувача, а

система, у свою чергу, автоматично представляє усі моделі, типи елементів, властивості, параметри, умови сполучення і опції рішення, використовуючи термінологію або «мову» вибраного вирішувача і типу аналізу (рисунок 4.3).

NX Advanced Simulation, будучи однією з провідних систем чисельного інженерного аналізу, пропонує набір інструментів і функцій для виконання чисельного аналізу будь-якої міри складності - починаючи від простих оцінних розрахунків до виконання аналізу складних процесів (таких як краш-тести, технологічні завдання, завдання пов'язаного тепломасообміну та ін.). Інтуїтивна структура даних і параметрів розрахункової моделі у вигляді нехронологічного дерева з можливістю доступу до усіх параметрів як з основного меню і з дерева моделі, так і через графічну область екрану дозволяє опанувати систему користувачеві з будь-яким рівнем попередньої підготовки в найкоротші терміни.

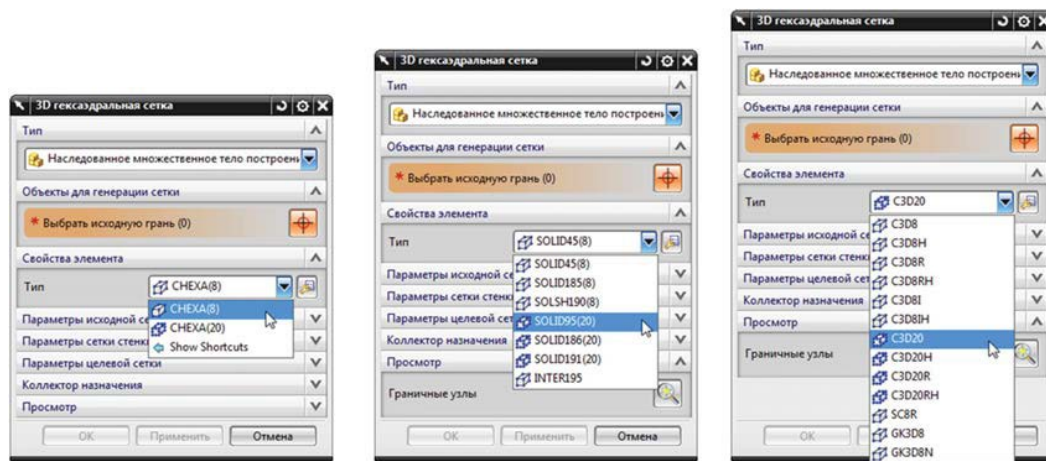


Рисунок 4.3 - «Мова» вибраних вирішувачів

На етапі переходу від фізичної моделі до математичній NX Advanced Simulation, маючи набір спеціалізованих інструментів, дозволяє адаптувати конструкторську CAD - геометрію для виконання КЭ аналізу. Наприклад, фахівці-розраховувачі без звернення до конструктора можуть спростити модель, видаливши дрібні геометричні

елементи, погасивши отвори, скруглення, створивши серединні поверхні, здійснивши булеві операції і операції ділення тіл для поліпшення якості розрахункової сітки.

Однією з особливостей роботи з математичною розрахунковою моделлю в NX Advanced Simulation є логічне розділення розрахункової і КЭ моделей. Таким чином, у будь-який момент роботи активною залишається тільки одна модель, що додає значну долю порядку в роботу інженера і істотно економить комп'ютерні ресурси. Крім того, такий принцип легко дозволяє для однієї КЭ моделі виконувати декілька аналізів різних типів.

NX Advanced Simulation створює КЭ моделі високого класу з економією кількості елементів і дає можливість використати повний набір існуючих типів кінцевих елементів (0D, 1D, 2D і 3D) при великих можливостях контролю КЭ розбиття. Для підвищення якості КЭ моделі з урахуванням особливостей топології геометрії використовуються спеціалізовані інструменти для виправлення проблемних зон геометрії. Одним з основних достоїнств NX Advanced Simulation є автоматичне відстежування внесених в геометрію і КЭ модель змін з автоматичним оновленням розрахункової моделі до актуального стану.

NX Advanced Simulation дозволяє аналізувати конструкцію з точки зору різних процесів, пов'язаних з її функціонуванням. Для виконання розрахунку користувачеві доступні: лінійний/нелінійний аналіз міцності, аналіз динамічної поведінки конструкції, аналіз стану виробу в умовах дії нелінійних швидко протікаючих процесів, тепловий аналіз, аналіз течії рідини і газу, оптимізаційний аналіз, кореляційний аналіз та ін. При переході в додаток NX Розширена симуляція (NX Advanced Simulation) і створенні розрахункової моделі перше, що необхідно задати, - це вирішувач і тип аналізу (рисунок 4.4), який буде виконаний для поточної моделі. Відповідно до вибраного вирішувача система автоматично настроїть інтерфейс і «мову» команд і функцій пре- і постпроцесора.

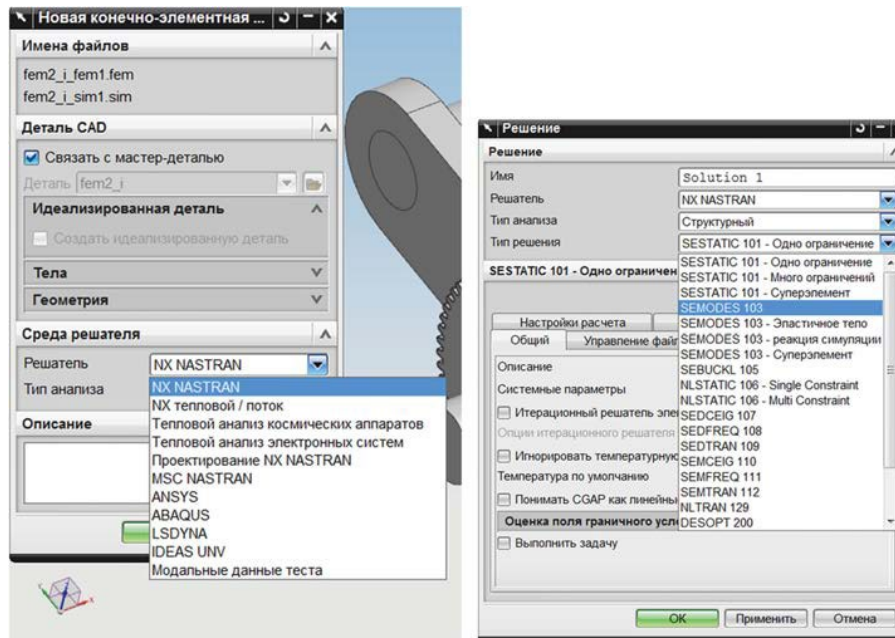


Рисунок 4.4 - Типи вирішувачів і аналізів вирішувача NX Nastran

Основні типи аналізу, доступні у вирішувачі NX Nastran : лінійний статичний аналіз (SOL 101), аналіз власних частот і форм вільних коливань (SOL 103), аналіз відгуку на дії, залежні від часу або частоти (SOL 108, 109, 111, 112), аналіз втрати стійкості конструкцій (SOL 105), базовий нелінійний аналіз (SOL 106), аналіз перехідних процесів (SOL 129), аналіз теплопереноса (SOL 153), нелінійний аналіз на базі явних схем інтеграції (SOL 601), нелінійний динамічний аналіз на базі явних схем інтеграції (SOL 701), оптимізаційний аналіз (SOL 200).

Окрім цього, при виборі типу вирішувача доступні додаткові варіанти: NX тепловий/потік (NX Thermal/Flow) - ці вирішувачі дозволяють виконати аналіз теплопередачі і аналіз динаміки рідини і газів (CFD). Ви можете використати цих двох вирішувачів незалежно або спільно для отримання результатів як теплового аналізу, гідро/газодинамічного аналізу, так і результатів пов'язаного аналізу тепломасопереноса; Тепловий аналіз космічних апаратів (NX Space Systems Thermal) - це промислово-орієнтований вирішувач для теплового аналізу космічних апаратів і орбітальних/межорбітальних систем; Тепловий аналіз електронних систем

(NX Electronic Systems Cooling) - це промислово-орієнтований вирішувач для аналізу систем охолодження електроніки. Він включає аналіз теплопереноса і обчислювальну гідро/газодинаміку (CFD) для комплексного дослідження систем відведення тепла; MSC NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, LS - DYNA, IDEAS UNV - можливість записати розрахункову модель у вигляді вхідного файлу для відповідної системи чисельного аналізу.

При виконанні будь-якого КЭ розрахунку в NX Advanced Simulation необхідно чітко розуміти фізику даного процесу, оскільки програмний продукт використовує тільки дані, введені користувачем, і внутрішні вирішувачі. У разі некоректно поставленого користувачем завдання отримане рішення буде неточним або невірним.

Процедуру виконання інженерного розрахунку конструкцій методом кінцевих елементів в NX Advanced Simulation умовно можна розбити на декілька етапів (рисунок 4.5). При цьому в ході створення моделі і виконання розрахунку створюються файли, які містять певні типи даних про розрахункову модель. Для ефективної роботи в NX Advanced Simulation необхідно чітко розрізняти, які дані зберігаються в певному файлі і який файл має бути активним при створенні і роботі з розрахунковою моделлю.

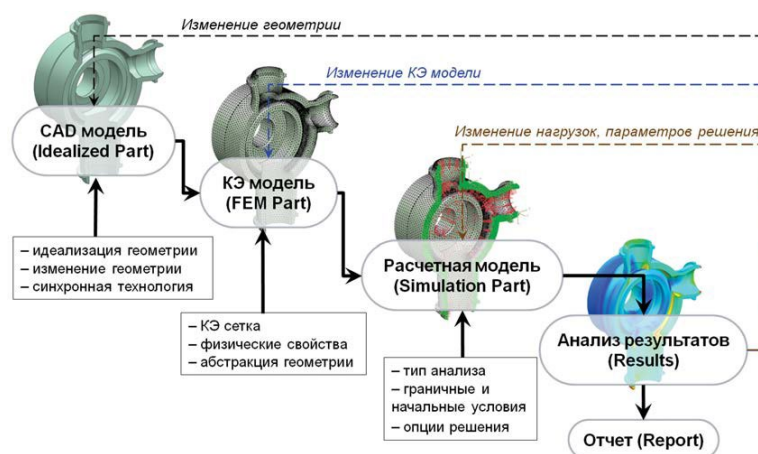


Рисунок 4.5 - Етапи створення розрахункової моделі

1 Створення геометричної моделі (Idealized Part), що ідеалізується. Для ефективного застосування методу КЕ має бути побудована коректна і максимально проста геометрична модель. Для цього необхідно провести ідеалізацію початкової геометрії - мастер-моделі. Рекомендується виключити усі геометричні елементи, які призводять до ускладнення розрахункової моделі (технологічні отвори, скруглення, фаски), але не роблять впливу на очікувані результати виконуваного розрахунку. Якщо в початковій геометрії є присутніми видимі поверхневі дефекти, то слід перебудувати відповідні геометричні елементи, для цього в NX є присутніми відповідні інструменти.

Виконання ідеалізації геометрії (тобто зміна або спрощення) реалізується без зміни мастер-моделі. Система автоматично створює геометричну модель, що ідеалізується, якій відповідає файл «ім'я_fem_i.prt». Цей файл створюється одночасно із створенням файлу КЕ моделі FEM або файлу симуляції SIM.

2. Створення КЕ моделі (FEM Part). Для КЕ моделі створюється файл «ім'я_fem.fem». Окрім побудови безпосередньо КЕ сітки, в цьому файлі задаються і зберігаються фізичні властивості частин моделі, такі як властивості матеріалів або параметри оболонкових і стержневих елементів. Геометрія в створеному файлі FEM є полігональною, тобто складається з фасетів, вершин і ребер. Надалі саме полігональна геометрія використовується для завдання спеціалізованих правил генерації сітки, таких як кількість або розмір елементів на геометричному об'єкті, абстракція геометрії. При цьому файл FEM асоціативно пов'язаний з геометрією, що ідеалізується, тобто може бути оновлений автоматично у разі внесення змін до початкової або такої, що ідеалізується геометрії. Додаток NX Розширена симуляція (NX Advanced Simulation) дозволяє проводити чисельне моделювання не лише для окремих елементів конструкцій, але і для декількох деталей, об'єднаних в єдине складання. В цьому випадку структура розрахункового складання (Assembly FEM або AFEM) трохи відрізняється від структури розрахункової моделі. Для створення

звичайно-елементної моделі складки заздалегідь створюються КЭ моделі кожної з деталей, а потім створюється КЭ модель складання AFEM, де усі КЭ моделі деталей об'єднуються в єдине складання. При цьому позиціонування КЭ моделей окремих деталей один відносно одного в складанні відбувається автоматично відповідно до їх початкового положення в CAD- складанні. У разі відсутності початкового CAD-складання можна використати спеціальні інструменти для позиціонування КЭ моделей окремих деталей вручну.

3. Створення розрахункової моделі (Simulation Part). Файл SIM містить інформацію про постановку завдання. Тобто на цьому етапі для розробленої КЭ моделі визначаються граничні і початкові умови, умови можливої контактної взаємодії, один або декілька типів аналізу, а також опції вирішувача. Створений файл симуляції «ім'я_sim.sim» містить усі параметри і властивості поведінки конструкції, розрахункових випадків, налаштування вирішувача, такі як тип рішення, крок рішення, об'єкти симуляції(контактні граничні умови та ін.), навантаження, обмеження, фізичні властивості, створені при перезаписі таблиць фізичних властивостей. Існує можливість створювати декілька файлів симуляції SIM, асоціативно пов'язаних з одним файлом FEM.

4. Чисельне рішення задачі (Solution). Цей етап не вимагає безпосередньої участі інженера, але зазвичай супроводжується так званим моніторингом ходу рішення. Для виявлення проблем з рішенням на ранньому етапі необхідно стежити за збіжністю вирішувача, за збіжністю контактної алгоритму, за нелінійною або нестационарною історією рішення. У разі виявлення розбіжності рішення або інших проблем завдання можна перервати і внести корективи у файли FEM або SIM.

5. Аналіз отриманих результатів (Results). Після отримання коректних результатів, які записуються у файл OP2 (для вирішувача NX Nastran), вони аналізуються, будуються необхідні графіки і розподіли, складається звіт.

Існує декілька переваг від управління CAE- даними в структурі розрахункової моделі NX Розширена симуляція (NX Advanced Simulation) : розширення файлів .sim і .fem може використовуватися PLM- системою для управління даними і процесами чисельного моделювання; відкриття (завантаження) майстер- і геометрії, що ідеалізується, являється опціональним, що призводить до використання меншого об'єму оперативної пам'яті і дозволяє системі працювати швидше; наочна логічна структура дозволяє легше орієнтуватися при роботі із складними моделями; повторне використання файлу розрахункової сітки FEM може значно підвищити ефективність використання ресурсів.

Типова розрахункова модель в NX Розширена симуляція (рис. 4.6).

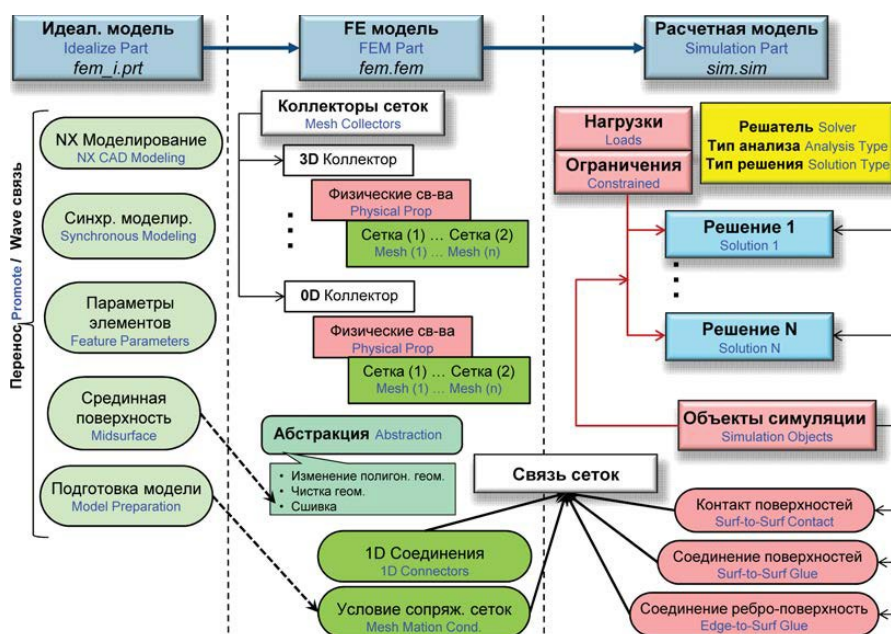


Рисунок 4.7 - Схема типовой розрахункової моделі в NX Advanced Simulation

Додаток NX Розширена симуляція (NX Advanced Simulation) є гнучким середовищем, що налаштовується, і допускає різні послідовності операцій для досягнення тієї або іншої мети залежно від завдання, що стоїть перед інженером, і

персональних налаштувань. Дві основні послідовності, проте, дозволяють досягти коректного результату для більшості розрахункових випадків.

У рекомендованій для більшості моделей «явної» послідовності дій необхідно спочатку задати матеріал, фізичні властивості і властивості сітки в колекторах КЭ сітки, а потім приступати до генерації самої сітки. Колектор КЭ сітки - це елемент дерева розрахункової моделі, що містить інформацію про тип, властивості і параметри розрахункової сітки. Ця послідовність дій корисна для побудови складних моделей, які містять декілька тіл, матеріалів і КЭ сіток. Вона забезпечує прозорість властивостей моделі і знижує ризик виникнення помилки моделювання або розрахунку.

Для простих конструкцій з одним твердим або поверхневим тілом з одного матеріалу можна використати «автоматичну» послідовність дій. Ця послідовність дозволяє швидко створити файли розрахункової моделі FEM і SIM з усіма необхідними колекторами в автоматичному режимі. Також в цьому випадку за умовчанням відбувається спадкоємство властивостей об'єктів з геометричної моделі.

У NX Розширена симуляція (NX Advanced Simulation) є можливість створювати множинні файли FEM для однієї деталі. Наприклад, для одного геометричного об'єкту можна згенерувати велику («грубу») сітку і дрібнішу сітку з високою мірою деталізації конструкції одночасно. Щоб зв'язати новий файл FEM з існуючою деталлю, що ідеалізується, в діалоговому вікні Новий FEM (New FEM) необхідно встановити прапорець Асоціативно з деталлю (Associate to Master Part) і вибрати деталь, що ідеалізується, зі списку відкритих деталей або натиснути Відкрити (Open Part) і відкрити деталь, що ідеалізується.

Щоб зв'язати новий файл FEM з новою деталлю, що ідеалізується, в діалоговому вікні Новий FEM (New FEM) слід встановити прапорець Асоціативно з деталлю (Associate to Master Part) і вибрати майстер-деталь зі списку відкритих деталей. В цьому випадку для створення нової геометрії, що ідеалізується, треба встановити

прапорець Створити деталь (Create Idealized Part), що ідеалізується. Після натиснення ОК створюється нова деталь, що ідеалізується, заснована на мастер-моделі.

Аналогічно множинним FEM моделям можна створювати множинні SIM, а в одному файлі симуляції - декілька рішень. При створенні розрахункової моделі з декількома рішеннями повторне використання заданих граничних умов допускається шляхом використання перетягання граничної умови мишею в знову створений розрахунковий випадок. При використанні такого підходу усі розрахункові випадки використовуватимуть одні і ті ж властивості матеріалів і фізичні властивості об'єктів. Якщо використати множинні SIM, то властивості конструкції можуть бути змінені для кожного розрахункового випадку шляхом перезапису. Перезапис властивостей у файлі SIM дозволяє змінити значення вибраних матеріалів, фізичних властивостей або атрибутів елементів без внесення відповідних змін до розрахункової сітки (у файл FEM). Відповідно, коли розраховується модель, що містить перезаписані фізико-механические характеристики, система використовує значення, які задані на рівні файлу SIM вмес те початкових значень. Це дозволяє досліджувати застосування різних матеріалів в одній моделі за менший час і без створення файлів, що дублюються на дисковому просторі. Також можна використати перезапис властивостей для швидкого аналізу застосовності різної товщини елементів при роботі з поверхневими моделями.

Тема 5 Введення у TEAMCENTER

Знання (розробки, ноу-хау) компанії - це її активи, що дозволяють сміло дивитися в майбутнє і мати конкурентні переваги. Управління цими знаннями і їх повторне і спользование - головна цінність системи управління інженерними процесами.

Технічні рішення Siemens PLM Software засновані на концепціях колективної роботи і наскрізного проектування. Це технологія мастер-моделі, розробленою конструктором, на основі якої вибудовуються усі інженерні процеси, починаючи від постановки технічних вимог на моделях і закінчуючи процесами розробки оснащення, аналізу кінематики, динаміки, складання, розробки програм, що управляють, для верстатів з числовим програмним управлінням і т. д.

Інтеграція системи Teamcenter с різними інструментальними платформами - це механічні CAD, електричні і електронні CAD, системи аналізу CAE і інструментальні засоби офісного документообігу (Microsoft Office, Microsoft Exchange, Microsoft Explorer і SharePoint і т. д.), забезпечує повний електронний опис виробу, кероване з єдиного середовища Teamcenter.

Teamcenter - платформа для різномірних застосувань (так звана multi - CAD-платформа), яка інтегрована не лише з додатками від Siemens PLM Software в області проектування і аналізу, але і з іншими продуктами, що надають засоби проектування виробів машинобудування, приладобудування, будівництва і т. п. Це продукти Autodesk, Dassault Systems, PTC, ECAD- системи, - Mentor, Cadence, Synopsys та ін.

Вбудовані засоби візуалізації даних Teamcenter надають величезний набір функцій по перегляду і аналізу геометрії, анотуванню, захопленню зображення із заморожуванням видимого складу виробу, пошуку появ. Окрім вищеперелічених інструментів, для організації електронного узгодження і колективної роботи над проектом використовуються можливості роботи із заявками і завданнями, що включає вбудовані функції поштового клієнта і процедури Workflow з системою

автоматичної роздачі завдань. Також до складу Teamcenter входить набір модулів по роботі зі змінами, що широко використовує усі вищеописані можливості.

Усі ці (і не лише) модулі, що мають щонайпотужніші функціональні можливості, дозволяють створити інтегроване середовище взаємодії між усіма співробітниками організації.

Нижче схемний зображені напрями розвитку системи Teamcenter. Подібне розбиття дозволяє найзручніше для сприйняття уявити інформацію про систему Teamcenter.

При цьому в різних ситуаціях одночасно застосовуються функції, віднесені до різних напрямів розвитку, відбитих в діаграмі (рис. 5.1). Слід зупинитися на кожному блоці діаграми з метою створення «загального» уявлення про систему і визначення області, що описується в цій книзі. Далі опис піде в порядку «зліва направо» і зверху «вниз» по приведеній діаграмі.

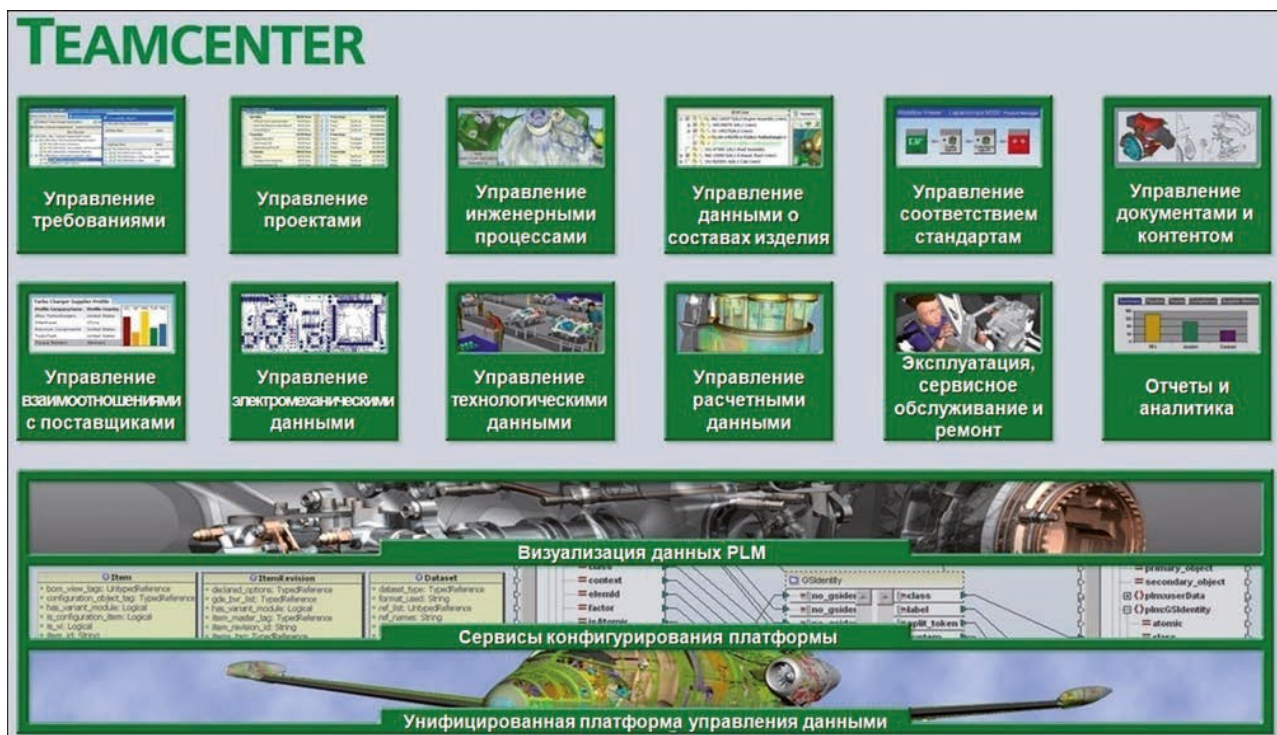


Рисунок 5.1 - Направлениям розвитку TEAM CENTER

Недолік планування і невиправдані очікування - проблеми, що виникають при реалізації більш ніж двох третіх від загального числа проектів. Додаток Менеджер вимог допомагає вирішити обидва ці завдання в найбільш критичній частині проектування - стадії ухвалення рішення, коли плани і очікування консолідуються у вигляді вимог.

Вимоги описують виріб, який планує купувати замовник. Вони зв'язують запити замовника (специфікації) з різними напрямками розробки виробу. Процес розробки нового або модифікації існуючого виробу ініціюється різними вимогами (вимогами стандартів, замовників, ринку). Наприклад, це вимоги по шумності продукту, вимоги по ергономіці, вимоги по ресурсу і т. п.

Виконання вимог стандартів до продукції (як вітчизняних, так і зарубіжних), що випускається, - гарантія сертифікації продукції. Щоб бути упевненими, що готовий виріб задовольнить усім цим вимогам, розробники працюють з ними упродовж усього процесу розробки. Як тільки виріб відповідає усім вимогам, воно готове до постачання і, що більше важливо, має функції і якість, що відповідають вимогам замовника.

Проект, що не повністю відповідає вимогам, приречений на вихід за бюджетні і тимчасові обмеження, на доопрацювання в останню мить, виконувани за допомогою титанічних зусиль колективу. Крім того, серйозна розбіжність результуючих і необхідних функціональних якостей може бути причиною скорочення об'єму, зниження вартості і навіть відміни замовлення.

Для попередження подібних труднощів існують два підходи: вимоги, їх розробка і визначення мають бути відправною точкою проекту, завдяки цьому багато вузьких місць можуть бути визначені ще до початку проектування; вимоги мають бути однозначно пов'язані з елементами конструкції, до яких вони пред'явлені. І ці зв'язки повинні підтримуватися на усіх етапах життєвого циклу виробу.

Об'єднуючи ці підходи, додаток Менеджер вимог, що відповідає за управління вимогами в Teamcenter, застосовується для: розробки вимог до виробу і його властивостей на початковій стадії проекту і аналізу взаємозв'язків між вимогами; ранньої прив'язки вимог до складових виробу; поточного супроводу вимог (уточнення, перегляду, розширення і т. п.), що можливо, оскільки кожна вимога представляється бізнес-об'єктом зі своїм набором атрибутивної інформації.

У результаті Менеджер вимог збільшує міру причетності замовника до усіх стадій процесу розробки і дозволяє істотно скоротити помилки. Як правило, вимоги оформляються у вигляді документу або набору документів. Менеджер вимог дозволяє завантажити їх у базу даних Teamcenter і представити у вигляді структурованого дерева об'єктів, що відповідають параграфам, абзацам або окремим пропозиціям початкового документу (чи декількох документів).

Система дає можливість додавати нові об'єкти в дерево вимог з документів, що знову поступають, які виникають в процесі життєвого циклу проектного виробу. Ці вимоги можуть бути пов'язані з існуючими об'єктами вимог і між собою, тим самим формуючи логічно зрозумілу структуру вимог, що відносяться до різних елементів структури виробу і процесів, пов'язаних з ними.

Важливою гідністю Менеджера вимог є можливість створення зв'язків вимог як з елементами складу виробу (складками, деталями, покупними виробами і т. п.) або їх функціональними блоками, так і з будь-якими процесами і іншими інформаційними об'єктами у базі даних системи Teamcenter. Це дозволяє оперативно робити аналіз впливу зміни вимог на склад виробу (функціональні блоки виробу) і зміни конструкції виробу на відповідність вимогам.

Управління проектами і календарне планування призначені для вирішення завдань, пов'язаних з плануванням, організацією і управлінням діями, спрямованими на досягнення поставлених цілей при заданих обмеженнях на використання ресурсів. Типовими завданнями, які вирішуються у рамках цього напрямку, являються : розробка планів виконання проектів, у тому числі розробка структурної декомпозиції

робіт проекту; планування потреб в ресурсах; відстежування ходу виконання робіт, порівняння поточного стану робіт і планованого; розрахунок і оптимізація планів з урахуванням обмежень на ресурси; формування управлінських рішень, пов'язаних з дією на процес або з коригуванням планів; можливість зв'язувати відомості про ставки і тарифи з тими або іншими ресурсами, щоб здійснювати контроль витрат - як загальний, так і детальний; формування повного уявлення про види і інтенсивність навантажень на робочі групи, а також ризиків для кожного конкретного проекту, пов'язаних з невиконанням плану; формування різних звітних документів. Teamcenter дозволяє не лише визначити план робіт за проектом і його тимчасові характеристики, але і зв'язати пункти плану проекту з елементами складу виробу або функціональними блоками.

Завдяки можливості об'єднання окремих проектів в програми система дозволяє робити аналіз завантаження ресурсів і термінів виконання як в розрізі проектів, так і в розрізі програм.

Teamcenter дає можливість створювати зв'язки планових подій з робочими процесами (Workflow), що автоматизує контроль і дозволяє зробити «прозорими» процеси взаємодії між підрозділами компанії, а укупі з системою управління проектами добитися ефективного використання усіх інженерних ресурсів.

Планування окремих проектів, плюс об'єднання проектів в програми, плюс планування і аналіз завантаження ресурсів, плюс управління завданнями і контроль виконання - усе це забезпечує управління процесами на підприємстві.

Головним завданням будь-якої PLM- системи є управління інформацією про виріб на усіх етапах його життєвого циклу. Управління інформацією неможливе без надійного зберігання даних. В якості сховища даних Teamcenter використовує широко поширені і добре зарекомендували себе системи управління базами даних Oracle, MS SQL Server і DB2.

Не менш важливим елементом управління інформацією є розмежування доступу до даних для забезпечення захисту комерційної таємниці або від несанкціонованої

зміни, руйнування і розкрадання даних, що зберігаються. Для цього в Teamcenter реалізована дуже гнучка система управління доступом до даних.

Ще одним важливим елементом є графічний інтерфейс з користувачем, що забезпечує відображення даних в зручному виді, а також надаючий набір функцій по створенню і редагуванню цих даних.

Teamcenter надає декілька таких інтерфейсів: повнофункціональне клієнтське застосування Повний/Товстий клієнт. Призначено для користувачів, що породжують інформацію (конструкторів, технологів і фахівців інших служб); заснований на веб-технологіях тонкий або веб-клієнт. Не вимагає установки на робочих місцях користувачів, налаштування і потужних обчислювальних ресурсів у користувача; доступ до даних з додатків САХ і MS Office. Teamcenter надає інтерфейси для найбільш поширених CAD- систем - NX, Solid Edge®, CATIA V4/V5, Pro/ENGINEER, SolidWorks, AutoCAD, Inventor та ін.

Таке різноманіття клієнтських застосувань дає можливість уніфікувати доступ до знань підприємства, виключити необхідність комплексного додаткового навчання співробітників, значно понизивши вартість володіння комплексом програмного забезпечення для автоматизації процесів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

Управління інженерними даними в Teamcenter засновано на концепції Мастер-моделі, що має на увазі породження усіх даних про виріб на основі початкової моделі, розробленої конструктором. На основі даних Мастер-моделі вибудовуються усі інженерні процеси, починаючи від створення креслення і закінчуючи процесами розробки оснащення, аналізу кінематики, динаміки, складання, розробки програм, що управляють, для верстатів з числовим програмним управлінням і т. д. (рис. 5.2).

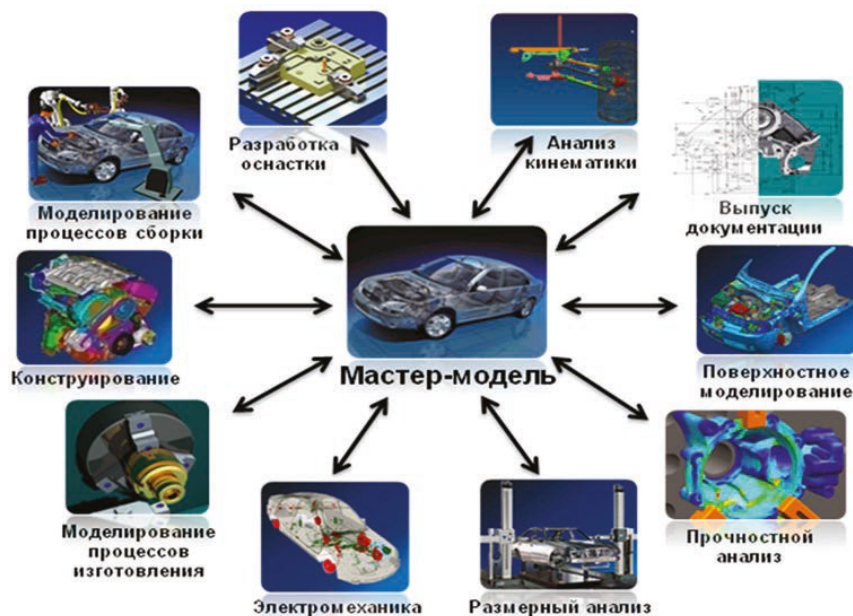


Рисунок 5.2 - Принцип Мастер-модели

Такий підхід забезпечує можливість: колективної роботи над виробом усіх задіяних в проекті фахівців, незалежно від «приналежності» їх до того або іншого підрозділу і територіального місця розташування; наскрізного проектування, з постійною підтримкою асоціативних зв'язків, зберіганням історії і контролем змін; управління даними з розмежуванням прав доступу, гарантією їх цілісності і унікальності у рамках єдиного інформаційного середовища підприємства, а також їх швидкого пошуку і зручної навігації по великих об'ємах інформації; організувати взаємодію через процедури Workflow, автоматизувати контроль і зробити «прозорими» процеси взаємодії між підрозділами компанії, а також організувати роботу між підрозділами і сторонніми постачальниками, працюючими в різних системах, у рамках єдиного інформаційного простору перед прийняттям.

Таким чином, створюється повний електронний опис виробу, здатний «чуйно» реагувати на ринкові умови, що постійно міняються.

Управління даними Про склад виробу

Склад виробу в системі Teamcenter представляється у вигляді ієрархічного дерева об'єктів, що відповідають складальним одиницям, деталям, стандартним виробам і т. п. Одной з найважливіших функцій будь-якої PLM- системи є управління цими складами, представлення єдиного складу виробу з різних точок зору (функціональний склад, конструкторський склад, технологічний склад, плановий склад та ін.), управління варіантними правилами (наприклад, варіанти комплектації), так звана модуляризация складу, управління виконаннями і альтернативними замінами.

Важливим чинником є наявність можливості управління складом виробу з урахуванням його змін, коли необхідно враховувати такі чинники, як дата введення/анулювання зміни, для яких кінцевих виробів діє ця зміна і для яких екземплярів виробів, що випускаються, застосовується.

Для досягнення вищеписаних цілей використовується додаток Менеджер структури (рис. 5.3), яке застосовується для створення, перегляду і зміни складу виробу.

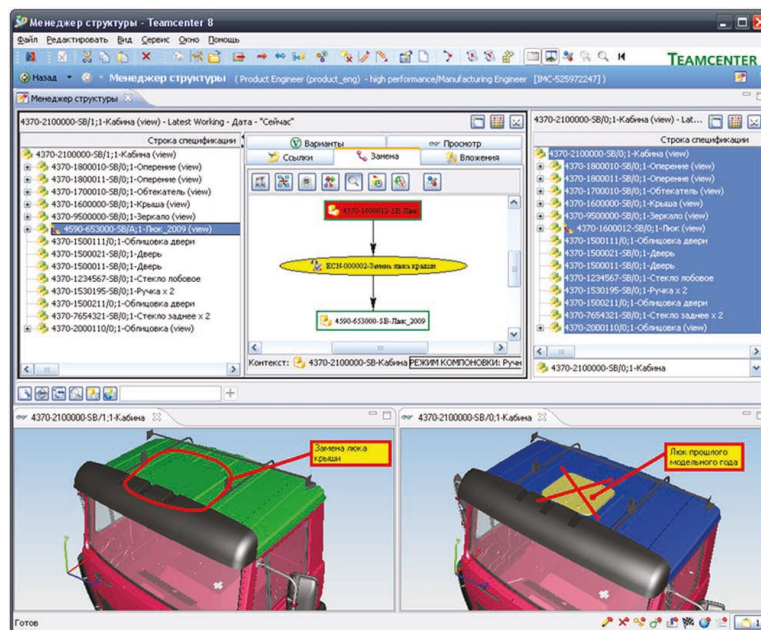


Рисунок 5.3 - Менеджер структура

Менеджер структури дозволяє створювати єдину універсальну структуру, що складається з усіх можливих компонентів, що застосовуються в різних виконаннях. Залежно від вибраних умов структура може трансформуватися у будь-яке задане виконання виробу.

Менеджер структури відображає структуру виробу в уніфікованому форматі багаторівневої (ієрархічної) структури, роблячи її простою і зручною для перегляду. Менеджер структури дозволяє переглядати існуючі графічні об'єкти, прив'язані до елементу структури, використовуючи вбудовану систему візуалізації. Це дає можливість легко ідентифікувати компонент не лише по його атрибутах або розташуванню в структурі, але і по його зовнішньому вигляду.

Елементами відображення складу виробу в Менеджерові структури завжди є версії(ревізії), що описують той або інший компонент. При створенні компонента завжди створюється перша версія. Далі в процесі життєвого циклу виробу може з'явитися необмежена кількість версій, які можуть відповідати як різним етапам життєвого циклу (проектування, технологічне опрацювання, виготовлення і т. д.), так і варіантам усередині цих етапів. Це передусім версії, що відповідають проведеним змінам, а також різні варіанти, що опрацьовуються в процесі проектування.

Уся інформація, що описує виріб на певному етапі (листування, креслення, специфікації, посилання на нормативні документи і т. д.), прив'язується до певної версії, утворюючи «електронний стан» цього виробу на цьому етапі. Від того, наскільки успішно справляється система з цими функціями, залежить не лише підвищення ефективності інженерних робіт, але і збільшення кількості виробів або їх модифікацій, які підприємство виводить на ринок.

Управління процесами Технологічної підготовки Виробництва

Технологічна підготовка виробництва (ТВП) включає величезний пласт завдань, що вимагають ретельного опрацювання, оптимізації і модернізації. Для автоматизації управління процесами технологічної підготовки виробництва потрібно програмний

комплекс, що включає інструментальні засоби для вирішення широкого спектру завдань, що стосуються основних етапів ТВП : розробки технологічних процесів; проектування технологічного оснащення і нестандартного устаткування; виготовлення засобів технологічного оснащення (оснащення і нестандартного устаткування); вивіряння і відладки запроектованої технології і виготовленого технологічного оснащення.

Teamcenter також надає інструменти для автоматизації ряду процесів, нерозривно пов'язаних з основними етапами ТВП. Про усі перераховані елементи детальніше нижче.

Транслюючи необхідність автоматизації управління процесами технологічної підготовки виробництва на рішеннях Siemens PLM Software, можна виділити один з основних напрямів інформаційної підтримки життєвого циклу виробу, який забезпечується системами Teamcenter, Tecnomatix і NX з метою підвищення ефективності наступних інженерних процесів :

1) підготовка виробництва агрегатного і остаточного складання;

2) Teamcenter у рамках цього напрямку забезпечує: визначення технологічного складу виробу; розробку циклограми процесів агрегатного і остаточного складання; призначення міжцехових маршрутів; розробку технологічних процесів агрегатного і остаточного складання; управління даними про засоби технологічного оснащення для відповідних процесів; централізоване зберігання нормативно-довідкової інформації; підтримку процесів, пов'язаних зі зміною конструкторсько-технологічної інформації.

3) Tecnomatix у рамках цього напрямку забезпечує: аналіз процесів складання, розроблених в системі Teamcenter, на якість собираемости; застосування механізмів моделювання дій людини.

4) NX у рамках цього напрямку забезпечує: розробку засобів технологічного оснащення із застосуванням різного роду інструментів автоматизації розрахунків і моделювання; моделювання і розробка процесів виготовлення виробів.

5) Teamcenter у рамках цього напрямку забезпечує: призначення міжцехових маршрутів; розробку технологічних процесів виготовлення (механообробка, штампування, кування, гальваніка, литво і т. п.); управління даними про засоби технологічного оснащення для відповідних процесів; централізоване зберігання нормативно-довідкової інформації; підтримку процесів, пов'язаних зі зміною конструкторсько-технологічної інформації.

6) NX у рамках цього напрямку забезпечує: розробку програм, що управляють, для устаткування з ЧПУ з двостороннім обміном інформацією між операціями технологічного процесу Teamcenter і програмою NX, що управляє; розробку засобів технологічного оснащення із застосуванням різного роду засобів автоматизації розрахунків і моделювання.

7) Tecnomatix у рамках цього напрямку забезпечує: імітаційне моделювання процесів обробки; управління лініями оброблювального устаткування; перевірку і аналіз кінематики механізмів штампів, моделювання обробки тиском; моделювання і оптимізація виробничих підрозділів.

8) Teamcenter у рамках цього напрямку забезпечує: управління даними про структуру підприємства, починаючи від підприємств, що входять в холдинг/корпорацію і закінчуючи устаткуванням і ресурсами, розташованими у виробничих підрозділах (цехах і ділянках), або їх аналогами у вигляді груп робочих центрів.

9) Tecnomatix у рамках цього напрямку забезпечує: моделювання 3D-макета виробничого підрозділу з двостороннім обміном інформацією з системою Teamcenter; аналіз компонування виробничих площ, вантажопотоку і собівартості переміщення (використовується інформація про технологічний маршрут номенклатури, необхідну місткість складів і необхідне підйомно-транспортне устаткування); забезпечення якості продукції, що випускається.

10) Teamcenter Visualization у рамках цього напрямку забезпечує: аналіз розмірних ланцюгів; аналіз статистичного розподілу полів допусків відносно об'єму

партії; виявлення компонентів, що роблять найбільший вплив на результуючі параметри розмірного ланцюга.

11) Tecnomatix у рамках цього напрямку забезпечує: розробку програм, що управляють, для контрольно-вимірювальних машин; зіставлення 3D-моделі з даними контролю якості.

12) Teamcenter у рамках цього напрямку забезпечує: управління даними про розрахунки/вимірах і їх централізоване зберігання; взаємозв'язки складу виробу, розрахункової структури і результатів розрахунку/виміру; моделювання і пусконаладка автоматизованих промислових систем, їх перевірка і оптимізація.

13) Teamcenter у рамках цього напрямку забезпечує: централізоване зберігання виробів, технологічних процесів, нормативно-довідкової і іншої інформації, необхідної для моделювання, перевірки і оптимізації промислових систем в Tecnomatix.

14) Tecnomatix у рамках цього напрямку забезпечує: розробку, симуляцію, оптимізацію, аналіз і off - line- програмування роботизованих і автоматизованих технологічних процесів складання, зварювання, клепки, свердління, забарвлення і т. п.; симуляцію роботи лінії штампового і пресового устаткування; управління процесами виробництва і їх оптимізація.

15) Teamcenter у рамках цього напрямку забезпечує: двосторонній обмін даними між Teamcenter і ERP- системами.

16) NX у рамках цього напрямку забезпечує: NX CAM + Sinumerik VNCK - оптимізацію і симуляцію процесів обробки з урахуванням конкретного устаткування, матеріалу і інструменту.

17) Tecnomatix у рамках цього напрямку забезпечує: моделювання складних виробничих систем і стратегій управління; побудова об'єктно-орієнтованих моделей, що включають виробничі, логістичні і бізнес-процеси; аналіз і оптимізацію продуктивності, ресурсів і вузьких місць на виробництві.

Літературні джерела:

1. Smid P. CNC control setup for milling and turning: mastering CNC control systems. – Industrial Press Inc., 2010.
2. Hodges B. CNC part programming workbook. – Macmillan, 1994.
3. Leu, Ming & Tao, Wenjin & Armani, Amir & Kolan, Krishna. (2017). NX 12 for Engineering Design.