

ПРОГРАМНИ СРЕДИ И ПРИНЦИПИ ЗА АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ТРЪБОПРОВОДНИ СИСТЕМИ

доц. д-р инж. Анета Георгиева

Технически университет - Варна

доц. д-р инж. Мария Консулова - Бакалова

Технически университет - Варна

инж. Пламен Китипов

***Резюме:** В статията е разгледан въпроса за приложение на съвременните програмни среди за автоматизирано проектиране на тръбопроводни системи, отчитайки специфичните особености при проектирането на този вид инженерно-технически обекти. Направен е обзор на предлаганите на пазара CAD системи, като са посочени техните основни функционалности. Изведени са основните характеристики, определящи избора на програмна среда за проектиране. Посочени са тенденциите на развитие на системите за автоматизирано проектиране.*

***Ключови думи:** автоматизирано проектиране, тръбопроводни системи, програмни среди, 3D моделиране*

SOFTWARE ENVIRONMENTS AND PRINCIPLES FOR AUTOMATED DESIGN OF PIPELINE SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Eng. Aneta Georgieva

Technical University - Varna

Assoc. Prof. Dr. Eng. Maria Konsulova - Bakalova

Technical University - Varna

Eng. Plamen Kitipov

***Abstract:** The article discusses the issue of applying modern software environments for automated design of pipeline systems, taking into account the specific features of the design of this type of engineering and technical objects. An overview of the CAD systems offered on the market is made, indicating their main functionalities. The main characteristics determining the choice of a software environment for design are derived. The development trends of automated design systems are indicated.*

***Keywords:** computer aided design, piping systems, programming environments, 3D modeling*

I. Увод

Тръбопроводните системи намират широко приложение в различни сфери на инженерната дейност (промишленост, строителството, селско стопанство и др.), като основната им функция е да транспортират различни видове флуиди (течности и газове) и насипни материали. За безпроблемното им изграждане и експлоатацията от важно

значение е качеството на изготвената проектна документация. При проектирането им е необходимо да се спазват редица изисквания за геометрични, механични, якостни, деформационни, хидравлични, топлофизични, експлоатационни и др. характеристики. Качеството на изготвеното проектно решение пряко влияе върху безопасността, ефективността и експлоатационните разходи на проектираната тръбопроводна система.

Като основен инструмент в процеса на проектиране на тръбопроводни системи в съвременната проектантска дейност се използват софтуерни програми за автоматизирано проектиране, чрез които се повишава ефективността, точността и надеждността на проектите решения. Развитието на компютърните технологии води до появата на нови софтуерни продукти за автоматизирано проектиране, базирани на различни програмни среди, принципи на работа, функционални възможности и области на приложение. Изборът на подходяща програмна среда за проектиране на определен вид тръбопроводна система зависи от основните функционални и технологични характеристики на системата. Това изисква познаване не само на системата, която е предмет на проектиране, но и възможностите на различните видове програмни среди, както по отношение на инструментите за проектиране, така и сферата на приложение.

2. Специфични особености на процеса на проектиране на тръбопроводни системи

По своята същност проектантската дейност е творчески процес, при който се изисква много добро познаване на обекта на проектиране, което е една от предпоставките за създаване на модел, с характеристики близки до реалния обект. Всеки процес на проектиране се състои в многократно обработка, преобразуване и допълване на първичното описание, както и отстраняване на грешки и добавяне на оптимизации [1].

Процесът на проектиране на тръбопроводни системи включва специфични дейности, които го отличават от проектирането на други видове обекти. При разработването на проектно решение на тръбна система е необходимо:

- да се изготви графично решение за геометричното разположение в пространството на елементите на тръбната система. Използват се програмни среди за автоматизирано проектиране за създаване на 2D и 3D чертежи и аксонометрични схеми;
- проверка за пресичания в резултат на грешки при разминаването на тръбните участъци един спрямо друг, както и с други инженерни инсталации и конструктивни елементи;
- определяне на вида и материала на тръбите, както и съответните им технически характеристики от каталог на производител;
- определяне вида на тръбните фитинги и начин на свързване;
- избор на арматури (шибърни кранове, сферични кранове, контролни клапани, филтри, редуциращи вентили, разходомери и др.) и съоръжения (помпи, резервоари);
- избор на вида на съединяване на тръбните елементи - заваръчни съединения, фланшови съединения, муфени съединения, термична връзка /заварка/;
- оразмеряване на тръбопровод според:
 - вида на флуида (газове, течности, двуфазни и многофазни флуиди) и неговите физични и хидравлични параметри;

- математически зависимости за определяне на диаметри, скорости, наклони, загуби на налягане и топлина и др.

- извършване на анализ на напреженията в тръбопроводите. Анализът на напрежението в тръбопроводите е важно средство за осигуряване на безопасна и надеждна работа на тръбопроводните системи. Определянето на разпределението на напреженията и деформациите на тръбните елементи при различни експлоатационни условия позволява да се направи оценка на носещата способност и безопасността на този вид елементи. Анализът на напрежението включва статичен анализ, динамичен анализ и анализ на температурно въздействие. Статичният анализ разглежда предимно напрежението и деформацията на тръбата в статично състояние; динамичният анализ изследва реакцията на тръбата на динамични натоварвания, като вибрации, удар и др.; а анализът на температурно въздействие разглежда ефекта от температурните промени върху напрегнатото състояние на тръбопровода. Използваните методи за анализ на напрежението в тръбопровода са: метода на крайните елементи (FEM), метода на крайните разлики (FDM) и аналитичния метод. Сред тях методът на крайните елементи се използва широко за анализ на напрежението в сложни тръбопроводни системи поради високата си точност и широка приложимост [4,6];

- съставяне на вариантни решения;
- оптимизиране на проектното решение. Оптимални решения по отношение на икономия на енергия, намалено потребление и дългосрочна стабилна работа на тръбопроводната система могат да бъдат постигнати чрез коригиране на разположението на тръбопровода, оптимизиране на конфигурацията на помпената станция, избор на подходящи тръби и фитинги;
- съответствие с действащата нормативна база и стандарти за проектиране на тръбопроводни системи (международни, национални).

Освен голямото разнообразие от дейности, участващи в проектантския процес на тръбопроводни системи, трябва да се има предвид и непрекъснато увеличаващото се предлагане от нови видове тръби, фасонни части, арматури, закрепващи устройства и др., технологии за монтаж, изолации и защита на тръбите от агресивна среда, както и променящата се нормативна база, което води до увеличаване на обема от информация, с която трябва да се работи при съставяне на проектното решение и съответната проектна документация на даден обект.

Софтуерите системи за автоматизирано проектиране отдавна са доказали своята ефективност при решаването на различни проектантски задачи, като средство за намаляване на срока за проектиране, увеличаване на надеждността на проектното решение и качеството на изготвената проектна документация. Развитието в сферата на информационните технологии доведе до развитие на съществуващите и появата на нови програмни среди за автоматизирано проектиране.

3. Видове програмни среди за автоматизирано проектиране на тръбопроводни системи

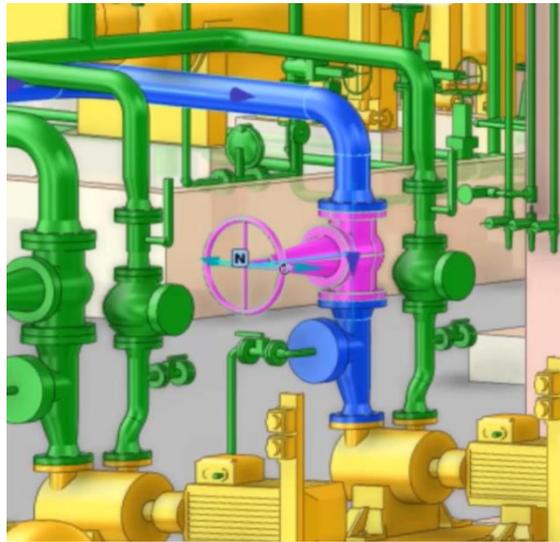
Най-широко използваните програмни среди за автоматизирано проектиране на тръбопроводни системи са CAD (Computer-Aided Design) и CAE (Computer-Aided Engineering) програми. Те дават възможност за 3D моделиране, анализ и симулация на

работните състояния на проектираните обекти. Базиран на тези програмни среди са редица софтуерни решения, които могат да бъдат разделени на няколко основни категории според техните възможности и приложение [8,9,10].

а/ Цялостни платформи за проектиране на тръбни системи

Това са всеобхватни софтуерни решения за проектиране, които интегрират в един общ 3D модел тръбопроводните системи от различни инженерни специалности, технологично оборудване и носещи конструктивни елементи.

- AVEVA E3D Design & Everything3D е софтуер, диктуващ индустриалните стандарти при проектиране в нефтената и газовата промишленост, енергетиката и корабостроенето. Включва инструменти за детайлно 3D моделиране, проверка за пресичания и автоматизирано генериране на чертежи и спецификации (фиг.1) [7].



Фиг.1. 3D модел на тръбна система в AVEVA E3D Design [12]

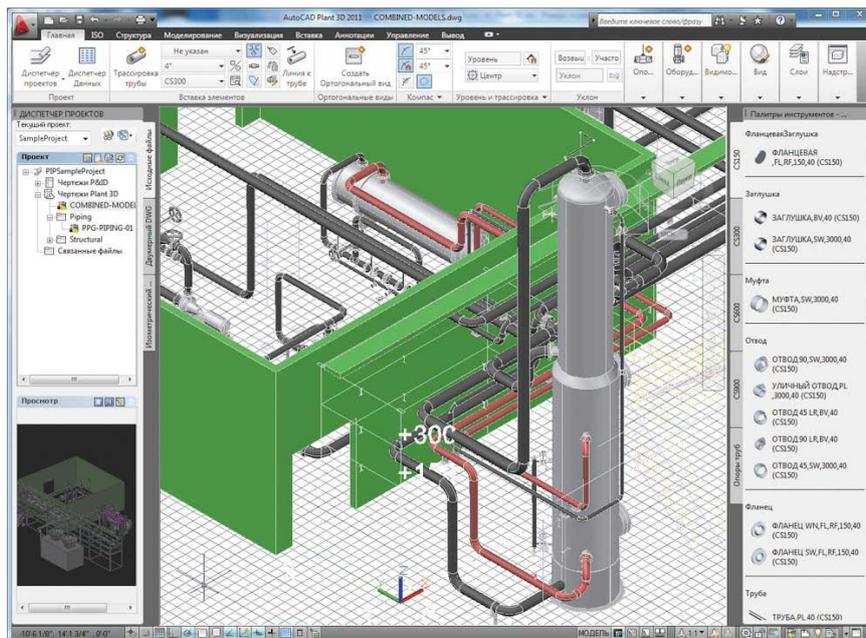
- Intergraph Smart 3D (SmartPlant 3D) е обектно-ориентирана платформа за проектиране на промишлени инсталации, която позволява паралелна работа на различни екипи в единен модел. Използва се широко в енергетиката, химическата и минната промишленост.

- Bentley OpenPlant е част от платформата Bentley Systems и предлага интегрирана среда за 2D и 3D проектиране на тръбопроводи с оперативна съвместимост с други продукти на Bentley, използвани в инфраструктурното проектиране.

- SolidWorks Routing: Модул в рамките на SOLIDWORKS, който позволява бързо и лесно създаване на тръбни трасета на различни видове тръби и електрически кабели. Подходящ е за проектиране на машини и оборудване.

б/ CAD-базирани приложения

Това са специализирани софтуерни инструменти, които работят върху или се интегрират с базови CAD платформи като AutoCAD. Подходящи са за по-малки и средни проекти, тъй като са по-достъпни и по-лесни за употреба (фиг.2).



Фиг.2. Работно пространство в AutoCAD Plant 3D [11]

- AutoCAD Plant 3D е част от пакета на Autodesk и е напълно интегриран в базовата среда на AutoCAD. Предоставя инструменти за 3D проектиране, създаване на ортогонални и изометрични чертежи, както и схеми P&ID (Piping and Instrumentation Diagrams).

- CADWorx Plant Professional е разработен от Hexagon, CADWorx и е приложение, което се интегрира с AutoCAD и BricsCAD. Предлага 3D моделиране на тръбопроводи, автоматизирано генериране на изометрии и спецификации. Отличава се със своята гъвкавост и по-ниска цена в сравнение с големите платформи.

в/ Специализирани софтуери за анализ и изчисления

Към тази група се отнасят софтуери, чрез които се извършват сложни инженерни анализи на вече проектирани системи.

- CAESAR II е индустриален стандарт за анализ на напреженията и деформациите на тръбопроводни системи при натоварвания от налягане, температура, вятър, сеизмичност и други фактори.

- AutoPIPE (Bentley) предлага всеобхватен анализ на напреженията и натоварванията в тръбопроводни системи, като се интегрира с други продукти на Bentley.

- AFT Fathom / Arrow / Impulse са продукти на Applied Flow Technology, които се използват за хидравличен анализ на флуидния поток в тръбите – изчисляване на налягане, дебит, загуби на налягане, оразмеряване на помпи и анализ на хидравличен удар.

- EPANET е безплатен софтуер, разработен от Агенцията за опазване на околната среда на САЩ (EPA), който е стандарт за моделиране на водоснабдителни мрежи.

Голямото предлагане на пазара на софтуерни програми за автоматизирано проектиране с различни функционални възможности затруднява избора на програмна среда за проектиране на конкретен вид обект.

В таблица 1 е представена съпоставка на три от програмните среди по три основни критерия – основна сфера на приложение, ключови функционалности и ценови модел.

Таблица 1

Критерий	Autodesk AutoCAD Plant 3D	AVEVA E3D / Hexagon Smart 3D	Bentley OpenPlant
Основно приложение	Малки до средни проекти, модернизация на съществуващи инсталации, модулни системи.	Големи, комплексни проекти като АЕЦ, рафинерии, химически заводи, офшорни платформи.	Средни до големи проекти, особено силни в инфраструктурата и интеграцията с гражданско строителство.
Ключови функционалности	Бързо създаване на 3D модели, P&ID диаграми и автоматично генериране на изометрични и ортогонални чертежи.	Изключително мощно управление на данни, работа на няколко екипа от цял свят по един модел, детайлен контрол на пресичания	Висока степен на съвместимост с други продукти за анализ и симулация на Bentley.
Ценови модел	Абонамент. Сравнително нисък начален разход и предвидими годишни разходи.	Годишна поддръжка, лицензи. Изисква висока първоначална инвестиция, която се изплаща при дългосрочни и мащабни проекти.	Предлагат се както лицензи, така и абонаменти, което позволява по-голяма гъвкавост.

Различните CAD системи решават разнообразни проблеми в проектната дейност Те могат да бъдат разделени най-общо в три групи според степента на сложност на изпълняваните функции и задачи:

- CAD системи от ниско ниво - предназначени са за 2D проектиране и чертане, както и за създаване на индивидуални 3D модели без възможност за работа със сглобки, не са тясно специализирани и могат да се използват при създаване на проекти в област строителство, машиностроене, електротехника и др.;

- CAD системи от средно ниво - програми за 3D моделиране на обекти, за извършване на изчисления и автоматизиране на проектирането на електрически, хидравлични и други инженерни системи. Данните се съхраняват или в стандартна файлова система, или в унифицирана електронна среда за управление на документи и данни (PDM и PLM системи).

- CAD системи от високо ниво - предназначени са за работа със сложни обекти (самолетостроене, корабостроене и др.). Функционално са идентични със системите от средно ниво, но използват напълно различна архитектура и работни алгоритми.

В таблица 2 са представени по степен на сложност някои от предлаганите на пазара програмни среди за автоматизирано проектиране [5].

Таблица 2

Ниво на сложност на изпълняваните функции и задачи от CAD системата	Продукт	Производител
Високо	Unigraphics	EDS Unigraphics
	CATIA	Dassault Systemes
Средно	Creo Parametric (Pro/Engineer)	PTC Inc. (Parametric Technology Corporation)
	Solid Edge	EDS
	SolidWorks	SolidWorks (Dassault Systemes)
	Cimatron	Cimatron
	AutoCAD	Autodesk Ltd.
	КОПИАС-3D	Аскон
	T-FlexCAD	Top Systems
	APM WinMachine	НИЦ Автоматизирано проектиране машин
КРЕДО	НИЦ АСК	
Ниско	АДЕМ	Omega Adem Tehnologiec
	TurboCAD	IMSI
	DataCAD	DataCAD
	Caddy	Ziegler Informatics
	bCAD	Pro Grup
	Спрут	Sprut Technology
	Кредо	АСК

При избора на дадена програмна среда за автоматизирано проектиране е важно да се вземат предвид обхвата и спецификите на проектираните обекти, както и вида на потребителя. Потребителите могат да бъдат, както отделни проектантски организации, така и проектантски бюра към производствени комплекси. Проектантските организации по-често се занимават с разработване на цялостни проекти на нови обекти и големи промишлени комплекси, докато проектантските бюра към производствени структури разработват предимно проектни решения за реконструкция на съществуващи системи или проектират отделни инсталации.

Характеристиките на софтуерните продукти, които трябва да се вземат под внимание са възможностите за обмен на данни с други CAD системи, създаване на технологични блок-схеми, комплектоване на оборудването, проектиране на тръбопроводи, създаване на изометрични чертежи, проектиране на контролно-измервателни уреди и системи, обслужващи конструкции (стълбища, платформи, опори, окачвачи и др.), извършване на автоматична проверка за грешки при пресичания на тръбни участъци с други инженерни инсталации и конструктивни елементи.

При избора на софтуер трябва да се отчита нарастващата роля на тримерното проектиране, обусловена от необходимостта да се създават 3D визуализации на обектите, демонстрационни видеоклипове и анимации.

Видът на базовата платформа, на която работи всяка от CAD системите, определя способността за създаване на унифицирана среда за екипна работа при проектиране и сътрудничество, както в самото проектантско бюро, така и със свързани с него по предмет на дейност други организации.

Друг важен критерий при избора на програмна среда за проектиране е цената на софтуера, която зависи броя и сложността на вградените функции. От по-висок ценови клас са модулите на AVEVA и Intergraph, поради по-голямата им функционалност в сравнение с тези от семейството CADWorx. Освен цената на самия софтуерен продукт е необходимо да се вземе предвид и цената на базовата платформа, системата за управление на бази данни, както и разходите за обучение, подновяване на лиценз, техническа поддръжка и др.

Повечето програмни среди от среден клас – Bentley Plant, CADWorx и Plant-4D – използват стандартни система за управление на бази данни: Oracle, MS SQL Server и MS Access. Други като AVEVA използват собствена обектно-ориентирана база данни DAVACON. [3]

Неразделна част от проектантския процес е усвояването на конкретен софтуер, както и участието в допълнителните надграждащи обучения, свързани с развитието на програмните среди за автоматизирано проектиране. Колкото програмната среда е по-комплексна, с голяма функционалност и интуитивност, толкова по-голяма продължителност на обучение е необходима.

За обучителния процес има значение и езика на интерфейса, който в повечето случаи е английски. Обучението и техническата поддръжка определят ефективността на работа с всяка програмна среда. [2]

4.Тенденции в развитието на програмните среди за автоматизирано проектиране на тръбопроводни системи.

Основни тенденции, които се наблюдават в усъвършенстване на възможностите на програмните системи за автоматизирано проектиране са:

- Използване на облачни технологии - Облачно-базирани платформи CAD/CAE улесняват съвместната работа в реално време между проектантски екипи, намиращи се на различни географски местоположения. Те предлагат гъвкави абонаментни планове и достъп от всяко устройство с интернет връзка, намалявайки нуждата от мощни и скъпи работни станции;

- Интегриране на концепцията BIM (Building Information modeling), която дава възможност да се управлява интелигентно информацията за даден обект през целия негов жизнен цикъл от етапа на проектиране, изграждане и до края на експлоатационния му период [2].

- Дигитални двойници (Digital Twins) – технология, даваща възможност за създаване на виртуален еквивалент на физическата тръбопроводна система. Този дигитален модел се обновява в реално време с данни от сензори, монтирани на реалния обект. Този подход дава възможност инженерите да симулират различни експлоатационни сценарии (промени в налягане, температура, вида на флуида) и да анализират поведението на системата, без да се уврежда реалната тръбна мрежа. Чрез анализ на данните при дигиталния двойник може да се предвидят потенциални проблеми

и повреди, което позволява да се планира ремонтни дейности преди възникването на сериозни аварии. Тази технология позволява и оптимизация на производителността, тъй като тръбопроводните системи могат да бъдат проектирани с голяма точност за максимална ефективност и минимални оперативни разходи.

- интегриране в CAD базовите програмни среди на все по-нови САМ, PDM, GIS и САЕ приложения;

- интегриране на модули на Изкуствен интелект (AI) и Машинно обучение (ML), което създава възможност за генеративен дизайн, при който AI алгоритмите могат да генерират стотици варианти за трасета на тръбопроводи, базирани на предварително зададени норми и стандарти за проектиране, параметри като начална и крайна точка, минимален радиус на огъване и избягване на пресичания. Машинното обучение позволява да се извършва интелигентен анализ на огромни по обем данни от предишни проекти, с което помага вземането на по-добри и информирани решения в настоящи и бъдещи проекти.

Заключение

Проектирането на тръбопроводи е сложен и систематичен процес, включващ множество елементи и специализирани технологии. Чрез правилно използване на софтуер за проектиране, спазване на съответните норми и стандарти, точни хидравлични изчисления и анализ на напреженията, внимателен подбор на материали и фитинги за тръбопроводите, разумно планиране на трасета на тръбопроводите, точни схематични диаграми и чертежи, може да се гарантира безопасността, рентабилността, високата ефективност и лесна поддръжка на проектираната тръбопроводна система.

С развитието на информационните технологии непрекъснато се усъвършенстват и програмните среди за автоматизирано проектиране на тръбопроводни системи. Въпреки интегрирането в тях на все по-интелигентни модули и инструменти за проектиране, те не могат да заменят творческата дейност на инженера-проектант, а по-скоро да улеснят извършването на еднотипни операции и обработката на голямо количество данни.

Литература

1. Бакалова М. Автоматизация на инженерния труд. Автоматизирано проектиране и анализ. Геа принт-Варна, 2021, ISBN 978-619-184-047-2, COBISS.BG-ID - 47761672, 235 с.
2. Георгиева А. Противопожарные водоснабдительные системы зданий. 3D моделирование систем. Palmarium Academic Publishing, 2013, 90 с. ISBN 978-3-659-98313-9, (online),
3. Жусупов М.В., А.В. Григорьев. Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2016): сборник научных трудов I научно-практической конференции. 16-17 ноября 2016 г. Донецк, ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», 2016, с. 121-124
4. Мелькумов В.Н. Компьютерные технологии систем теплогазоснабжения и вентиляции: Воронеж: Изд. ВГТУ, 2021. 19 с.
5. Пунько, А. И. Системы автоматизированного проектирования. Минск : БГАТУ, 2024. – 104 с. ISBN 978-985-25-0272-6

6. Федоров, А.Л. Основы автоматизированного проектирования объектов и процессов в газонефтохимической отрасли. Тольяти: Изд. ТГУ, 2019, 131 с. ISBN 97-5-8259-1420-6
7. Corisco L. Piping Modeling in AVEVA E3D: A Detailed Approach for Industrial Projects. 2024 <https://www.linkedin.com/pulse/piping-modeling-aveva-e3d-detailed-approach-projects-luis-corisco-eolae>
8. Deng Y.M.,G. A. Britton,Y. C. Lam,S. B. Tor &Y. S. Ma. Feature-based CAD-CAE integration model for injection-moulded product design. International Journal of Production Research Volume 40, Issue 15 2010. Pages 3737-3750. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207540210141643>
9. Kuang-Hua Chang. Product Design Modeling using CAD/CAE. The Computer Aided Engineering Design Series. 2014 Elsevier Inc. p.439, ISBN: 978-0-12-398513-2
10. Lyashenko V., S. Sotnik, V. Manakov. Modern CAD/CAM/CAE Systems: Brief Overview. International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) ISSN: 2643-640X Vol. 5 Issue 11, 2021, Pages: 32-40. <http://ijeais.org/wp-content/uploads/2021/11/IJEAIS211104.pdf>
11. <https://sapr.ru/archive/sg/2011/3/5/11b.jpg>
12. <https://www.aveva.com/en/products/e3d-design> AVEVA™ E3D Design