

## КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ И КОНСТРУКТОРСКО ДОКУМЕНТИРАНЕ НА ДЕТАЙЛИ И ВЪЗЛИ

Татяна М.Мечкарова<sup>1</sup>, Александрина И.Банкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Технически университет-Варна  
Катедра „Колеж в структурата на  
Технически университет-Варна“

<sup>2</sup> Технически университет-Варна  
Катедра „Индустиален дизайн“

---

**РЕЗЮМЕ** — В настоящата статия са изследвани основните етапи на конструиране при съвременните методи за компютърно моделиране и пресмятане на обекти.

**Ключови думи:** триизмерно компютърно моделиране, компютърни симулативни аналитични пресмятания.

---

## COMPUTER MODELING AND DESIGN OF PARTS AND ASSEMBLIES

Tatiana M.Mechkarova<sup>1</sup>, Aleksandrina Bankova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Varna

<sup>2</sup> Technical University of Varna

---

**ABSTRACT**— This article has studied basic etaps of design modern methods of computer modeling and simulation of 3d objects

**Keywords:** computer modeling and simulation of 3d objects

---

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Компютърното моделиране в двуизмерно или триизмерно пространство на детайли и възли е едно съвременно средство за проектиране, анализ и симулация на различни обекти и процеси, с които разполагат инженерите, отговорни за разработката и функционирането на сложни технологични устройства и производства. То дава възможност на инженера проектант, да разработва безброй технологични варианти на изделието, да симулира компютърно реални експерименти с триизмерно генерираните обекти, което е особено полезно в тези случаи, когато работата с реалния обект практически е невъзможно или нецелесъобразно. Същността на методологията на компютърното моделиране се състои в замяна на изходния технологичен обект с неговия "образ" – компютърно генериран триизмерен или двуизмерен модел и последващо изучаване на модела с помощта на компютърно реализирани изчислително-логически алгоритми.[1,2,3]

Компютърното моделиране е процес на конструиране модел на реален обект (система) и постановка на изчислителен експеримент на този модел, с цел определяне или изследване

поведението на системата, или оценяване на различни стратегии (алгоритми), обезпечаващи функционирането на дадената система. В такъв вид, процеса на компютърно моделиране включва и конструиране на модели, и тяхното използване за решаване на поставените задачи: анализ, изследване, оптимизация или синтез (проектиране) на технологичния процес и оборудване. Всички тези задачи са много сложни и включват в себе си почти безкраен брой елементи, променливи, параметри, ограничения и т.н. Опитвайки се да построим точен модел, можем да опитаем да включим всички тези елементите (явления) и времето, събирайки малките факти, отнасящи се за произволна ситуация, и установим връзките помежду им. Сходството на моделите с реалния обект, който тя отразява, се нарича степен на изоморфизъм. За да бъде изоморфен, модела е длъжен да удовлетвори две условия:[4,5,6]

- Трябва да съществува еднозначно съотношение между елементите на модела и елементите на представяния обект;

- Трябва да се съхрани точното съотношения или взаимоотношение между елементите.

Целта на настоящата статия е запознаване с възможностите на компютърно симулативните методи за изследване и анализ на реални обекти, което е особено полезно в тези случаи, когато работата с реалния обект практически е невъзможно или нецелесъобразно.

## 2. МЕТОДОЛОГИЯ НА КОМПЮТЪРНОТО МОДЕЛИРАНЕ

Тримерно моделиране е процес от тримерната компютърна графика, който представлява изработка на математическа мрежа, представляваща който и да е триизмерен обект посредством специализиран софтуер. Продуктът се нарича 3D-модел.

Компютърната симулация е вид симулация, провеждана на един или множество компютри, свързани в компютърна мрежа, с която се симулира абстрактен модел на определена система. Компютърните симулации са станали важна част от математическото моделиране на много естествени системи във физиката, астрофизиката, химията, биологията, както и на обществени системи в икономиката, психологията, социалните науки и инженерството. Терминът „моделиране“ се отнася до процеса на развитие на математическо представяне на обекта на модела, докато терминът „симулация“ касае по-скоро обработването на информацията чрез алгоритми и изчислителни процедури за решаване на математическите уравнения, произлезли от модела — т.е. компютърната симулация на една система е нейното представяне чрез задействането на модела. Тя служи за изследване и получаване на нови знания за системата, когато тя е твърде сложна за аналитично решение. [5,6]

Компютърните симулации използват компютърни програми, които могат да работят от няколко минути до паралелни изчисления в компютърни мрежи, които могат да продължат с дни. Мащабът на симулираните по този начин събития далеч надминава мащаба, постижим с традиционното математическо моделиране с писалка и хартия.

При изучаването на сложни технологични обекти, процеси, апарати и физико химични явления, не може точно да се отчетат всички фактори: тези които се указват съществени и тези като могат да се пренебрегнат. [6]

В процеса на компютърното моделиране имаме работа с три обекта: система (реална, проектируема, въображаема), математически модел и компютърна програма, реализиращ алгоритъм за решаване уравненията на модела. [6]

Традиционна схема за компютърното моделиране, като единен процес за изграждане и изследване на модели, имащи съответстващо програмно осигуряване, може да се представи в следния вид:

- Определяне на обекта установяване на границите, ограниченията и измерителната ефективност на функциониране на обекта: Проектиране на сферичен покрив на резервоар с

диаметър Ø28m. Височина на монтаж 16m, разположение на открито при умерени географски ширини и морски климат.

- Формализация на обекта (построяване на моделите на детайли и възли), преход от реалния обект към някаква логическа схема (абстрахиране): фиг. 1;

- Софтуерно сглобяване на елементите от модела и тяхното напасване в общ триизмерен вид: фиг. 2;

- Подготовка на данните избора на данни, необходими за построения модел, и представянето и в съответстваща форма: табл.1;

- Разработка на моделиращи алгоритми и програми за електронно изчислителна машина: фиг. 3;

- Извършване на симулационен анализ с подходящ софтуер на напрегнато деформационното състояние на възела при въведени подходящи работни условия и среда: фиг. 4;

- Съставяне на конструкторска документация: фиг. 5;

- оценка на адекватността - повишаване до приемливо ниво степна на достоверност, по която може да се съди за коректните изводи за реалния обект, получени въз основата на обръщение към модела;

За да се извърши проектиране и изработване на покрив на резервоар е необходимо да се формулират основните му технологични параметри като;

Тип на покрива – сферичен , щитовиден , самоносещ се.

Вътрешен диаметър на покрива:

- D=28,0 m

Радиус на сферата

- Rr=33,6 m

Стрелка (f)

- 3,1m

Брой на покривните щитове / ребра

- n = 32 бр

Работна температура

- (+40) 0C

Изчислителна температура

- (+40) 0C

Материал

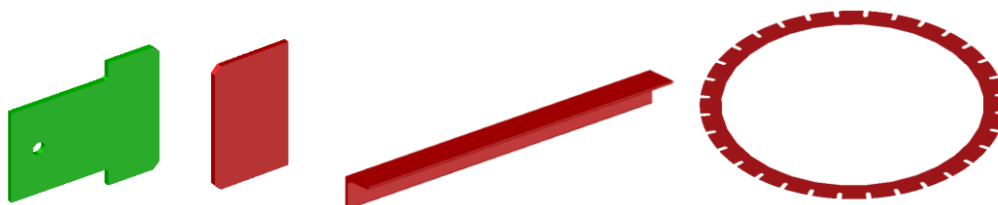
- St52-3 или ASTM A537Gr.70.

Стоманата по БДС EN10025 (осъвременен DIN17100) – S355JR G3

Прибавка за корозия

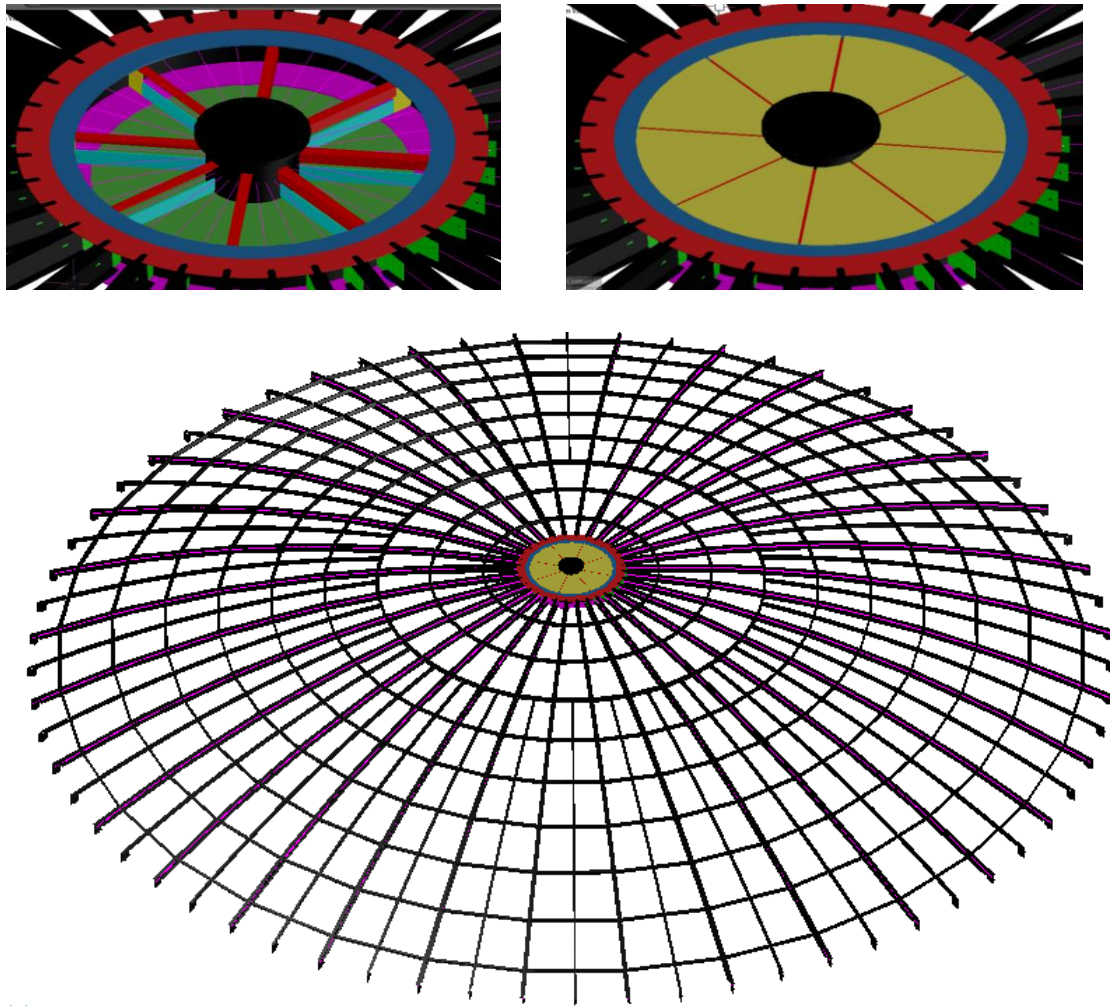
- 1 mm

Следващ етап е компютърно триизмерно моделиране на елементите на покрива, което е необходимо за аналитичните пресмятания чрез компютърен симулативен анализ. Част от моделираните елементи са показани на фиг.1.



Фиг. 1. Компютърно моделиране на детайлите от покрива.

Следва сглобяване и напасване на отделните елементи във възли и цялостно сглобяване на покрива (фиг. 2)



Фиг. 2 Точно позициониране и сглобяване на елементите от модела в общ възел.

На базата на разработения компютърен модел се извършва аналитичен расчет съпроводен със симулативен анализ със специализиран софтуер на напрегнатото и деформационно състояние на покрива, част от който е поместен по надолу:

- Схема на натоварване и разположение на товарите:

$G_n = 0.72 \text{ kPa}$  - натоварване от ламарина, профили, оборудване

$S_n = 1.2 \text{ kPa}$  - натоварване от сняг

$W_n = 0.6 \text{ kPa}$  – нормативно натоварване от вятър за района

$Q_{nm} = 350 \text{ kg/m}^2$  ( $3.5 \text{ kPa}$ ) - равномерно разпределен товар от оборудване и монтажници

$P_n = 1 \text{ kN}$  концентриран товар от монтажници

- Комбинации от натоварване (експлоатационно състояние):

$$q_1 = \gamma_{fg} \cdot g_n + \gamma_{ft} \cdot g_m + \psi_c \cdot (\gamma_{fv} \cdot P_v^n + \gamma_s \cdot s_n) \downarrow,$$

$$q_2 = \gamma_{fa} \cdot P_o^n + \gamma_{fv} \cdot W_n - \gamma'_{fg} \cdot (g_n + g_m) \uparrow,$$

$g_n$  - нормативната стойност за натоварване от собственото тегло на покривната конструкция и обшивка

$S_n$  - нормативна стойност на натоварването от сняг в района на изграждане на резервоара

$\gamma_{fg} = 1,1$  - коефициент за натоварване от покривна конструкция и обшивка;

$\gamma = 0,9$  - коефициент за натоварване от покривно тегло, когато то действа благоприятно;

$\psi_s$  - коефициент за съчетание на 2-е или 3-и кратковременни натоварвания

$$q_1 = 1,1 \cdot 0,72 + 1 \cdot (1,4 \cdot 1,2) = 2,47 \text{ kPa} \downarrow$$

$$q_2 = 1,3 \cdot 0,82 - 0,8 \cdot 0,72 = 0,490 \text{ kPa} \uparrow$$

$W_n$  - нормативна стойност на ветровото натоварване в района на резервоара. Определя се съгласно формулата:

максимална скорост на вятъра -  $v = 45 \text{ m/s}$

$$W_m = \frac{v^2}{16}$$

$$W_n = W_m \cdot \chi_z \cdot c_i$$

$$W_m = \frac{v^2}{16} = 1,26 \text{ kPa}$$

$$W_n = 1,26 \cdot 1,0,65 = 0,82 \text{ kPa}$$

$W_m$  - нормативната стойност на налягането (скоростния напор) на вятъра

$\chi_z$  - коефициент, с който се отчита изменението на ветровото налягане по височина:

$$\chi_z = 1$$

$c_i$  - аеродинамичен коефициент:  $c_i = 0,65$

- *Оразмеряване на покривната обшивка*

За равномерно разпределен товар  $q$  огъващите моменти в обшивката се получават по формулите:

$$M_{qxi} = q \cdot a_i^2 \cdot \alpha$$

$$M_{qyi} = q \cdot a_i^2 \cdot \beta$$

$a$  - по-малкият размер на полето, по което е подпряна обшивката.

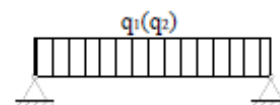
Разгледано е най - натовареното поле

$$a = 2,1 \text{ m} \quad , \quad b = 2,1 \text{ m}$$

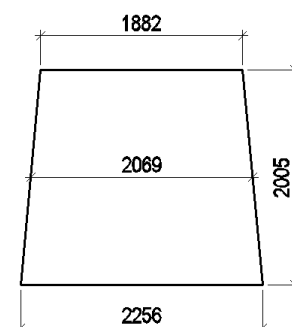
$$M_{qxi} = 2,5 \cdot 2,1^2 \cdot 0,05 = 0,545 \text{ kN.m/m}^2$$

$$M_{qyi} = 2,5 \cdot 2,1^2 \cdot 0,05 = 0,545 \text{ kN.m/m}^2$$

$$\alpha = 0,05 \quad , \quad \beta = 0,05$$



фиг.3



фиг.4

Огъващи моменти  $M_{pxi}$  и  $M_{pyi}$  в покривната обшивка от концентриран товар  $P_n$

$$M_{pxi} = P_n \cdot \gamma_{fp} \cdot \alpha_1$$

$$M_{pyi} = P_n \cdot \gamma_{fp} \cdot \beta_1$$

$P_n = 1 \text{ kN}$  – нормативен концентриран товар от монтажник върху площ  $100 \times 100 \text{ mm}$ ;

$\gamma_{fp} = 1,3$  – коефициент на претоварване от подвижен товар;

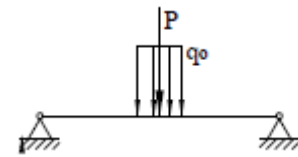
$\alpha_1, \beta_1$  – коефициенти;

$$M_{pxi} = 1.1, 3.0, 4 = 0,52 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{pyi} = 1.1, 3.0, 4 = 0,52 \text{ kN.m/m}$$

$$\alpha_1 = 0,4, \beta_1 = 0,4$$

$$M_{max} = 0,545 \text{ kN.m/m}$$



фиг.5

- Необходима дебелина на покривната обшивка  $t_{rc}$

$$t_{rc} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{max}}{f_y / \gamma_{M0}}}$$

$f_y = 193 \text{ MPa}$  – допустимо номинално напрежение на стомана St52-3 или ASTM A537Gr.70 при 50 °C

$$t_{rc} = 0,422 \text{ cm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,05$$

- Крайна дебелина на ламарината

$$t_r = t_{rc} + C_a \geq 5 \text{ mm}$$

**Приемане дебелина на ламарината 6mm**

- Усилия в ребрата - нормална сила

$$S_i = \frac{A_i}{n \cdot \cos \alpha_i}$$

Дължина на ребрата ~ 12,9 метра

$A_i$  е лицето на кръга, ограничен от  $i$ -тия пръстен:  $i = 523 \text{ m}^2$

$q$  – товар  $q_1, q_2$ ;

$n$  – броят на основните ребра в купола;

$\alpha_i$  – ъгълът между допирателната към реброто в  $i$ -тия възел и хоризонталната равнина.

$$S_i = \frac{523 \cdot 2,5}{32 \cdot \cos(23)} = -43,00 \text{ kN} \quad \text{- нормална сила в ребро - натиск}$$

$$S_i = \frac{523 \cdot 0,5}{32 \cdot \cos(23)} = -8,6 \text{ kN} \quad \text{- нормална сила в ребро - натиск}$$

- Огъващ момент от разпределените товари в полетата

$$M_{\max} = \frac{1}{12} p_i \cdot b_i^2$$

$p_i$  - сума от натоварването на две съседни полета

$$M_{\max} = \frac{1}{12} \cdot 10.2,1^2 = 3,675 \text{ kN.m}$$

- Огъващ момент от разпределени товари от монтажно състояние

$$p_1 = (\gamma_{fg} \cdot g_n + \gamma_{fQ} \cdot Q_m^n) \cdot a_1$$

$$p_2 = (\gamma_{fg} \cdot g_n + \gamma_{fQ} \cdot Q_m^n) \cdot a_n$$

$p_1, p_2$  - Ординатите на товара над опорите

$a_1 = 0,2 \text{ m}$

$a_n = 2,65 \text{ m}$

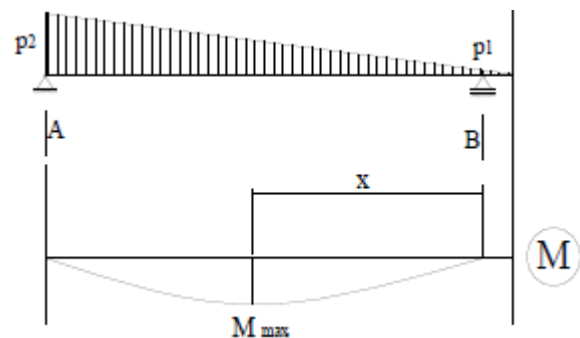
$Q_m^n = 0,35 \text{ kPa}$  - натоварване от монтажници и оборудване по покрива по време на изпълнението му

$$p_1 = (\gamma_{fg} \cdot g_n + \gamma_{fQ} \cdot Q_m^n) \cdot a_1 = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = (\gamma_{fg} \cdot g_n + \gamma_{fQ} \cdot Q_m^n) \cdot a_n = 1,81 \text{ kN/m}^2$$

$$x = \frac{l}{p_2 - p_1} \left[ \sqrt{p_1^2 + \frac{(p_2 - p_1)(p_2 + 2 \cdot p_1)}{3}} - p_1 \right]$$

$$x = 6,8 \text{ m}$$



фиг.6

-Максималният огъващ момент  $M_{\max}$  в реброто е на разстояние  $x$  от дясната опора:

$$M_{\max} = \frac{x \cdot l}{6} (p_2 + 2 \cdot p_1) - \frac{x^2}{2} \cdot p_1 - \frac{x^3}{6 \cdot l} (p_2 - p_1)$$

$$M_{\max} = \frac{6,8 \cdot 12,9}{6} \cdot (1,81 + 2 \cdot 0,87) - \frac{6,8^2}{2} \cdot 0,87 - \frac{6,8^3}{6 \cdot 12,9} (1,81 - 0,87) = 27,9 \text{ kN.m}$$

Избран е профил IPE180 по Euro norm 19-57, EN 10034: 1993, EN 10163-3

- Усилия в междинни пръстени:

Анализиран е последния най – натоварен междинен пръстен (на 5,1m от център сфера)

$$L = 0,976 \text{ m}$$

Нормална сила - Натиск

$$T_i = \frac{1}{2 \cdot n \cdot \sin \psi} \cdot (\cot g(\alpha_i) \cdot q_1' \cdot A_i - \cot g(\alpha_{i+1}) \cdot (q_1 \cdot (A_{i+1} - A_i) + q_1' \cdot A_i)) = 16,6 \text{ kN}$$

$$q_1' = \gamma_{fg} \cdot g_n$$

$$2\psi = 11,25^\circ \quad \alpha_i = 6^\circ$$

$$\alpha_{i+1} = 23^\circ$$

$$A_i = 72,5\text{m}^2$$

$$A_{i+1} = 167,5\text{m}^2$$

**Нормална сила - Опън**

$$T'_i = \frac{q_2}{2.n.\sin \psi} \cdot (\cot g(\alpha_{i+1}) \cdot A_{i+1} - \cot g(\alpha_i) \cdot A_i) = 3.65\text{kN}$$

- Огъващ момент от разпределените товари в полетата

$$M_{\max} = \frac{1}{12} p_i \cdot b_i^2$$

рi-сума от натоварването на две съседни полета

$$M_{\max} = \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 2,5^2 = 1,56\text{kN.m}$$

**Избран е профил L 60.6 по EN 10024**

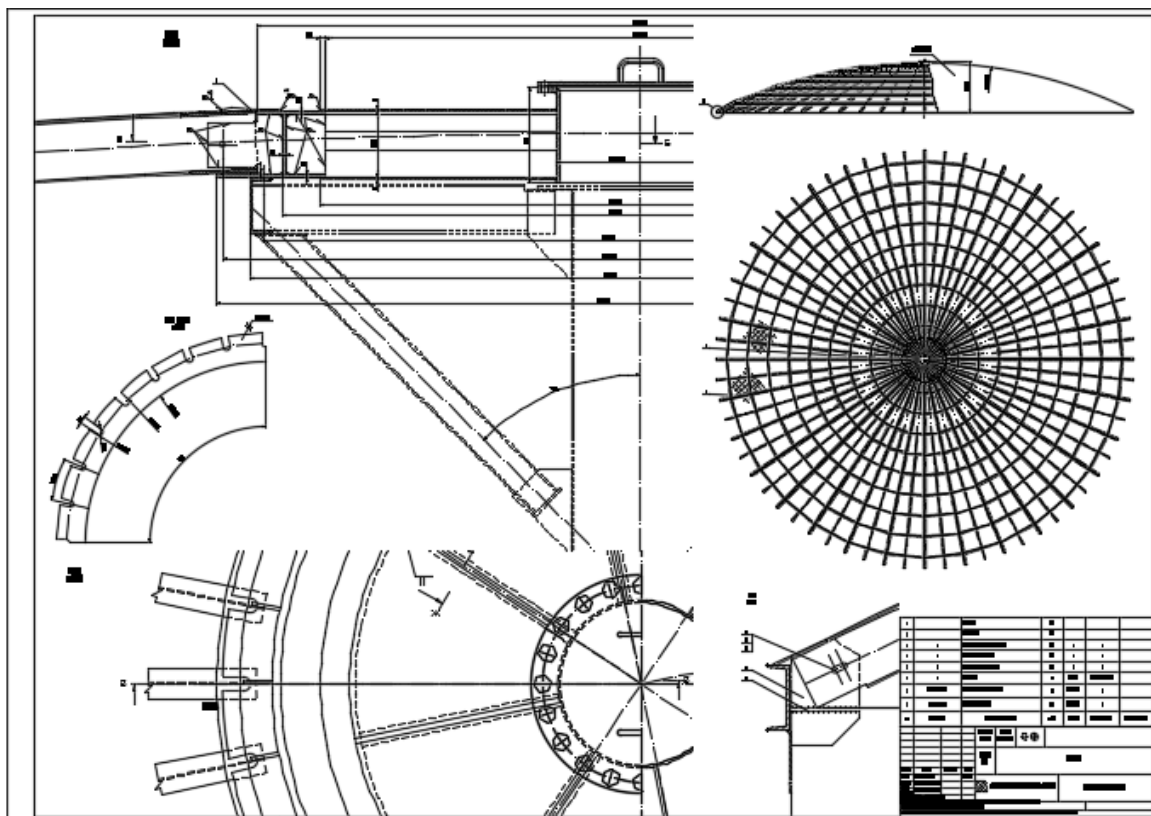
На база аналитичния разчет програмата за пресмятане прави схема на която са отразени типа и разположението на покривните греди (фиг.7)



Фиг. 7. Компютърно генерирана схема на покрива на база аналитични пресмятания.

Следващ етап е разработване на конструкторската документация на покрива в която в общ вид и необходими разрези са отразени всички пресметнати елементи и в табличен вид са специфицирани броя на елементите, килограмите и материала им (фиг.8)





Фиг. 8. Общ вид и разреди на покрив на резервоар.

На база конструктивната документация в монтажния цех избран от Възложителя на покрива се прави изработване и сглобяване на покрива (фиг.9)



Фиг. 9. Изработване и сглобяване на покрива.

### 3. РЕЗУЛТАТИ

Разгледаните етапи при създаването и използването на модела се основават на предположението, че задачата може най-добре да се реши в с помощта на компютър. По себе си, това може да бъде икономически най-ефективния начин за конструиране на сложни възли и съоръжения, както и начин за предвиждане на удачни методи за монтаж в цехови условия и предсказване на евентуални проблеми при сглобяване на детайлите в реални условия.

## **6. ЛИТЕРАТУРА**

Castaneda, C. (1999) *The active side of infinity*, Harper Perennial, Harper Collins Publishers 10 East 53rd Street, New York, NY 10022, ISBN 0-06-019220-8, 0-06-092960-X (pbk.), 13: 978-0-06-092960-2

Ефремов, А., (2013) Идентификация на многомерни системи, DAR-RH, ISBN 978-954-9489-34-7

Вучков, И. и Стоян Стоянов, (1986) Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти, Техника, София

Федоткин, И. М., (1988) Математическое моделирование технологических процессов, Выща школа, Киев

Веников, В., (1976) Теория подобия и моделирования, Наука, Москва

Джиев, С., (2000) Моделиране и оптимизация на процеси, ТУ – София, URL: <http://anp.tu-sofia.bg/Djiev/MOP.htm>