Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

В.Л. Баденко, Ю.В. Волкова

Основы создания трехмерных моделей в среде NanoCAD

Учебное пособие

Санкт-Петербург 2024 Баденко В.Л., Волкова Ю.В. Основы создания трехмерных моделей в среде NanoCAD. – СПб., 2024. – 59 с.

В учебном пособии представлен процесс создания трёхмерных элементов башенной градирни на примере программы NanoCAD 23.0x64 и СПДС 23.0x64. Учебное пособие представляет собой иллюстративный материал преобразования двухмерных чертежей различных элементов башенной градирни в трёхмерные модели.

В пособии представлены основы трехмерного моделирования в среде отечественного программного обеспечения САПР NanoCAD на примере создания модели башенной испарительной градирни. Это сооружение широко присутствует в энергетических проектах.

Учебное пособие предназначено для бакалавров направлений «Строительство», «Дизайн», «Строительство уникальных зданий и сооружений», «Техника и технологии строительства».

Ил. 89. Библиогр.: 16 назв.

Оглавление

Введение	4
1. Область применения	6
2. Преобразование двухмерных чертежей в трёхмерные модели	7
3. Ленточный фундамент	9
4. Подколонники	15
5. Наружные колонны	23
6. Оболочка градирни	
6 А-образные рамы	
7 Внутренние колонны	42
8 Балки	46
9 Общие рекомендации по созданию трехмерной модели	49
Заключение	
Список литературы	

Введение

В настоящем пособии рассматриваются решение проблем импортозамещения, которое определяет переход на отечественное программное обеспечение, которое не подпадает под санкции. Работа в среде автоматизированных систем компьютерного проектирования (САПР) является ядром передовых производственных технологий. В частности, создание трехмерных моделей является начальным этапом при создании изделий по технологии цифрового двойника успешно развиваемом в Политехническом университете Петра Великого. При этом до недавнего времени наиболее распространенным было программное решение для САПР, AutoCAD, которое выпускалось компанией Autodesk Inc. Однако, после введения санкций официальное использование этого продукта вызывало затруднения. В России уже давно выпускались и собственные продекты для САПР и в настоящее время их использование стало особенно актуальным. Одним из таких популярных продуктов является NanoCAD — платформа для проектирования и моделирования объектов различной сложности, разработанная российской компанией ООО "Нанософт разработка". Обладает AutoCAD-подобным интерфейсом и напрямую поддерживает формат DWG (с помощью библиотек Teigha, разработчик Open Design Alliance) [1-16].

В этой связи становится актуальным распространение отечественных технологий САПР, которые позволят эффективно проводить цифровую трансформацию производства в России. Представленные в пособии сведения необходимые будущим специалистам, обучающихся по направлениям 08.03.01 «Строительство» (бакалавриат), 08.04.01 «Строительство» (магистратура), 08.05.01 «Строительство» (специалитет), 08.06.01 «Техника и технологии строительства» (аспирантура) и может быть также полезно студентам других специальностей.

Авторы надеется, что изучение этого пособия поможет будущим инженерам понять концепции, лежащие в основе NanoCAD, а также разобраться в технических и организационных вопросах применения рассмотренных технологий, что в конечном итоге позволит им эффективно использовать их возможности в любой из многочисленных областей их применения.

Авторы выражают большую благодарность аспиранту ИСИ Матвееву Юрию Дмитриевичу, по материалам которого создано данное пособие

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению "Строительство" и может быть также полезно студентам других специальностей.

4

1. Область применения

Проектирование трёхмерных моделей различных элементов сооружений, таких как башенная испарительная градирня (далее БИГ), находит применение при создании различных баз данных для быстрого поиска той или иной конструкции данного сооружения. Точное воспроизведение конструкции даёт возможность создания реалистичной модели через 3D-принтер. В данном пособии показан процесс преобразования двухмерных чертежей различных элементов БИГ в полноценные трёхмерные модели на примере программы nanoCAD 23.0x64(рис.1) и СПДС 23.0x64.



Рис. 1 Эмблемы программ на рабочем столе

2. Преобразование двухмерных чертежей в трёхмерные модели

СПДС 23.0x64 по своей сути является модулем программы nanoCAD 23.0x64, включающим в себя такие функции (рис.2) как:

- Топоплан
- СПДС
- Кодекс
- Облака точек
- Растр
- 3D-инструменты

3D-инструменты	Вид	Настройки	Вывод	Растр	Облака точек	Топоплан	спдс	Кодекс

Рис. 2 Функционал в СПДС 23.0х64

Для описания процесса преобразования двухмерных моделей в трёхмерные - нам понадобится блок 3D-инструменты (рис 3.) и стандартные инструменты для воссоздания двухмерных моделей (рис.4).



Рис. 3 Перечень 3D-инструментов



Рис. 4 Перечень 2D-инструментов

Для выбора оптимального вида в трёхмерном пространстве можно использовать меню ортогональных видов (рис 5.), которое поможет выбрать оптимальную изометрию для дальнейших трёхмерных манипуляций.



Рис. 5 Меню ортогональных видов

3. Ленточный фундамент

На двухмерном фрагменте модели (рис. 6) даны размеры от центральной оси градирни.



Рис. 6 Двухмерный чертёж фундамента БИГ

Для создания 3D модели нам необходимо перерисовать двухмерную модель (рис.7), убрав всё лишнее и оставив место для создания эскиза. До центра градирни расстояние порядка 66 метров. Итоговый вид под эскиз будет выглядеть следующим образом (рис.8).



Рис. 7 Заготовка под эскиз ленточного фундамента



Далее выделяем чертёж, который необходимо преобразовать и добавляем эскиз (рис.9)





Затем полученный двухмерный чертёж захватывается (рис.10) и превращается в эскиз, который далее преобразуется в 3D-модель

Рис. 10 Создание эскиза

Для получения 3D-модели ленточного фундамента нам необходимо применить вращение (рис.11) вокруг центральной оси БИГ на 360 градусов.



Рис. 11 Выбор необходимой функции

Далее курсором наводим на необходимые участки эскиза (рис.12), которые нужно будет преобразовать в объемные модели.



Рис. 12 Выбор областей для вращения

Программой предлагается задать необходимый угол и то, вокруг чего будет создавать трёхмерная модель. В нашем случае мы выбираем «ось» за центр вращения, эскизами служат участки бетонирования (рис.13).



Рис. 13 Таблица параметров для 3D-модели

После того, как все параметры заданы, выбраны эскизы и выбрана ось вращения (рис.14) нажимаем ОК и получаем трёхмерную модель ленточного фундамента башенной испарительной градирни (рис. 15).



Рис. 14 Создание 3D-модели ленточного фундамента БИГ



Рис. 15 Готовая трёхмерная модель ленточного фундамента БИГ

Для альтернативного поиска необходимого действия можно использовать командную строку (рис. 16).



Рис. 16 Командная строка

Программа обладает полным перечнем команд для трёхмерного проектирования (рис. 17).



Рис. 17 Перечень трёхмерных команд в СПДС 23.0х64

4. Подколонники

Для того чтобы получить из двухмерного чертежа готовую трёхмерную модель подколонника (рис. 18) внутренней части БИГ, необходимо вытянуть боковую стену подколонника на ширину подошвы (рис. 19).



Рис. 18 Подколонник БИГ





Рис. 19 Двухмерные части подколонника

После данных действий получается готовая трёхмерная основа подколонника (рис. 20, 21).



Рис. 20 Создание трёхмерной модели подколонника БИГ



Рис. 21 Подколонник БИГ без выемки

Для того, чтобы сделать выемку под колонну в подколоннике, необходимо использовать готовую трёхмерную модель колонны и расположить её в соответствии с требуемым наклоном (рис. 22). При наличии требуемого наклонна и трёхмерной модели колонны, можно расположить колонну так, что её нижняя часть будет пересекаться с подколонником.



Рис. 22 Двухмерный чертёж колонны БИГ с подколонником

Для удобства были нанесены линии, соединяющие колонну с подколонником (рис.23).

После соединения линий (рис.24) необходимо сделать вычитание колонны из подколонника, для этого нужно использовать команду 3D-вычитание.



Рис. 23 Создание выемки в подколоннике при помощи колонны



Рис. 24 Создание выемки в подколоннике при помощи колонны

В конечном итоге получится подколонник с выемкой под основание колонны (рис.

25).



Рис. 25 Создание выемки в подколоннике при помощи колонны

Теперь нам необходимо создать на подколоннике выступ, пропорциональный по форме и объёму выемке. Для этого нам понадобится исходный блок и блок с выемкой (рис. 26).



Рис. 26 Исходный блок и блок с выемкой

Необходимо наложить один блок на другой. Далее нужно обратиться к 3-D команде - «вычитание» (рис. 27). Сперва выделяем исходный блок, затем прибегаем к команде «вычитание» и выделяем блок с выемкой, нажимаем Enter (рис. 28).





Рис. 27 Процесс создания трёхмерного выступа 1



Рис. 28 Процесс создания трёхмерного выступа 2

Конечным результатом данных манипуляций является создание трёхмерного выступа, полностью пропорционального форме и объёму выемки (рис. 29).



Рис. 29 Трёхмерный выступ

Чтобы завершить процесс создания трёхмерной модели подколонника, необходимо объединить подколонник с выемкой и выступ (рис. 30). Для этого накладываем их на общую линию и используем 3-D команду - «объединение». В итоге получаем готовую трёхмерную модель подколонника.



Рис. 30 Создание трёхмерной модели подколонника 1



Рис. 31 Создание трёхмерной модели подколонника 2

5. Наружные колонны

Для создания трёхмерной модели наружной колонны достаточно двухмерных чертежей её оснований и расстояния между ними (рис. 32, 33). Нижнее основание колонны будет полностью совпадать с плоскостью подколонника со стороны выемки/выступа.



Рис. 32 Разрез наружной колонны, подколонника и ленточного фундамента



Рис. 33 Основания наружной колонны

Вычерчиваем двухмерные эскизы оснований подколлоников (рис. 34, 35), располагаем их на заданном расстоянии друг от друга. Для создания полноценной трёхмерной модели наружной колонны необходимо прибегнуть к 3-D команде – «вытягивание по сечениям».



Рис. 34 Двухмерные чертежи оснований наружной колонны



Рис. 35 Основания наружной колонны на заданном расстоянии друг от друга

Создаём эскизы из оснований наружной колонны. Затем наводим курсор на любой их эскизов. В окне с надписью «направляющие кривые» нажимаем на команду «добавить» (рис. 36, 37) и наводим курсор на следующий эскиз, нажимаем «ОК» (рис. 38). В итоге получаем трёхмерную модель наружной колонны (рис. 39).



Рис. 36 Создание трёхмерной модели наружной колонны 1



Рис. 37 Создание трёхмерной модели наружной колонны 2



Рис. 38 Создание трёхмерной модели наружной колонны 3



Рис. 39 трёхмерная модель наружной колонны

Колонна ставится на подколонник. Подколонники располагаются на ленточном фундаменте на заданном расстоянии друг от друга (рис. 41). Для того чтобы расположить наружные колонны и подколонники на одинаковом расстоянии – можно использовать команду 3-D круговой массив (рис. 40). Для этого будет достаточно одного эскиза и оси вращения. Эскиз откладывается от оси вращения на заданное расстояние. В графе размещение элементов можно указать шаг угла (количество элементов или градус между элементами). В моём примере был задан градус, чуть больше 8, поэтому суммарное количество подколонников и наружных колонн на них порядка 40-45 шт.

3D Круговой массив 🛛 🕹
Элементы Ось вращения
Взять параметры с массива-образца
Размещение элементов
0,0
<u>A</u>
Шаг угла 🗸
ОК Отмена

Рис. 40 Создание трёхмерной модели наружной колонны



Рис. 41 Трёхмерная модель ленточного фундамента, подколонников и наружных

колонн.

6. Оболочка градирни

Оболочка вытяжной башни БИГ представляет из себя многоярусную конструкцию с заданными параметрами (рис. 42).



Рис. 42 Чертёж наружной части БИГ

Оболочка вытяжной башни БИГ имеет следующие параметры (рис.43):

• Отметки высот

- Толщина стены
- Ближний радиус
- Дальний радиус

(Верхнее кольцо оболочки) (См. чертеж F04-05)				(Macwmað 1:200)
Shell top ring / see drawing F04-05	P	RP	(m)	TP
		37.215		
			158.537	
		37.217	157.840	.359
	106	37.222	156.341	.306
	105	37.227	154.842	.253
	104	37.231	153.343	.200
	103	37.183	151.843	.200
	102	37.135	150.344	.200
	101	37.087	148.845	.200
	100	37.039	147.346	.200
	99	36.991	145.846	.200
	98	36.943	144.347	.200

Рис. 43 Параметры оболочки БИГ

Данные параметры были даны в общей таблице (рис. 44). Всего оболочка насчитывает 108 ярусов и для каждого из них есть собственные параметры. После того, как данные были переписаны в MS Excel (рис. 45) — стало возможным сделать чертёж расположения точек для каждого из этих ярусов. Далее необходимо объединить полученные точки для оболочки и создать из них эскиз. Данный общий эскиз будет единым для всех уровней ярусов. Осью вращения выступит суммарная высота каждого из ярусов (рис. 46, 47).

N°	Отме	тка В	Толщина	Радиус	Радиус		Длина обра	зующей(мм)	Тангенс угла	ſ
точки	отн.	αδς.	TP	R1	R2	№ яриса	по ярусам	нараста–	наклона внутренней	ſ
яруса	(M)	(M)	(MM)	(MM)	(MM)		LL	ющая суммарная	поверхности (ASIF)	ſ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	ſ
P109	171	160.137	0.435	37.215	37.648	Я109	1.6	163.297	-	ſ
P108	169.4	158.537	0.383	37.215	37.598	Я108	0.697	161.697	0	ſ
P107	168.703	157.84	0.359	37.217	37.576	Я107	1.5	161	0	ſ
P 106	167.204	156.341	0.306	37.222	37.528	Я106	1.5	159.5	0	ſ
P105	165.705	154.842	0.253	37.227	37.48	Я105	1.5	158	-0.027	ſ
P104	164.206	153.343	0.2	37.231	37.431	Я104	1.5	156.5	-0.032	ſ
P103	162.706	151.843	0.2	37.183	37.383	Я103	1.5	155	-0.032	
P102	161.207	150.344	0.2	37.135	37.335	Я102	1.5	153.5	-0.032	ſ
P101	159.708	148.845	0.2	37.087	37.28	Я101	1.5	152	-0.032	Ĺ
P100	158.209	147.346	0.2	37.039	37.239	Я100	1.5	150.5	-0.032	
P99	156.709	145.846	0.2	36.991	37.191	Я99	1.5	149	-0.032	
P98	155.21	144.347	0.2	36.943	37.143	Я98	1.5	147.5	-0.032	
P97	153.711	142.848	0.2	36.895	37.095	Я97	1.5	146	-0.032	Ĺ
P96	152.212	141.349	0.2	36.847	37.047	Я96	1.5	144.5	-0.032	Ĺ
P95	150.712	139.849	0.2	36.8	37	Я95	1.5	143	-0.032	
P94	149.213	138.35	0.2	36.752	36.952	Я94	1.5	141.5	-0.032	
P93	147.714	136.851	0.2	36.704	36.904	Я93	1.5	140	-0.032	
P92	146.215	135.352	0.2	36.657	36.855	Я92	1.5	138.5	-0.032	
P91	144.715	133.852	0.2	36.61	36.81	Я91	1.5	137	-0.031	
P90	143.216	132.353	0.2	36.563	36.763	Я90	1.5	135.5	-0.031	
P89	141.717	130.854	0.2	36.516	36.716	Я89	1.5	134	-0.031	
P88	140.218	129.355	0.2	36.469	36.667	Я88	1.5	132.5	-0.031	
P87	138.718	127.855	0.2	36.423	36.623	Я87	1.5	131	-0.031	
P86	137.219	126.356	0.2	36.377	36.577	Я86	1.5	129.5	-0.031	
P85	135.72	124.857	0.2	36.331	36.531	Я85	1.5	128	-0.03	
P84	134.22	123.357	0.2	36.286	36.486	Я84	1.5	126.5	-0.029	
P83	132.721	121.858	0.2	36.242	36.442	Я8З	1.5	125	-0.029	Ĺ
P82	131.221	120.358	0.2	36.199	36.399	Я82	1.5	123.5	-0.028	Ĺ
P81	129.722	118.859	0.2	36.157	36.357	Я81	1.5	122	-0.026	Ĺ
P80	128.222	117.359	0.2	36.118	36.318	Я80	1.5	120.5	-0.024	ĺ

Рис. 44 Таблица параметров оболочки БИГ

77	33	46,256	47,902	0,24	-0,395	1,447	0	1,447		46,256
78	32	46,651	46,455	0,24	-0,397	1,447	0	1,447		46,651
79	31	47,048	45,008	0,24	-0,4	1,445	0	1,445		47,048
80	30	47,448	43,563	0,24	-0,403	1,445	0	1,445		47,448
81	29	47,851	42,118	0,24	-0,405	1,444	0	1,444		47,851
82	28	48,256	40,674	0,24	-0,408	1,444	0	1,444		48,256
83	27	48,664	39,23	0,24	-0,41	1,443	0	1,443		48,664
84	26	49,074	37,787	0,24	-0,412	1,442	0	1,442		49,074
85	25	49,486	36,345	0,24	-0,414	1,442	0	1,442		49,486
86	24	49,9	34,903	0,24	-0,416	1,441	0	1,441		49,9
87	23	50,316	33,462	0,24	-0,418	1,44	0	1,44		50,316
88	22	50,734	32,022	0,24	-0,42	1,441	0	1,441		50,734
89	21	51,154	30,581	0,24	-0,421	1,439	0	1,439		51,154
90	20	51,575	29,142	0,24	-0,423	1,439	0	1,439		51,575
91	19	51,998	27,703	0,24	-0,425	1,439	0	1,439		51,998
92	18	52,423	26,264	0,24	-0,426	1,438	0	1,438		52,423
93	17	52,849	24,826	0,24	-0,428	1,438	0	1,438		52,849
94	16	53,277	23,388	0,24	-0,428	1,437	0	1,437		53,277
95	15	53,705	21,951	0,24	-0,43	1,437	0	1,437		53,705
96	14	54,135	20,514	0,24	-0,432	1,437	0	1,437		54,135
97	13	54,567	19,077	0,24	-0,432	1,436	0	1,436		54,567
98	12	54,999	17,641	0,24	-0,434	1,436	0	1,436		54,999
99	11	55,433	16,205	0,24	-0,435	1,435	0	1,435		55,433
100	10	55,868	14,77	0,24	-0,436	1,435	0	1,435		55,868
101	9	56,304	13,335	0,24	-0,432	1,436	-0,008	1,436		56,304
102	8	56,736	11,899	0,248	-0,432	1,437	-0,014	1,437		56,736
103	7	57,168	10,462	0,262	-0,432	1,436	-0,013	1,436		57,168
104	6	57,6	9,026	0,275	-0,433	1,436	-0,014	1,436		57,6
105	5	58,033	7,59	0,289	-0,426	1,439	-0,03	1,439		58,033
106	4	58,459	6,151	0,319	-0,377	1,452	-0,135	1,452		58,459
107	3	58,836	4,699	0,454	-0,377	1,451	-0,134	1,451		58,836
108	2	59,213	3,248	0,588	-0,339	1,462	-0,215	1,462		59,213
109	1	59,552	1,786	0,803	-0,448	1,949	-0,297	1,949		59,552
110	0	60	-0,163	1,1	60	-0,163	1,1	-0,163	0	60
111					0	0	0	0		
112										
113					радиус	высота	толщина			

Рис. 45 Параметры оболочки БИГ в MS Excel



Рис. 46 Создание оболочки вытяжной башни БИГ 1



Рис. 47 Создание оболочки вытяжной башни БИГ 2

Далее при помощи команды 3D – вращение создаём трёхмерную оболочку БИГ вокруг центральной оси (рис. 48, 49). В итоге у нас получится полноценная трёхмерная модель оболочки наружной части БИГ с соблюдением всех заданных параметров (рис. 50).



Рис. 48 Создание оболочки вытяжной башни БИГ 3



Рис. 49 Создание оболочки вытяжной башни БИГ 4



Рис. 50 Оболочка вытяжной башни БИГ

6 А-образные рамы

Внутренняя часть БИГ состоит из множества строительных элементов, среди них(puc.51):

- Внутренние колонны
- А-образные рамы
- Экраны ветровых перегородок
- Водораспределительные шахты
- Балки
- Оросители



Рис. 51 Двухмерный чертёж А-образной балки

А-образные рамы расположены по периметру внутренней части градирни, а также вдоль и поперёк бассейна плиты. На них располагаются водораспределительные шахты. А-образных рам количественно меньше, чем внутренних колонн и состоят они из основания, тела и верхней части. Для создания трёхмерной модели А-образной рамы необходимо из двухмерной модели (рис. 52) поэлементно создать трёхмерные модели и объединить их в одну модель. Для этого нужно преобразовать двухмерный чертёж основания А-образной рамы в трёхмерную модель (рис. 53). После команды 3D – выдавливание, нужно будет копировать полученное основание, и расположить его на необходимом расстоянии от исходного основания (рис. 55).



Рис. 52 Двухмерная модель А-образной рамы



Рис. 53 основание А-образной рамы



Рис. 54 создание трёхмерной модели основания А-образной рамы



Рис. 55 Основания трёхмерной модели А-образной рамы

Следующим шагом будет создание трёхмерной модели тела А-образной рамы. Аналогично нужно будет проделать такие же манипуляции, как и с основанием. После того,

как у нас появилась готовая трёхмерная модель тела А-образной рамы, нам будет необходимо сделать с каждой грани по фаске. Для этого используем команду 3D-фаска (рис. 58). В меню параметров выбираем все необходимые грани, которые нужно «сгладить», задаем необходимое расстояние для каждой из плоскостей, граничащих с гранью (рис. 59). В итоге получаем готовую трёхмерную модель тела А-образной рамы (рис. 60).



Рис. 56 Двухмерная модель тела А-образной рамы



Рис. 57 Создание трёхмерной модели тела А-образной рамы



Рис. 58 создание трёхмерной модели тела А-образной рамы



Рис. 59 создание трёхмерной модели тела А-образной рамы



Рис. 60 создание трёхмерной модели А-образной рамы

Последним элементом в конструкции А-образной рамы является верхняя часть (рис. 61), имеющая очень сложную форму. Чтобы упростить процесс создания многогранника – нужно разбить сложную трёхмерную фигуру на множество простых фигур. Далее нужно по

отдельности каждую двухмерную модель преобразовать в трёхмерную модель. После того, как будут созданы необходимые элементы – нужно их объединить в один общий элемент при помощи команды 3D-объединение. При помощи команды 3D-фаска сглаживаем все необходимые грани, получаем готовую трёхмерную модель верхней части А-образной рамы (рис. 61). В конце объединяем основание, тело и верхнюю часть А-образной рамы в один трёхмерный объект (рис. 62).



Рис. 61 Трёхмерная модель верхней части А-образной рамы



Рис. 62 Трёхмерная модель А-образной рамы

7 Внутренние колонны

Внутренние колонны расположены по всей площади внутренней части БИГ и служат для расположения на них балок. Их количество и вариативность больше, чем у А-образных рам. Преобразование двухмерного чертежа в трёхмерную модель осуществляется аналогичным способом как ранее.



Рис. 63 Двухмерная модель внутренней колонны БИГ

Сначала создаём трёхмерную модель для основания внутренней колонны (рис. 64, рис. 65). Затем делаем модель для верхней части колонны, на которые будут опираться балки (рис. 66 и рис. 67).



Рис. 64 Создание трёхмерной модели основания внутренней колонны



Рис. 65 Трёхмерная модель основания внутренней колонны



Рис. 66 Двухмерный чертёж верхней части внутренней колонны



Рис. 67 Трёхмерная модель верхней части внутренней колонны

Средняя часть внутренней колонны вырисовывается по аналогии с верхней частью А-образной рамы. Она располагается на определённой высоте от основания и для компиляции средней части колонны с её телом необходимо расположить оба трёхмерных объекта в одной плоскости и перенести среднюю часть на необходимую высоту (рис. 70). Затем, при помощи команды 3D-объединение (рис. 71) – объединить тело колонны и его среднюю часть. В итоге получится единый трёхмерный объект (рис. 72, рис. 73).



Рис. 70 Трёхмерная модель средней части внутренней колонны 1



Рис. 71 Трёхмерная модель средней части внутренней колонны 2



Рис. 72 Готовая трёхмерная модель средней части внутренней колонны



Рис. 73 Готовая трёхмерная модель внутренней колонны

8 Балки

Балки располагаются во внутренней части БИГ и находятся на верхней части внутренних колонн. Внутри отверстия балок прокладываются оросители. Для создания трёхмерной модели балки необходимо провести те же манипуляции, как и ранее.

Из двухмерного чертежа балки (рис. 74) создаём двухмерную модель (рис. 75). Затем при помощи команды 3D-выдавливание получаем трёхмерную модель балки (рис. 76). Суммарное количество балок больше, чем количество внутренних колонн и A-образных рам. Также балки определяют границы внутренних зон орошения. Как правило, количество этих зон зависит от конструктивных особенностей самой башенной градирни.



Рис. 74 Двухмерный чертёж балки



Рис. 75 модель двухмерного чертежа балки



Рис. 76 трёхмерная модель балки

Существуют тривиальные балки по типу BU100 (рис.76), но в то же время, существуют балки с очень необычными конструктивными решениями (рис. 78). Как правило, в них добавляются специальные выступы под более мелкие балки.





Рис. 77 Модель двухмерного чертежа балки





Рис. 78 Трёхмерная модель балки

9 Общие рекомендации по созданию трехмерной модели

Для создания трёхмерной модели БИГ достаточно наличия двухмерных чертежей с заданными размерами и программы, способной осуществлять трёхмерные манипуляции. Также для корректного расположения всех сооружений внутри градирни – необходимо иметь общий план расположения всех внутренних колонн, рам и других сооружений (рис. 79).



Рис. 79 План расположения сооружений внутри БИГ

Процесс создания трёхмерной модели башенной градирни состоит из поэтапного вычерчивания каждого элемента. В самом начале – это вычерчивание фундамента с водоподачей, водосливом и стенами бассейна градирни (рис. 81). Далее – вычерчивание подколонников, наружных колонн и сопряжения между ними (рис. 82).



Рис. 80 Основание БИГ



Рис. 81 Фундамент БИГ



Рис. 82 Фундамент и наружная часть БИГ

Расположение трёхмерных моделей внутренних колонн и А-образных рам – следующий этап. На верхние части внутренних колонн будут опираться балки. А-образные рамы будут забирать на себя нагрузку от водораспределительных шахт. Корректное расположение внутренних колонн (рис. 83) и А-образных рам (рис. 84) внутри градирни позволят корректно расположить последующие коммуникации на них.



Рис. 83 Внутренние колонны БИГ



Рис. 84 Внутренние колонны и А-образные рамы БИГ

К последующим сооружениям, которые располагаются на внутренних колоннах и Аобразных рамах относятся балки и водораспределительные шахты. Водораспределительные шахты (рис. 85) располагаются на всех А-образных рамах. Балки (рис. 86) располагаются на верхних частях внутренних колонн и образуют секции внутри БИГ. После того, как все действия поэтапно будут выполнены – двухмерные чертежи отдельных элементов градирни преобразуются в трёхмерную модель БИГ (рис. 88).



Рис. 85 Внутренние колонны, А-образные рамы и водораспределительные шахты

БИГ



Рис. 86 Внутренние колонны, А-образные рамы, водораспределительные шахты и балки БИГ



Рис. 87 БИГ без оболочки и бассейна градирни



Рис. 88 Башенная испарительная градирня

Заключение

В пособии представлены основы трехмерного моделирования В среде отечественного программного обеспечения САПР NanoCAD на примере создания модели башенной испарительной градирни. Это сооружение широко присутствует В энергетических проектах. В целом можно отметить, что при решении практических задач большое значение имеют цифровые технологии [1-16].

Также следует отметить, что представленное в пособие изложение целиком ложится в рамки модельно ориентированного системного инжиниринга (Model-base system engineering – MBSE) [1]. Так для создание цифровых моделей для создаваемых предприятий рекомендуется использовать методологию, предложенную в работах Кондратьева В.В. (рис. 89) [4].



Типология унифицированных MBSE-моделей

Рис. 89 Типология унифицированных MBSE-моделей

Также следует особо отметить, что представленная в пособии может быть успешно использована в развиваемом в СПбПУ подходе к разработке цифровых двойников, в том

числе в рамках фабрик будущего [5-11]. При этом фабрики будущего в настоящее время рассматриваются как гармоничное соединение цифрового представления предприятия и физического объекта [15, 16]. Однако подробное рассмотрение этого вопроса требует специального внимания и выходит за рамки настоящего пособия.

Список литературы

1. Баденко В.Л. Модельно-ориентированный системный инжиниринг для строителей: основные понятия и принципы: учебное пособие. – 2023. – 44 с. https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2023/tr23-102.pdf

2. Fedotov A.A. Prazdnikova T.V., Badenko V.L. Yadykin V.K. Information modeling for cultural preservation: Portico of the New Hermitage and Atlas sculptures. Part 1: Basic approaches and approbation results // Computing, Telecommunication and Control. $-2020. - T. 13. - N_{\odot}. 3. - C. 7-16.$

3. Fedotov A.A. Prazdnikova T.V., Badenko V.L. Yadykin V.K. Information modeling for cultural preservation: Portico of the New Hermitage and Atlas sculptures. Part 2. Methods and algorithms //Computing, Telecommunication and Control. $-2020. - T. 67. - N_{\odot}. 4. - C. 7-20.$

 Кондратьев В.В. Модельно-ориентированный системный инжиниринг 2.0. – М.: МФТИ, 2021. – 102 с.

5. Боровков А. и др. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench®(часть 3) //Октябрь. – 2023. – С. 51.

6. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки //Цифровая трансформация экономики и промышленности. – 2019. – С. 234-245.

7. Kukushkin K., Ryabov Y., Borovkov A. Digital twins: A systematic literature review based on data analysis and topic modeling //Data. $-2022. - T. 7. - N_{\odot}. 12. - C. 173.$

8. **Боровков А.И.** и др. Передовые производственные технологии: возможности для России. – Экспертно-аналитический доклад / Санкт-Петербург,2020.

 Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А. Типологизация цифровых двойников
(Digital Twins) //Кластеризация цифровой экономики: Глобальные вызовы. – 2020. – С. 473-482.

10. **Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А.** Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении //Деловой журнал Neftegaz. RU. – 2020. – №. 6. – С. 30-36.

11. Боровков А.И., Гамзикова А.А., Кукушкин К.В., Рябов Ю.А. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года) / Санкт-Петербург, 2019.

12. **Bolshakov N., Rakova X., Celani A., Badenko V.** Operation Principles of the Industrial Facility Infrastructures Using Building Information Modeling (BIM) Technology in Conjunction with Model-Based System Engineering (MBSE). // Applied Sciences, 2023. 13(21), 11804.

13. Bolshakov N., Badenko V., Yadykin V., Tishchenko E., Rakova X., Mohireva A., Kamsky V., Barykin S. Cross-Industry Principles for Digital Representations of Complex

Technical Systems in the Context of the MBSE Approach: A Review. // Applied Sciences, 2023. 13(10), 6225.

14. Yadikin V., Barykin S., Badenko V., Bolshakov N., de la Poza E., Fedotov A. Global Challenges of Digital Transformation of Markets: Collaboration and Digital Assets // Sustainability, 2021. Vol.13, №19, 10619

15. Badenko V.L., Bolshakov N.S., Tishchenko E.B., Fedotov A.A., Celani A.C., Yadykin V.K. Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future // Magazine of Civil Engineering. 2021. 101(1). Article No. 10114

16. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2020. Т. 13. № 1. С. 20-30.