

НДС АММИАЧНО-ИЗВЕСТКОВОЙ КОЛОННЫ С УЧЕТОМ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.В. Ихно, С.О. Титков, А.А. Точеная

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Работа посвящена анализу напряжённо-деформированного состояния в ПК ЛИРА-САПР аммиачно-известковой колонны с учетом коррозионного износа. Проведен глубокий анализ конструктивного решения аммиачно-известковой колонны, изучен технологический процесс, происходящий в данном объекте. Построена расчетная схема аммиачно-известковой колонны непрерывного действия. Составлено расчётное сочетание усилий (РСН) для технологического процесса по уточненным данным.

Проведен анализ данных, полученных при расчете идеализированной схемы и с введением в данную схему коррозионного износа по статистическим данным. Данная работа поможет в дальнейшем при оценке и паспортизации технического состояния объектов данного типа.

Ключевые слова: напряжённо-деформированное состояние, аммиачно-известковая колонна, расчетная схема, техническое состояние, коррозионный износ, программный комплекс solidworks



*Ихно Анна
Владимировна*



*Титков
Сергей Олегович*



*Точеная
Анастасия Артуровна*

Анализ численных значений НДС колонны аммиачно-известковой необходимо выполнить с учетом коррозионного износа.

Задачи исследования:

- создать объемную уточнённую расчетную схему колонны аммиачно-известковой;
- составить расчетное сочетание нагрузок с учетом особенностей работы агрегата;
- на основе данных обследования создать объемную уточнённую расчетную схему колонны аммиачно-известковой с учетом коррозионного износа;
- выполнить построение схемы и расчёт в программном комплексе solidworks;
- проанализировать трудоемкость и результаты построения модели в программном комплексе solidworks;
- провести анализ численных данных НДС конструктивных элементов аммиачно-известковой колонны как идеализированной, так и с учетом коррозионного износа.

Постановка задачи. Работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния аммиачно-известковой колонны с учетом технологического процесса протекающего внутри агрегата.

Предпосылкой для выбора данной тематики послужила проблема возникновения необходимости оценки технического состояния объекта и исследования его остаточной несущей способности. Объектом исследования выступила аммиачно-известковая колонна со смесителем и отстойником Ш 2.2 м высотой

11.2 м, являющаяся основным аппаратом, в котором происходит дистилляция (отгонка) аммиака из слабой аммиачной воды.

Описание конструктива. Для проведения численного анализа объекта построена объемная расчетная схема колонны (рис. 1), строго соответствующая чертежам, предоставленным компанией одним из заводов коксохимического производства. Данная расчетная схема была построена для анализа работы несущей способности в процессе эксплуатации.

На рисунке 1 изображена объемная уточненная расчетная схема, построенная с помощью КЭ 41,42,44. Построение такой расчетной схемы необходимо для уточнения всех факторов, влияющих на действительную работу аммиачно-известковой колонны, для оценки действительной работы аммиачно-известковой колонны в соответствии с технологической схемой работы агрегата.

Общие характеристики расчётной схемы: количество КЭ – 7266; количество узлов – 7045. Общее количество неизвестных – 38 636.

Особенность расчёта. Моделирование уточненного ветрового воздействия с помощью программы ЭСПРИ 2016 и приложение введения ее с помощью ТХТ-файла.

Нагрузки. Для реализации этих особенностей к сформированной расчетной схеме прикладывались такие нагрузки:

- собственный вес конструкций (рис. 2);
- температурное воздействие (рис. 3);
- ветровое воздействие (рис. 4,5);
- собственный вес оборудования внутри агрегата (рис. 6);
- давление паров внутри агрегата (рис. 7);
- следящая нагрузка от собственного веса агрегата (рис. 8);
- гидростатическое давление от надсмольной воды (рис. 9).

Для полного отображения влияния технологического цикла на металлоконструкции были созданы сочетания нагрузок, которые появляются в результате эксплуатации агрегата.

РСН построены в соответствии с технологическим циклом работы объекта исследования.

Исходные данные

Среда в аппарате – аммиачная вода, аммиачные пары.

Температура среды – 115 °С.

Рабочее давление в аппарате: по расчёту – $P = 0,7 \text{ кг/см}^2$.

Площадь сечения аппарата в свету – $A = 3,8 \text{ м}^2$.

Периметр барботажа – 23,2 м

Испытание на плотность и прочность на заводе-изготовителе гидравлическим давлением – 2 кг/см^2 .

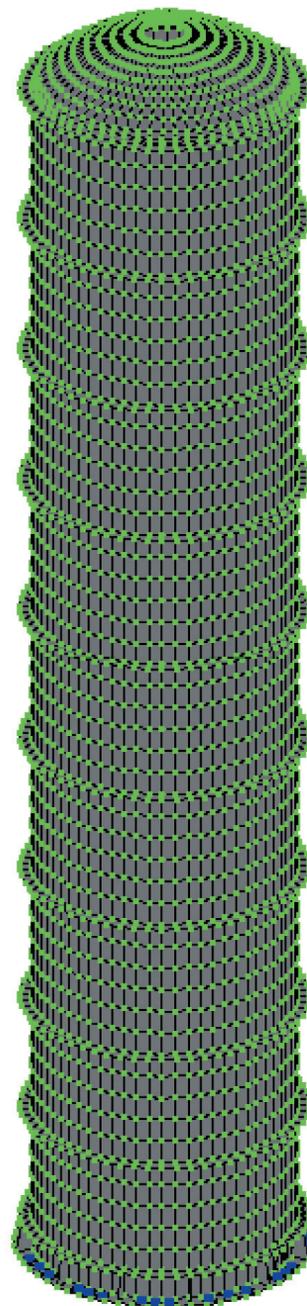


Рис. 1. Объемная уточненная модель аммиачно-известковой колонны (ПК ЛИРА-САПР 2017)

Испытание на герметичность смонтированного аппарата давлением пара – 1 кг/см^2 .

Аппарат снаружи изолируется.

Количество тарелок: исчерпывающих – 14 шт., укрепляющих – 4 шт.

При испытании тарелок на барботажа на системе «воздух-вода» количество подаваемого воздуха $Q_v = 6000 \text{ м}^3/\text{час}$. Расчётное сопротивление 1 тарелки при этом равно $P = 45 \text{ мм}$ водяного столба.

Расчётная осевая нагрузка на фундамент – $P_f = 60000 \text{ кг} \approx P_f = 60 \text{ т} \approx P_f = 600 \text{ кН}$.

Общий вес аппарата – $P_a = 37410 \text{ кг} \approx P_a = 37,5 \text{ т} \approx P_a = 368 \text{ кН}$.

Колонна аммиака – технологический агрегат, предназначенный для получения аммиака. Для создания оболочки в вычислительном комплексе использовался конечный элемент пластина КЭ – 4-х-узловая оболочка. Крепление агрегата к фундаменту принято жёстким. Жёсткость стенки и фланцев для стыковки царг приведена.

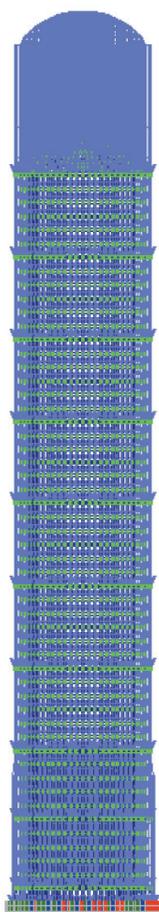


Рис. 2. Отображение собственного веса на расчётной схеме

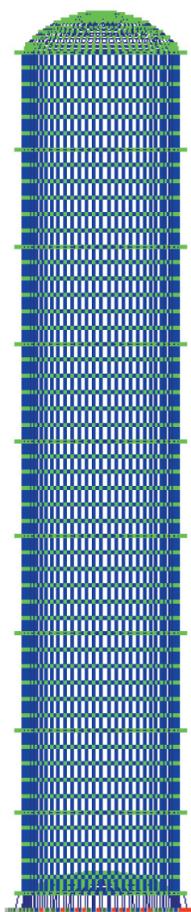


Рис. 3. Отображение температурного воздействия

Подсчёт ветровой нагрузки

Подсчёт ветровой нагрузки выполнен по нормам проектирования [6].

Таблица 1. Данные для определения ветровой нагрузки

Ветровой район	V
Нормативное значение ветрового давления	0,06 Т/м ²
Тип местности	В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м
Тип сооружения	Цилиндрические резервуары

Схемы приложения ветровой нагрузки на колонный агрегат – согласно требованиям [6].

Таблица 2. Параметры объекта – аппарат колонного типа для производства аммиака

Поверхность	Стальная конструкция	
Шаг сканирования	0,2 м	
Коэффициент надёжности по нагрузке	1,4	
Геометрические параметры агрегата по производству аммиака		
H (высота агрегата)	м	11,06
d (диаметр агрегата)	м	2,20
T (толщина стенки)	мм	8,00

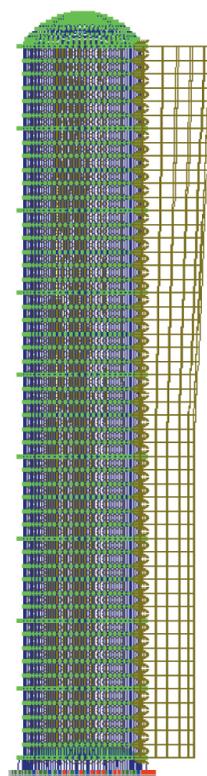


Рис. 4. Ветровое воздействие, вид UZ

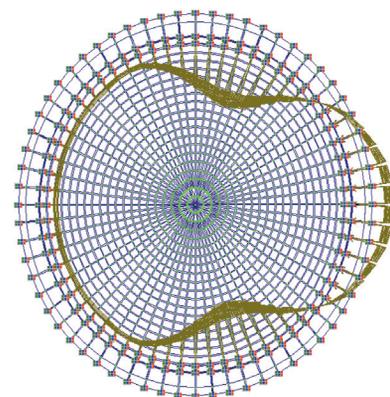


Рис. 5. Ветровое воздействие, вид в сечении

Результаты расчёта по требованиям [6]:

- нормативное значение ветрового воздействия – 0,024 Т/м = 0,24 кН/м;
- расчётное значение ветрового воздействия – 0,039 Т/м = 0,39 кН/м.

Подсчёт производился при помощи программы ЭСПРИ 2016.

Подсчёт постоянных нагрузок на колонну

Из исходных данных известно, что общая масса аппарата составляет $P_a = 37410 \text{ кг} \approx P_a = 37,5 \text{ т} \approx P_a = 368 \text{ кН}$. Нагрузка, действующая на фундамент агрегата от его массы, составляет $P_f = 60000 \text{ кг} \approx P_f = 60 \text{ т} \approx P_f = 600 \text{ кН}$.

В расчётной схеме массу агрегата с учётом конструкции барботажа представим в виде равномерно распределённой вертикальной «следающей» нагрузки.

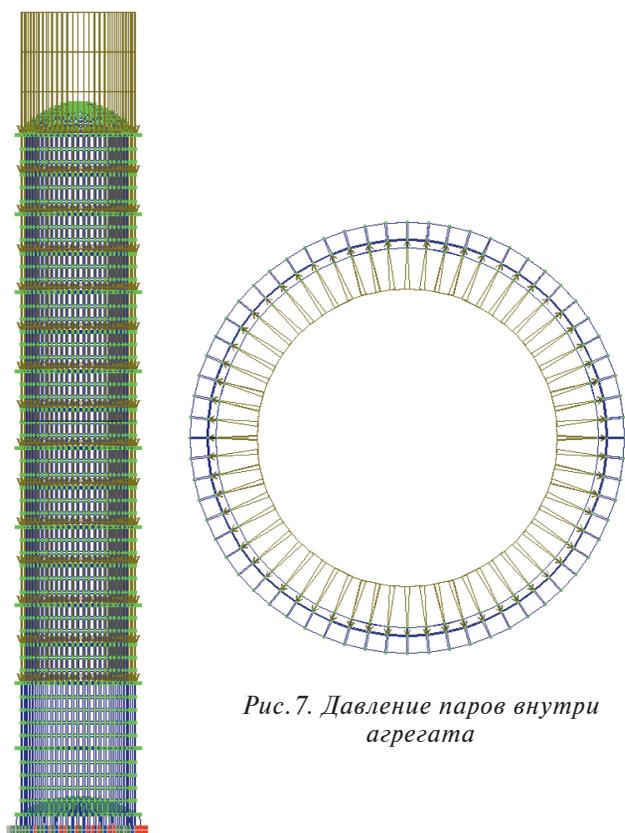


Рис. 6. Собственный вес оборудования внутри агрегата

Рис. 7. Давление паров внутри агрегата

Площадь распределения «следающей» нагрузки по поверхности определим исходя из геометрических параметров агрегата: $A_{сн} = \pi \times D \times H = 3,14 \times 2,2 \times 10,57 = 73,02 \text{ м}^2$, где:

$A_{сн}$ – площадь распределения «следающей» нагрузки;

π – математическая постоянная;

D, H – диаметр и высота агрегата соответственно.

Величину распределённой «следающей» нагрузки определим исходя из его массы P_a и площади распределения «следающей» нагрузки $A_{сн}$: $Q_p = P_a / A_{сн} = 600 / 70,02 = 8,22 \text{ кН/м}^2 = 0,0008 \text{ кН/см}^2$.

Схема приложения «следающей» нагрузки представлена на рис. 8.

Технологические нагрузки на колонну

Подсчёт технологических нагрузок – от давления газов, температуры – производить необязательно, т. к. при ремонте агрегат эксплуатироваться не будет. Однако после проведения ремонтных работ всё-таки необходимо произвести испытание агрегата на герметичность смонтированного аппарата давлением пара – 1 кг/см^2 . Температура среды – $115 \text{ }^\circ\text{C}$. Схемы приложения нагрузки от давления пара и температурного воздействия представлены на рис. 10а и рис. 10б соответственно.

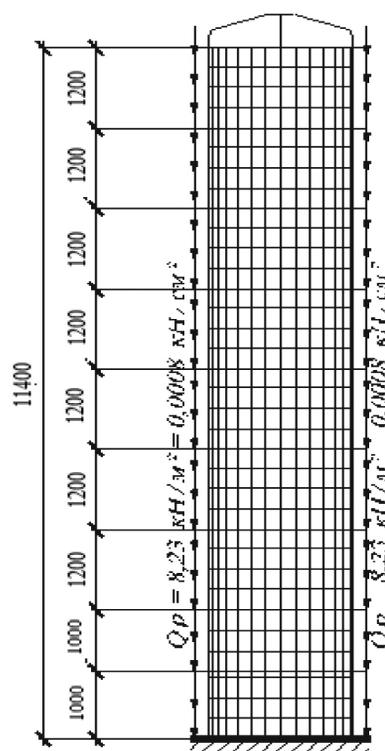


Рис. 8. Схема приложения следающей нагрузки от собственного веса агрегата

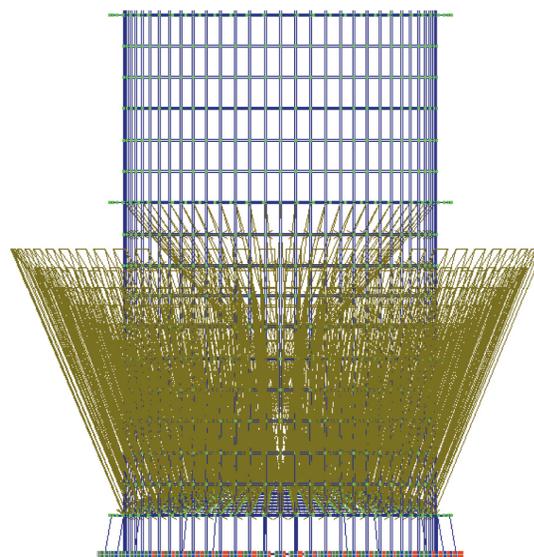


Рис. 9. Гидростатическое давление от надсольной воды

Результаты расчёта колонны

Для наглядного представления результатов расчёта агрегата по производству аммиака колонного типа результаты сформированы в виде ведомости максимальных напряжений по осевым направлениям оболочки и представлены в таблице 3. В качестве расчётного сочетания для агрегата, расчётная схема которого представлена в виде оболочки, принято совместное влияние нагрузки собственного веса агрегата, ветровой и температурной нагрузки.

Таблица 3. Максимальные величины напряжений по направлениям оболочки в кН/см²

NX	NY	TXU	MX	MY	MXU	QX	QU	NS01	NE01
-4,69	-4,29	-7,21	2,26	2,1	4,42	-2,12	-1,16	-5.16	6.09

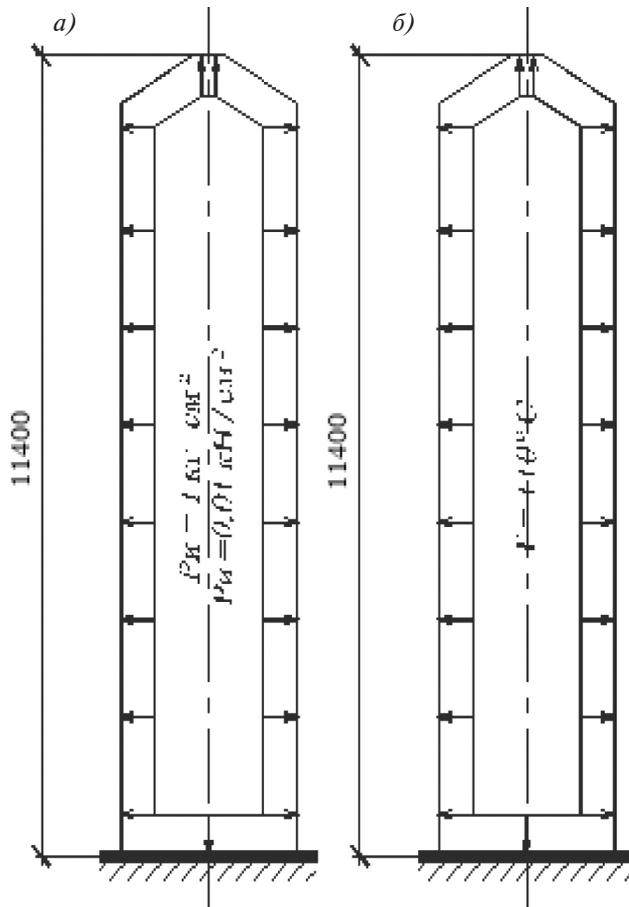


Рис. 10. Схема приложения нагрузки на агрегат от: а – давления пара; б – температурного воздействия

Дополнительно для проверки результатов расчёта агрегата колонного типа принято решение выполнить его расчёт [1-4] по упрощённой расчётной схеме – в виде жёстко защемлённого консольного стержня. Расчётная схема с приложениями отдельных нагружений представлена на рис. 11. Результаты расчёта агрегата колонного типа [5] представлены в таблице 4, в которой даны максимальные усилия, возникающие в консольном стержне. В качестве расчётного сочетания принято совместное влияние нагрузки собственного веса агрегата, ветровой и температурной нагрузки.

Таблица 4. Максимальные величины усилий в консольном стержне в кН (т)

N	M	Q
600 (60)	13 (1,3)	0,1

Конструктивный расчёт оболочки агрегата

В качестве расчётного параметра для расчёта прочности сечения корпуса агрегата, который смодели-

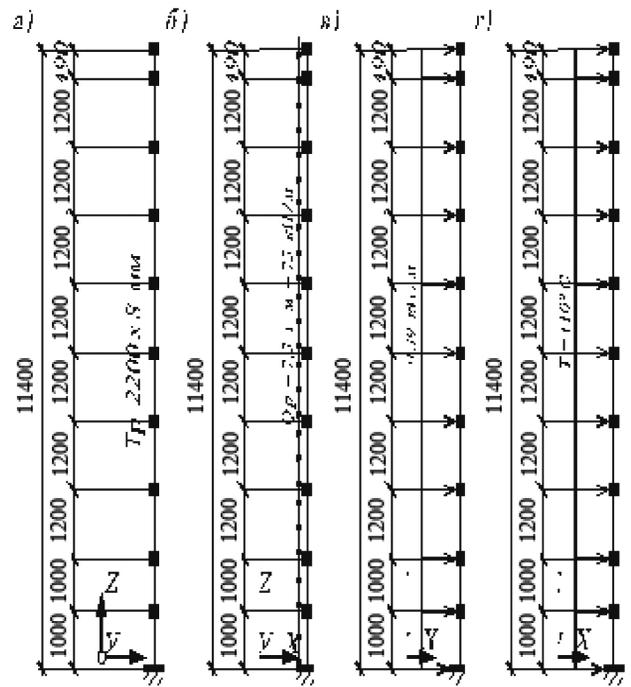


Рис. 11. Расчётная схема с приложениями отдельных нагружений

лирован конечными элементами оболочки, принимаем суммарное эквивалентное напряжение NE01 = 6.09 кН/см².

Согласно спецификации Ш.0010.10 царги агрегата изготовлены из серого чугуна СЧ 15-32 по [7]. В соответствии с приложением 1 [7] временное сопротивление при растяжении для СЧ 15-32 с толщиной стенки отливки 8 мм составляет 180 МПа. Следовательно, примем что:

$$R_y = 180 \text{ МПа} \times \gamma_c = 180 \times 0,9 = 162 \text{ МПа} = 16,2 \text{ кН/см}^2;$$

R_y – расчётное сопротивление стали согласно [4];
 γ_c – коэффициент надёжности по материалу согласно [4].

Определим площадь поперечного сечения колонного агрегата по формуле 1 (Ака):

$$A_{ка} = \pi D_n - \pi D_v = 3,14 \times 220 - 3,14 \times 204 = 50,24 \text{ см}^2 \quad (1)$$

Определим несущую способность сечения колонного агрегата по формуле 2:

$$N = R_y \times A_{ка} = 16,2 \times 50,24 \approx 814 \text{ кН} \quad (2)$$

81 т – несущая способность стенки (царги) агрегата.

В соответствии с Примечанием к пункту 2.1 [7]: Допускается превышение минимального значения

временного сопротивления при растяжении не более чем на 100 МПа, если в нормативно-технической документации на отливки нет других ограничений.

Следовательно, максимально возможная прочность чугуна СЧ 15-32 – $R_y = 280 \text{ МПа} \times \gamma_c = 280 \times 0,9 = 252 \text{ МПа} = 25,2 \text{ кН/см}^2$.

Несущая способность сечения колонного агрегата по формуле 3:

$$N = R_y \times A_{\text{ка}} = 25,2 \times 50,24 \approx 1266 \text{ кН} \quad (3)$$

$\approx 126 \text{ т}$ – несущая способность стенки (царги) агрегата, если минимальное значение временного сопротивления агрегата будет на 100 МПа больше, чем минимальное. Учитывая, что максимальное эквивалентное напряжение в агрегате от действующих нагрузок с учётом температурного воздействия составляет $NE01 = 6,63 \text{ кН/см}^2$, а усилие, возникающее в агрегате от проектных нагрузок, – $N = NE01 \times A_{\text{ка}} = 6,63 \times 50,24 = 333,09 \text{ кН} \approx 34 \text{ т}$. В качестве расчётного параметра для определения прочности сечения корпуса агрегата, расчётная схема которого представлена в виде консольного стержня, принято усилие $N = 600 \text{ кН} = 60 \text{ т}$.

Напряжение, возникающее в сечении колонного агрегата, который смоделирован консольным стержнем: $\sigma = 600 / A_{\text{ка}} = 600 / 50,24 = 11,9 \text{ кН/см}^2$. Из расчёта прочности корпуса агрегата, который смоделирован в виде консольного стержня, можно сделать такой вывод: данная расчётная схема не позволяет адекватно учесть напряжения, возникающего в агрегате от температурного воздействия в кольцевом направлении – поперёк сечения агрегата.

На основе полученных статистических, численных и экспериментальных данных сформулированы общие выводы:

Составлена уточненная объёмная расчётная схема аммиачно-известковой колонны с расчётным сочетанием нагрузок, описывающих технологический процесс работы данного агрегата, позволяющий учесть не только радиальные напряжения, но и кольцевые.

Проведен анализ идеализированного агрегата без учета коррозии, найден запас прочности, который составил 400 %.

Проведенный анализ влияния коррозионного износа, полученного в ходе нормальной эксплуата-

ции агрегата на протяжении 57 лет, показал, что запас прочности агрегата снизился на 25,48 %.

Выполнены построение и анализ расчётной схемы в программном комплексе Solidworks, который показал, что по количеству затраченного времени и ресурса персонального компьютера рациональнее использовать расчётный комплекс ЛИРА САПР.

При сравнении результатов двух программных комплексов были выявлены существенные расхождения, которые обусловлены методом приложения ветрового воздействия на модели.

Список литературы:

1. ГОСТ 25215-82. Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчёта на прочность. [Текст] – Введён впервые 01-07-1983. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам. – 1983. – 8 с.
2. ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Определение расчётных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий. [Текст] – Введён впервые 06-05-1999. – М.: Госстандарт России. – 1999. – 11 с.
3. Методы расчётов по технологии связанного азота. – 2-е издание. – [Текст] Под общей редакцией академика АН УССР В. И. Атрощенко. – К.: Вища школа. – 1978. – 312 с.
4. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия – Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. – 1988. – 36 с.
5. Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник. [Текст] Е. Р. Хисматуллин, Е. М. Королёв, В. И. Лившиц и др. – М.: Машиностроение. – 1990. – 384 с.
6. СТО 00220227-005-2009. Сосуды и аппараты, стальные сварные высокого давления. Общие технические характеристики. – Иркутск: ИРКУТ – 2011. – 209 с.
7. ГОСТ 1412-70. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. [Текст]. – Взамен ГОСТ 1412-79 в части марок чугуна. – М.: Государственный стандарт СССР. – 1970. – 3 с.
8. Галагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галагер; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
9. Городецкий, Д.А. Программный комплекс ЛИРА – САПР 2013: учебное пособие / Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов и др. – Киев – Москва: электронное издание, 2013. – 376 с.
10. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований: нормативно – технический материал. – К.: Минрегион-строй Украины, 2009. – 45 с.