

УДК 621.9.011

МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ РОБАСТНОЙ БАШНИ И ЕЁ ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОРТАЛОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СТАНКОВ

Студенты гр. 10305222: Жаврид Ю.Ю.¹, Крепская В.Я.¹,
Болиев Аббос Акбар угли²

Научные руководители – Довнар С.С.¹, Яцкевич О.К.¹, Касач Ю.И.¹,
Мардонов Умиджон Тохир угли², Лапука А.Д.¹

1) Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

2) Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Узбекистан

Термины и аббревиатуры

ТБ – технологическая башня;

НС – несущая система;

ИРНС – историческая робастная несущая система (давнее сооружение, выдержавшее по ходу времени ряд экстремальных нагрузжений и доказавшее этим свою робастность);

ИРБ – историческая робастная башня (в работе рассматриваются два близких типа таких башен – белорусская ИРБ «Белая Вежа» и узбекский вариант конической башни ИРБ «UzCone»);

АйванПортал – вариант компоновки порталной технологической машины, когда две технологические башни соединены стеной, в которой сделан технологический проем с профилем айвана (структура подобна среднеазиатскому пештаку)

ИИ – искусственный интеллект (в данной работе открытая система «text – to – graphics» DALL-E3)

Узбекская промышленность испытывает потребность в крупных порталных технологических машинах, например, в порталных продольно-фрезерных и продольно-шлифовальных станках. Портал – это всегда две колонны (стойки, башни), соединенные траверсами (поперечинами, стенами, мостиками и т.д.). Требованием узбекского машиностроения является

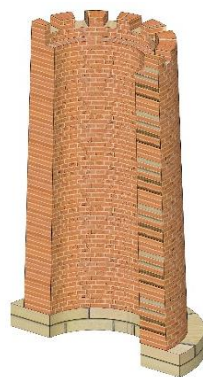
робастность (устойчивость, живучесть, прочность, жесткость НС) порталных машин. Белорусское станкостроение (например, ОАО «МЗОР») имеет существенный опыт создания робастных порталных станков. В данной работе обсуждается возможность проектирования робастных порталов на основе проверенных временем ИРНС. Одним из них является известная белорусская башня «Белая Вежа» (рис.1, а), имеющая 800-летнюю историю. Поэтому она может считаться ИРБ.



а



б



в

Рисунок 1 – Историческая белорусская башня «Белая Вежа» в г.Каменец (XIII-ый век): а – натуральный вид; б – вид, сгенерированный ИИ; в – 3D-модель несущей системы (НС)

Прежде всего, текстовый образ башни был использован для генерации её возможных геометрических вариаций. Один из вариантов спонтанного варьирования с помощью ИИ отражен на рис. 1, б. Здесь ИИ предложил 10(12)-гранную башню вместо конической.

Реалистичная 3D-модель башни в половинном виде представлена на рис. 1, в. Модель «Белой Вежи» была подвергнута виртуальным испытаниям методом конечных элементов (МКЭ). Сетка конечных элементов дана на рис. 2, а. Башня была нагружена одновременным действием силы тяжести и ураганного ветра с напором в 600 Па (рис. 2, б).

Картина эквивалентных напряжений σ_e (рис. 2, в) показывает постоянство напряжений в средней и нижней частях башни (маркеры 0,52674 МПа и 0,54581 МПа). Лишь на стыке башни с основанием наблюдается небольшая локальная концентрация напряжений (0,71762 МПа). Башню следует охарактеризовать как равнопрочную. Это обусловлено, прежде всего, нарастанием толщины её стен сверху вниз.

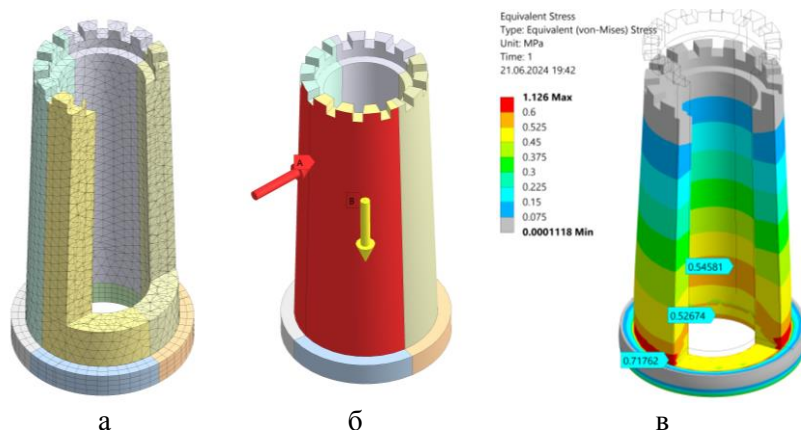


Рисунок 2 – МКЭ-моделирование ИРБ «Белая Вежа»: а – сетка конечных элементов; б – нагружение силой тяжести и ураганным давлением ветра; в – распределение эквивалентных напряжений σ_e (МПа; $\times 16000$)

Результаты МКЭ-оценки башни на рис. 3 показывают, что сооружение практически «не замечает» ураганный боковой ветер (и поэтому является действительно робастным). На рис. 3, дана картина векторов главных напряжений. Главные напряжения σ_1 и σ_2 повсюду близки к нулю и незаметны на рис. 3, а. Присутствуют только стрелки минимального главного напряжения σ_3 . Они всегда направлены вниз, по силе тяжести.

Распределение напряжения σ_3 на рис. 3, б показывает почти полное постоянство (и малую величину сжатия) по линии -0,55999 МПа до 0,55864 МПа. Вертикальное сжатие не угрожает прочности, а боковая нагрузка почти незаметна.

Итак, башню «Белая Вежа» можно считать ИРБ (вариант ИРНС) и использовать как проверенный образец при проектировании колонн и стоек технологических машин.

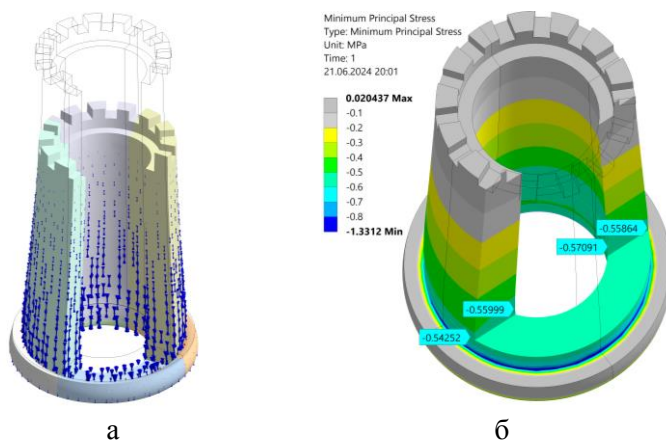


Рисунок 3 – Картины векторов главных напряжений (а; $\times 40000$) и минимального главного напряжения σ_3 (б; МПа: $\times 16000$) в ИРБ «Белая Вежа»

Оказалось, что геометрические формы «Белой Вежи» близки к очертаниям классических узбекских исторических башен. Общими чертами являются конусообразность, направленная вверх, и утолщение стен, ориентированное вниз. Далее узбекские конические башни будем обозначать ИРБ «UzCone». Базы фотографий узбекских башен, находящиеся в распоряжении использованного в работе ИИ, позволяют, надеемся, предложить их обобщенный облик (рис. 4). Фон пустыни использован ниже, как маркер того, что речь идет о башнях и порталах Средней Азии.

Башня на рис. 4, а выглядит как сравнительно податливое сооружение с небольшой конусностью. Она имеет приблизительно круговые поперечные сечения.

Башня на рис. 4, б сформирована ИИ как более жесткая структура с переменным сечением. Внизу башня является почти круглой, а вверху – квадратной.

III-генерация геометрических образов позволяет создать обобщенную геометрию не только субтильных башен (рис. 4), но и приземистых башен, способных быть основаниями для разных технических структур (рис. 5).



а



б

Рисунок 4 – III-образы вытянутых узбекских ИРБ-башен «UzCone» конусного типа (а) и типа «круг – квадрат» (б)

Башня на рис. 5, а является цилиндрической. Она может быть полезна как колонна, например, радиальной машины. III-образ с рис. 5, а интересен, в частности для создания аддитивно-субтрактивного лазерно-сверильного или разрезного станка.

Реальные узбекские исторические порталы – это композиции из башен, порталной стены и айвана (проема со стрельчатой аркой). Их описывает рис. 6. Такие порталы обозначают обычно термином «пештак».



а



б

Рисунок 5 – ИИ-образы узбекских ИРБ-башен большого диаметра цилиндрического (а) и конусного типа (б)



а



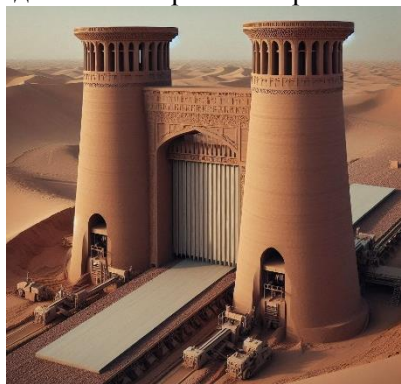
б

Рисунок 6 – Исторические узбекские порталы «пейштак» с парами башен и центральными нишами – айванами в вариантах (а, б)

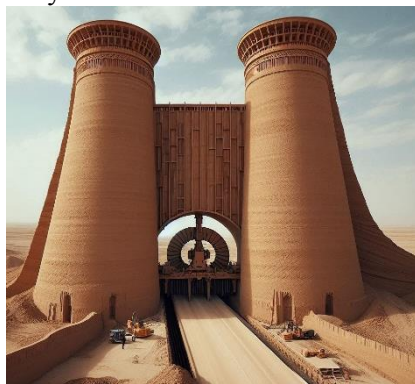
Техническая ИИ-интерпретация исторических порталов дана на рис. 7. Обратим внимание, что башни, ограничивающие и удерживающие порталную стену (рис. 7, а), являются практически полными копиями ИРБ «Белая Вежа». Это ИИ-сходство возникло спонтанно. Оно никак не стимулировалось в текстах запросов.

Данное сходство, по-видимому, обусловлено просто близостью решений ИРБ «Белая Вежа» и ИРБ «UzCone».

Пара башен на рис. 7, б оказалась самопроизвольно близкой по форме к стволам деревьев. Данные башни похожи на стволы дубов. Это известные бионические решения. Так, форма дуба использовалась при построении в XIX-ом веке английского маяка Эдистон в открытом море возле Плимута.



а



б

Рисунок 7 – III-образы ИРНС «АйванПортал» с симметричными башнями (а; типа «Белая Вежа») и с бионическими башнями (б; типа «маяк Эдистон»)

На рис. 8 представлены варианты порталов с усиленной поддержкой несущей системы. На рис. 8, а типовые башни окружены с внешних сторон столбчатыми структурами. Пара башен на рис. 8, б выглядит весьма робастно. Основания башен увеличены. Это, в частности, важно для сейсмостойчивости. Конусность башен усилена. В верхних частях башен выделены развитые фонари с обратной конусностью. Потенциально они могут быть полезны как инерционно-массовые демпферы технологических и сейсмических колебаний портала.

Итак, выявлена близость геометрии исторических робастных несущих систем «Белая Вежа» и «UzCone». Конические башни с утолщающимися к низу стенами перспективны для конструирования порталных машин повышенной робастности для среднеазиатского региона.



а



б

Рисунок 8 – ИИ-образы ИРНС «АйванПортал» со внешней поддержкой башен (а) и с башнями сильной конусности (б)

По результатам МКЭ-анализа и генерации ИИ-образов предлагаются следующие практические оценки:

- для создания порталных машин весьма интересна схема «АйванПортал» с башнями типа «Белая Вежа»-«UzCone»;
- ограничивающие башни должны жестко поддерживать порталную стену с айваном;
- башням «АйванПортала» следует придавать увеличенные размеры горизонтальных сечений;
- интересным смотрится умышленное увеличение оснований и увеличение конусности башен «АйванПортал»;
- профиль айвана (проема) может быть весьма изменчив; следует подстраивать его под конкретную порталную машину;
- ожидается, что порталные машины по схеме «АйванПортал» будут обладать повышенной сейсмоустойчивостью;
- схема «АйванПортал» интересна как для создания крупногабаритных продольных станков, так для проектирования металлургических и химических поточных линий.