

3. Liu, J., Gaynor, A. T., Chen, S., Kang, Z., Suresh, K., Takezawa, A., ... & To, A. C. (2018). Current and future trends in topology optimization for additive manufacturing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 57, 2457–2483. <https://doi.org/10.1007/s00158-018-1994-3>
4. Гуменюк, В. Д., & Ковальчук, І. В. (2019). Оптимізація конструкцій машинобудівних виробів із застосуванням сучасних CAD/CAE систем. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ»*, 2(85), 45–52.
5. Autodesk. (2023). *Generative Design in Fusion 360 – User Guide*. Retrieved from <https://help.autodesk.com>

УДК 691.32:624.042

ГЕНЕРАТИВНЕ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛИТИ БЕТОННОЇ ОГОРОЖІ З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Д.О. Довгаль¹, О.О. Муха²

¹доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: dovhal.d.o@nmu.one

²студент групи МЗ-25-1, e-mail: Mukha.Ol.O@nmu.one

^{1,2}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. Розглянуто застосування генеративного проектування для оптимізації плити бетонної огорожі типу «європаркан». Досліджено стандартну плиту 2000×500×50 мм, встановлену в нижньому ярусі секції та навантажену вагою трьох плит і вітровим впливом. Побудовано розрахункову схему з урахуванням монтажних люфтів, визначено внутрішні зусилля та виконано генеративне проектування в Autodesk Fusion 360 з отриманням оптимізованої та технологічної конструкції.

Ключові слова: concrete fence, panel, generative design, Autodesk Fusion 360, engineering design, 3D modeling, structural optimization.

GENERATIVE DESIGN OF A CONCRETE FENCE PANEL UNDER SPATIAL LOADING

Denys Dovhal¹, Olena Mukha²

¹Ph.D., Associate Professor, e-mail: dovhal.d.o@nmu.one

²Student, e-mail: Mukha.Ol.O@nmu.one

^{1,2}Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper considers the application of generative design for optimizing a concrete fence panel. The panel is subjected to vertical load from three upper panels and frontal wind pressure applied perpendicular to its surface. The structural model is refined considering mounting clearances. A generative design model is developed in Autodesk Fusion 360, resulting in a lightweight and structurally efficient configuration.

Keywords: generative design, Autodesk Fusion 360, engineering design, educational process, 3D modeling, structural optimization.

Вступ. Плити бетонних огорож є поширеними дрібнорозмірними будівельними елементами, які одночасно виконують несучу та огорожувальну функції. Їх геометрія традиційно визначається формою лиття і декоративними вимогами, а не реальними умовами роботи конструкції.

Унаслідок цього виникають такі проблеми:

- надлишкова матеріалоемність;
- підвищена маса конструкції;
- локальні концентрації напружень;
- неефективне використання матеріалу.

Сучасні підходи генеративного проектування дозволяють формувати конструкцію за принципом: “навантаження → розподіл матеріалу → форма”.

Це особливо актуально для плит огорож, які працюють у складних умовах просторового навантаження.

Мета роботи розроблення оптимізованої конструкції плити бетонної огорожі методом генеративного проектування з урахуванням реальних навантажень для зменшення маси при збереженні міцності та жорсткості.

Матеріал і результат досліджень. Як вихідний об’єкт дослідження прийнято стандартну плиту бетонної огорожі типу «європаркан», що широко використовується у будівництві як огорожувальний елемент та виготовляється методом лиття.

Основні параметри плити:

- габарити: 2000×500×50 мм
- маса: близько 60 кг

Значна маса виробу свідчить про надлишкову матеріалоемність і наявність потенціалу для оптимізації конструкції.

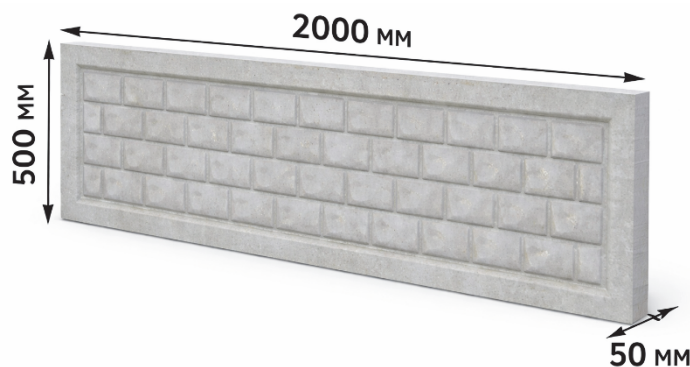


Рис. 1. – Вихідна бетонна плита огорожі

Розрахункова схема. Через наявність монтажних люфтів 5–7 мм у пазах стовпів повне заземлення не формується. Тому плиту доцільно розглядати як: однопролітну балку, наближено шарнірного опирання.

При цьому:

- на початковому етапі переміщення вільні;
- після вибору люфту виникає контакт;
- крайові зони частково обмежують рух.
-



Рис. 2. – Розрахункова схема плити

Розраховане вертикальне навантаження від маси 3-х верхніх плит секції унок вертикального навантаження (маса 3-х верхніх плит секції) [6]:

$$q_v = 900 \text{ Н/м.}$$

Розраховане максимальне вітрове навантаження складає [6]

$$F_w = 275 \text{ Н.}$$

Вітрове навантаження прикладене перпендикулярно площині плити, що формує додатковий згин у другій площині.

Особливості роботи конструкції полягають у тому, що плита працює як система двовісного згину. Це означає: одночасний згин у двох площинах; складний напружений стан; необхідність просторової оптимізації.

З урахуванням шарнірно-опертої схеми побудовано епюри поперечних сил і згинальних моментів від вертикального q_v та вітрового q_w навантажень. Вертикальне навантаження викликає згин у вертикальній площині, а вітрове — у горизонтальній. Епюри мають характерний вигляд: поперечні сили змінюються лінійно, а згинальні моменти — за параболічним законом з максимумом у середині прольоту. Це підтверджує роботу плити в умовах двовісного згину та слугує основою для подальшого генеративного проектування.

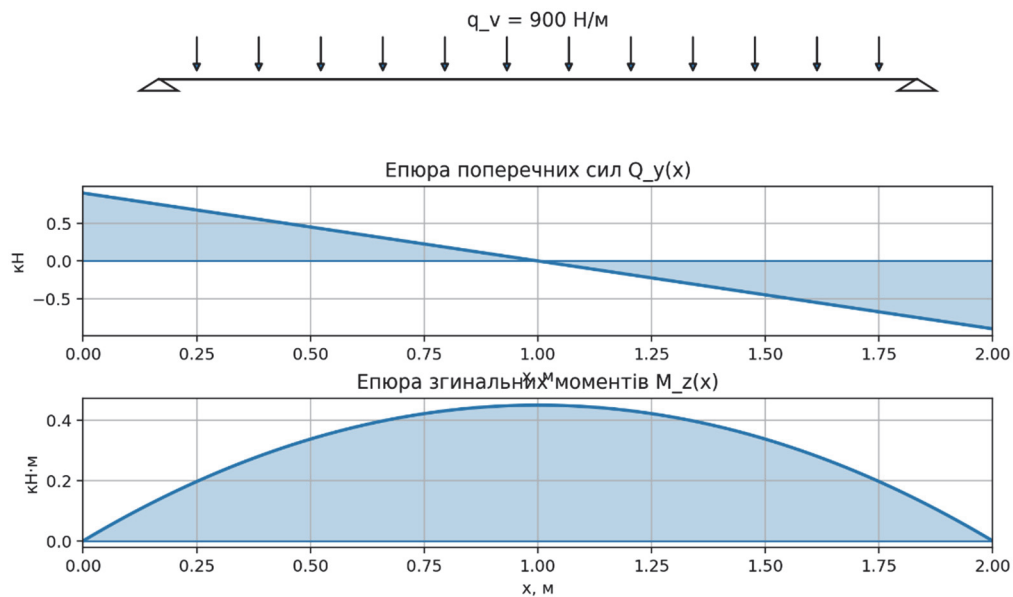


Рис. 3. – Епюри поперечних сил та згинальних моментів від вертикального навантаження

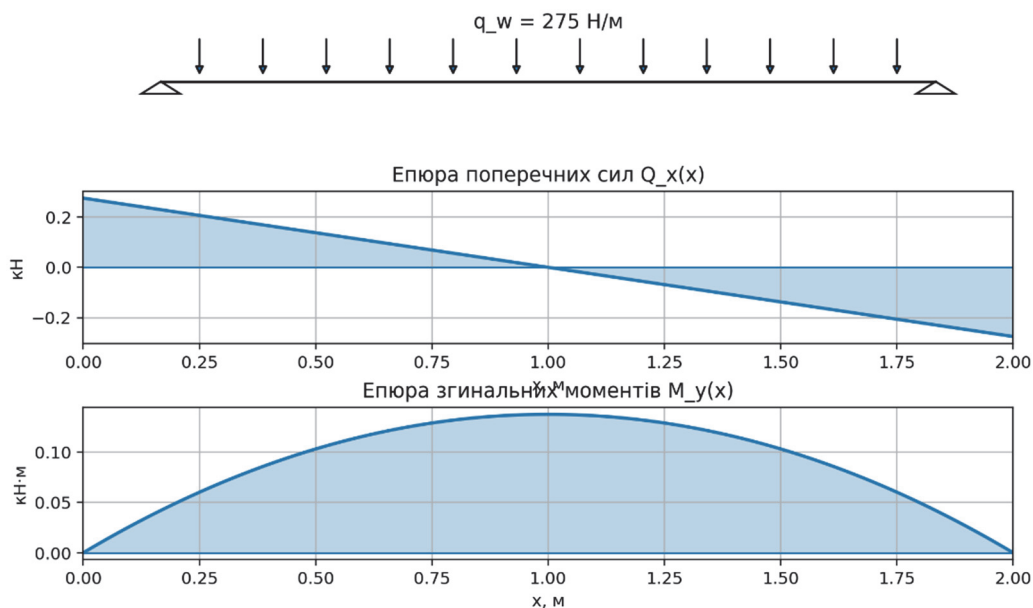


Рис. 4. – Епюри поперечних сил та згинальних моментів від вітрового навантаження

Отримані епюри поперечних сил і згинальних моментів свідчать про те, що плита працює під дією двох незалежних систем навантажень, які викликають згин у взаємно перпендикулярних площинах. Вертикальне навантаження q_v формує згин відносно горизонтальної осі (вісь z), тоді як вітрове навантаження q_w , прикладене перпендикулярно до площини плити, викликає згин відносно вертикальної осі (вісь y).

У результаті цього напружений стан плити не може бути розглянутий як плоский, а характеризується як просторовий (двовісний) згин.

Аналіз показує, що основний внесок у напружений стан вносить вертикальне навантаження, тоді як вітрове змінює розподіл напружень. Максимальні напруження виникають у середині прольоту, а в крайових зонах наявні ділянки з пониженим навантаженням, що свідчить про існування неефективних зон у суцільній плиті.

Це підтверджує невідповідність традиційної геометрії реальним силовим потокам та наявність надлишкового матеріалу. У зв'язку з цим доцільним є застосування генеративного проектування, яке забезпечує раціональний розподіл матеріалу відповідно до напруженого стану.

Генеративний підхід дозволяє зменшити масу конструкції, знизити напруження, підвищити жорсткість і усунути їх локальні концентрації, що обґрунтовує його використання в середовищі Autodesk Fusion 360.

Таблиця 1. – Блок параметрів для генеративного проектування

Параметр	Значення
Габарити	2000×500×50 мм
Люфти	5–7 мм
Схема	шарнірно-оперта
q_v	900 Н/м
q_w	275 Н/м
Матеріал	фібробетон
Зони збереження	рамка
Проектна область	центральна частина плити обмежена рамкою
Обмеження	технологічність

Алгоритм генеративного проектування моделі включає:

- виділення зон збереження
- задання навантажень
- генерацію варіантів
- вибір оптимальної геометрії

З метою оцінки ефективності застосування генеративного проектування виконано порівняльний аналіз стандартної суцільної плити бетонної огорожі та оптимізованої конструкції, отриманої в середовищі Autodesk Fusion 360. Оцінювання здійснювалося за основними інженерними критеріями: маса, напружений стан, жорсткість, характер розподілу матеріалу та технологічність виготовлення. Результати аналізу наведено в табл.2.

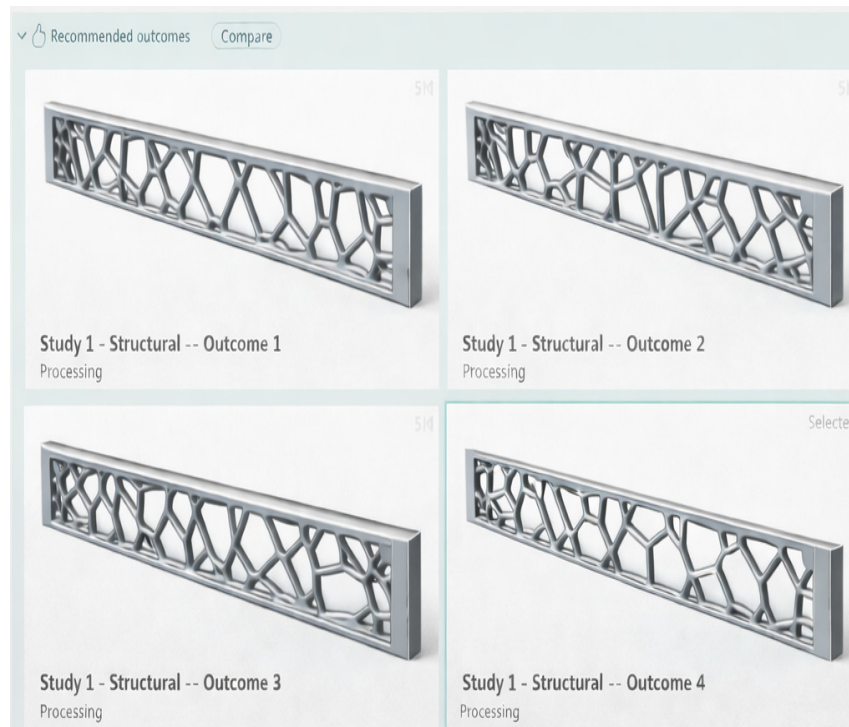


Рис. 5. – Варіанти генеративних конструкцій плити бетонної огорожі в середовищі Autodesk Fusion 360

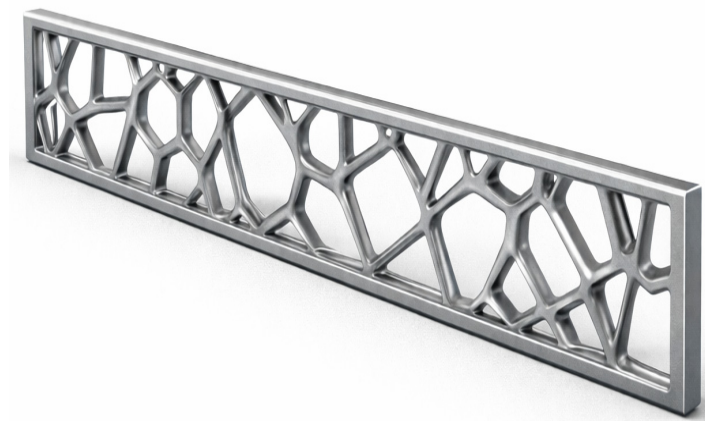


Рис. 6. – Генеративна модель плити бетонної огорожі (оптимізований варіант)

Для кількісної оцінки ефективності генеративної конструкції проведено чисельний аналіз у середовищі Autodesk Fusion 360. Отримані результати включають значення максимальних напружень, переміщень та коефіцієнта запасу міцності для стандартної та оптимізованої плит (табл.3).

Аналіз даних (табл. 2, 3) показує, що генеративна плита має суттєві переваги порівняно зі стандартною. Її маса зменшується приблизно на 30% за рахунок видалення слабонавантажених зон, при цьому максимальні напруження знижуються, що свідчить про більш раціональний розподіл матеріалу.

Таблиця 2. – Порівняльний аналіз конструкцій плит

Параметр	Стандартна плита	Генеративна плита	Коментар
Габаритні розміри	2000×500×50 мм	2000×500×50 мм	Геометричні обмеження однакові
Маса, кг	≈ 60	≈ 40–45	Зменшення на 25–35%
Тип конструкції	Суцільна	Порожниста, біонічна	Раціональний розподіл матеріалу
Характер роботи	Одновісний згин (умовно)	Двовісний згин	Враховано реальні умови навантаження
Максимальні напруження	Вищі, локальні концентрації	Нижчі, рівномірні	Краще використання матеріалу
Розподіл напружень	Нерівномірний	Оптимізований	Відповідає силовим потокам
Жорсткість конструкції	Надлишкова в окремих зонах	Раціональна	Без втрати несучої здатності
Матеріалоємність	Висока	Знижена	Оптимізація об'єму
Технологічність	Проста форма, але перевитрата матеріалу	Потребує складнішої форми	Можливе лиття у форму
Ефективність конструкції	Низька	Висока	Краще співвідношення маса/міцність

Таблиця 3. – Порівняння результатів розрахунку (Fusion 360)

Параметр	Стандартна плита	Генеративна плита
Маса, кг	60	42
Макс. напруження (von Mises), МПа	0.44	0.32
Макс. переміщення, мм	0.042	0.038
Коефіцієнт запасу міцності	≈ 100	≈ 180
Об'єм матеріалу, мм ³	5.57×10 ⁷	3.95×10 ⁷

Переміщення залишаються на рівні стандартної плити, що підтверджує збереження жорсткості, а коефіцієнт запасу міцності зростає, підвищуючи надійність конструкції.

Результати узгоджуються з епюрами зусиль: матеріал концентрується в зонах максимальних моментів і частково видаляється в менш навантажених ділянках, формуючи біонічну структуру.

Таким чином, генеративне проектування дозволяє зменшити масу, знизити напруження, забезпечити їх рівномірний розподіл та підвищити ефективність конструкції.

Отримані результати доводять доцільність використання генеративного підходу при проектуванні елементів бетонних огорож.

Висновки.

- Уточнена розрахункова схема плити з урахуванням монтажних люфтів відповідає шарнірно-опертій балці та відображає реальні умови роботи конструкції.



- Встановлено, що сумісна дія вертикального та вітрового навантажень призводить до двовісного згину та формування просторового напруженого стану.
- Аналіз стандартної плити показав наявність неефективних зон та надлишкової матеріалоемності конструкції.
- Застосування генеративного проектування дозволило зменшити масу плити на 25–35% при одночасному зниженні напружень і збереженні жорсткості.
- Отримана конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл напружень і є технологічно придатною для виготовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Baek, S. Y., & Lee, J. (2021). Artificial intelligence-driven generative design for mechanical engineering. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **103**, 104290. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104290>
2. Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, **43**(1), 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.09.009>
3. Liu, K., & Ma, Y. (2022). Recent advances in generative design and topology optimization. *Computers in Industry*, **135**, 103584. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103584>
4. Autodesk. (2023). *Fusion 360 User Guide*. Autodesk Inc. <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/>
5. Bendsoe, M. P., & Sigmund, O. (2003). *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05086-6>
6. ДБН В.1.2-2:2006. (2006). *Навантаження і впливи*. Київ: Мінбуд України.

УДК 005.963.1:629.7.-027.3

ІМІТАЦІЙНА МУЛЬТИАГЕНТНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ І ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕЛОКАЦІЇ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Л.М. Лутай

доцент кафедри мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: l.lutay@khai.edu

Анотація. У роботі розглядається задача дослідження диверсифікації підприємства для відновлення високотехнологічного виробництва (авіаційна техніка, БПЛА, ракетобудування, тощо) за рахунок релокації та зміни постачальників комплектуючих. Дослідження, яке проводиться спрямоване на відновлення високотехнологічних підприємств в період особливого та поствоєнного стану країни.

Ключові слова: віртуальне підприємство, високотехнологічна продукція, прикладна інформаційна технологія, скорочення життєвого циклу, технологічна підготовка виробництва.