

ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МОБІЛЬНИХ ФУНДАМЕНТІВ ТА ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

²Вінницький національний технічний університет

Виконано короткий огляд перспективних напрямів розвитку в галузі будівництва металевих, зокрема, мобільних фундаментів. Це сприятиме здешевленню та популяризації таких фундаментів, що можуть стати науково-практичною базою для фундаментобудування, зокрема для модульного будівництва на основі металоконструкцій. На відміну від зварних для болтових конструкцій спрощується монтаж та болтові з'єднання забезпечують можливість демонтажу конструкції з перевезенням на інше місце, що важливо для ангарів, складів, які змінюють локацію. Наведено приклад топологічної оптимізації конструкції мобільного фундаменту та розглянуто конструкцію мобільного фундаменту, що використовує ефект розпору, а також перспективну конструкцію для виготовлення за 3D-технологією. Зазначено про ефективний засіб зниження вартості металоконструкцій – це зменшення витрат металу. Сучасні фундаменти, що представляють єдині масивні конструкції, можуть бути суттєво полегшені завдяки використанню збірних шарнірно-стрижневих систем або суцільних литих металоконструкцій з порожнинами, які істотно не впливають на напружено-деформований стан фундаменту. Застосовані методи дослідження: моделювання, огляд та узагальнення вивчених матеріалів, присвячених проблематиці статті. Значні можливості має застосування литих металоконструкцій, зокрема виготовлених способом лиття за моделями, що газифікуються. Наведено приклади моделювання крупних виливків, та виготовлених моделей з застосування 3D-технологій з досвіду ливарної практики ФТІМС НАНУ. Будівництво із застосуванням металоконструкцій має всі передумови стати ефективним рішенням в будівельній галузі, що сприятиме відбудові нашої країни, яка отримує метал із власних руд і здатна перевести його у високотехнологічний наукомісткий товар, зокрема у вигляді легковагих будівельних металоконструкцій.

Ключові слова: 3D-технології; металевий фундамент; модульне будівництво; мобільний фундамент; топологічна оптимізація; будівельні металоконструкції; лиття за моделями, що газифікуються.

Вступ

Будівництво із застосуванням металоконструкцій має всі передумови стати ефективним рішенням в будівельній галузі, що сприятиме відбудові країни. Модульні будівлі – будинки чи споруди з модулів заводського виготовлення, зібрані з одного і більше блоків. Це переважно тимчасові будівлі, які можуть легко демонтуватися і перевозитися на інше місце. На відміну від зварних для болтових конструкцій спрощується монтаж, а також болтові з'єднання забезпечує можливість демонтажу конструкції з перевезенням на інше місце, що, зокрема, важливо для ангарів, складів, які змінюють локацію.

Результати огляду, моделювання та технологічних розробок

Під модульну будівлю вдало підходить мобільний фундамент, який поки що слабо поширений, але має потенціал набору популярності. Головна вимога до мобільного фундаменту – бути легким та міцним. Поєднання легкого матеріалу з оптимальною формою здатне дати найвигідніший фундамент. Приклади литих конструкцій вузлів-конекторів будівельних металоконструкцій розглянуто в роботі [1], а деякі приклади виливків для металевих опорних вузлів фундаменту переважно з болтовим кріпленням наведено на рис. 1, що вибрані з ілюстрацій у відкритих джерелах інтернету.

Проектування оптимальної форми фундаменту нині пов'язане з топологічною оптимізацією попередньо заданої форми. Наприклад, перебираючи в Autodesk Inventor [2] вибрано плоскі опорні конструкції та рівень навантаження на них, що дозволило змодельовати варіант конструкції, представлений на рис. 2, а. Оскільки мобільні будівлі невисокі і фундамент зазвичай зазнає моментних навантажень, однакових з усіх сторін, то вигідніше застосовувати круглий фундамент. Програмою запропоновано [2] чотири зв'язки між двома плоскими платформами (площадками). Аналогічно запропонованій моделі, можна створити таку конструкцію, як на рис. 2, б, в якій момент від будівлі передається через площадку 3 і повзун 5, який є трубою в трубі та не перешкоджає при цьому вертикальним деформаціям платформи 2. Навантаження передається через шарнірно з'єднанні між платформами стрижні 1, які через опори 4 передають його на платформу 2, одночасно розтягуючи її, створюють розпір, що перешкоджає зминанням платформи 2 під дією опору ґрунту та дозволяє робити

її тонше.



Рисунок 1 - Приклади литих металевих опорних деталей фундаменту.

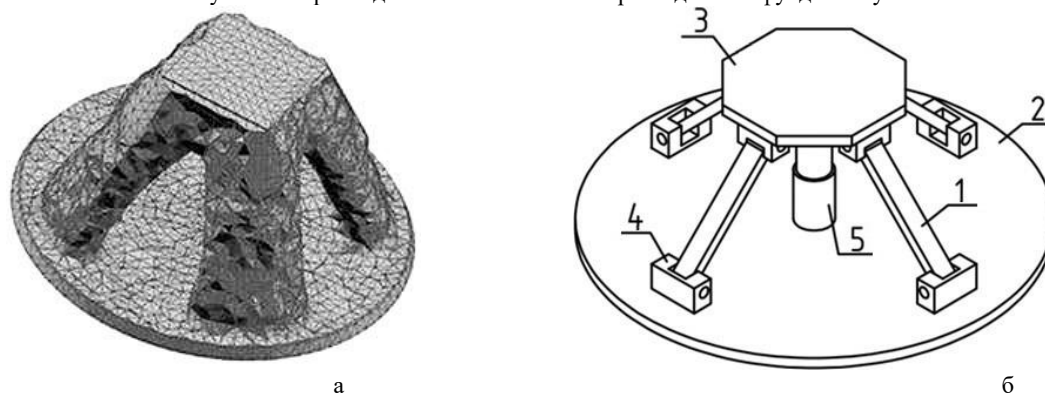


Рисунок 2 – Топологічна оптимізований варіант моделі фундаменту – а та ізометрія запропонованої збірної конструкції - б: 1 - стрижень; 2 - платформа; 3 – площадка; 4 - опора; 5 - повзун.

Головний параметр системи – кут α (рис. 3) між стрижнем 1 і платформою 2, змінюючи який можна знаходити необхідні товщини платформ і переріз стрижнів, тому вирішити дану задачу здатні програми з можливістю параметризації та перебору рішень з певним кроком параметра (кута α), наприклад ANSYS, COMSOL [2].

Діаметр платформ 2 приймається, виходячи з ґрунтових умов. Для прикладу, розрахунок фундаменту проведено, взявши функцію D , см, в залежності від P , де P – навантаження на фундамент, т. Необхідно домогтися виконання вимог щодо міцності та жорсткості при мінімальному об'ємі конструкції. Використовуючи сталь С245, підібрано лінійку оптимальних розмірів фундаменту. Це здійснено з заданим проектантом кроком, при цьому відзначено, що оптимальний кут α змінюється за складною функцією, оскільки чим менше кут, тим сильніше розтягнення платформи 2 і ймовірніше досягнення межі плинності, але чим більше кут, тим товщою треба робити платформу 2 для опору на ґрунт. Взявши $D_{\text{в}} = 20$ см (рис. 3) в роботі [2], запропоновано мінімальні розміри деталей металоконструкції, виходячи з навантаження P , які зведено в табл. 1.

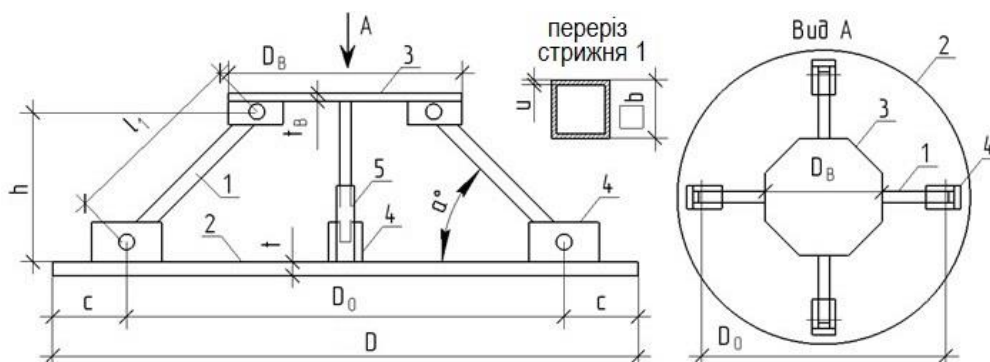


Рисунок 3 – Конструкція збірного мобільного фундаменту (позначення, як на рис. 2).

Таблиця 1

Мінімальні параметри збірного фундаменту для лінійки навантажень Р, т.

$P, \text{ т}$	2,5	5	7,5	10	15	20	25	40
$D, \text{ см}$	33	47	57	66	80	93	104	131
$t_{\text{в}}, \text{ мм}$	9	12	15	17	21	24	27	34
$t, \text{ мм}$	6	9	11	13	17	20	23	29
a°	24	30	47	15	22	30	38	26
$h, \text{ см}$	1	5	14,5	4,8	10	18	29	25
$l_1, \text{ см}$	1,6	9,8	20	18,6	27	36	47	56
$m, \text{ кг}$	6,21	15	25,7	39	72	112	159,6	314,2

Таким способом розрахований фундамент легший за аналогічний бетонний приблизно в 4–5 разів [2]. Фундамент під незначні навантаження – до 5 тонн – раціональніше виконувати у вигляді єдиної конструкції. При цьому використовуючи не круглі, а квадратні платформи для спирання на ґрунт, що покращує транспортабельність. Також при виробництві можливе використання композитних матеріалів, якщо це дасть вигравш у собівартості.

За сучасних умов з поширенням 3D-технології виробництва для дрібних серій стає вигідним використання цієї перспективної технології, оскільки вона дозволяє залучити програми топологічної оптимізації конструкцій, за допомогою яких можна нескладно «видалити» той об’єм у конструкції, який не включений у роботу, що сприяє заощадженню матеріалів. Наприклад, на рис. 4 представлено модель оптимізованого фундаменту, ступінь вибірки порожнин у ньому залежить від навантаження [2].

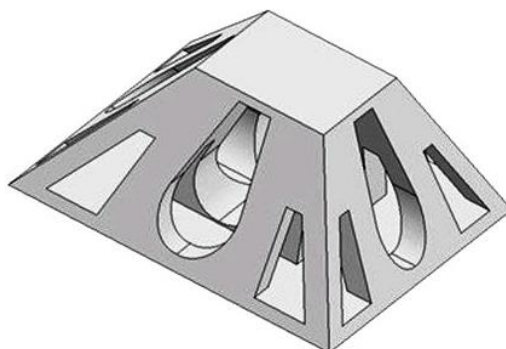


Рисунок 4 – Пропонована модель мобільного фундаменту для виготовлення з застосуванням 3D-технологій.

Значні можливості має застосування литих металевих конструкцій, виготовлених способом лиття за моделями, що газифікуються, (ЛГМ), оскільки цей процес дозволяє недорого за вартістю (особливо дрібними серіями для будівництва конкретної споруди) виготовляти металеві вироби. Для ЛГМ-процесу під науковим керівництвом проф. О.Й. Шинського уже тривалий час в інституті ФТІМС НАН України застосовуються 3D-технології для виготовлення ливарних моделей [3-5].

Разові моделі з пінополістиролу (ППС) для ЛГМ традиційно виготовляють як у прес-формах, так і вирізанням на нескладному верстаті нагрітим ніхромовим дротом, а також нині все частіше - на 3D-фрезерах. Ряд прикладів моделей із ППС, за якими було виготовлено фасонні литі металоконструкції, подібні за розміром до вищепоказаних деталей фундаменту на рис. 1, наведено на рис. 5. А приклади

вирізання крупних моделей на 3D-фрезерах показано на рис. 6, що свідчить про значний досвід в освоєнні у ФТІМС НАНУ лиття за ЛГМ-процесом як масивних та крупногабаритних металопродукцій, так і володіння 3D-технологіями модельного виробництва.



Рисунок 5 – Крупні моделі з ППС, за якими ливарниками ФТІМС НАНУ було виготовлено металопродукцію.



Рисунок 6 – Ливарні разові моделі з ППС, виготовленні у ФТІМС НАНУ за 3D-технологіями.

Висновки

Таким чином, виконано короткий огляд перспективних напрямів розвитку в галузі будівництва металевих, зокрема, мобільних фундаментів. Це сприятиме здешевленню та популяризації таких фундаментів, що можуть стати науково-практичною базою для фундаментобудування, зокрема для модульного будівництва на основі металопродукцій. На відміну від зварних для болтових конструкцій спрощується монтаж та болтові з'єднання забезпечують можливість демонтажу конструкції з перевезенням на інше місце, що важливо для ангарів, складів, які змінюють локацію. Наведено приклад топологічної оптимізації конструкції мобільного фундаменту та розглянуто конструкцію мобільного фундаменту, що використовує ефект розпору, а також перспективну конструкцію для виготовлення за 3D-технологією. Зазначено про ефективний засіб зниження вартості металопродукцій – це зменшення витрат металу. Сучасні фундаменти, що представляють єдині масивні конструкції, можуть бути суттєво полегшені завдяки використанню збірних шарнірно-стрижневих систем або суцільних конструкцій з порожнинами, які істотно не впливають на напружено-деформований стан фундаменту. Дослідження проведено такими методами: моделювання, огляд та узагальнення вивчених матеріалів, присвячених проблематиці статті. Значні можливості має застосування литих металопродукцій, зокрема виготовлених способом лиття за моделями, що газифікуються. Наведено приклади з досвіду лиття крупних конструкцій. При цьому будівництво із застосуванням металопродукцій має всі передумови стати ефективним рішенням в будівельній галузі, що сприятиме відбудові нашої країни, яка отримує метал із власних руд і здатна перевести його у високотехнологічний наукомісткий товар, зокрема у вигляді будівельних металевих конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошенко В.С., Янченко О.Б. Передумови виробництва вузлів-конекторів будівельних металопродукцій ливарним способом за разовими моделями. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2022. Том 32. № 1. С. 14-20.
2. Виноградов Н.А., Преснов О.М., Назаров Р.О., Бадасян В.В. Проектирование мобильного фундамента. *Перспективы науки*. 2022. №1. С. 23-26.
3. Дорошенко В.С., Шинский И.О. 3D-технологии при литье по газифицируемым моделям. *Металл и литье Украины*. 2009. № 4-5. С. 30 – 33.

4. Дорошенко В.С. 3D технологии изготовления отливок как примеры аддитивного производства. *Металл и литье Украины*. 2014. № 12. С. 4–9.
5. Дорошенко В.С. 3D-технологии для формовки и литья. *Литье и металлургия*. 2015. № 3. С. 30-39.

REFERENCES

1. Doroshenko V.S., Yanchenko O.B. (2022). Prerequisites for the production of connector nodes of construction metal structures by casting method according to one-off models. *Suchasni tehnologiyi, materialy i konstrukciyi v budivnictvi*, Vol. 32, no. 1, pp. 14-20 [in Ukrainian].
2. Vinogradov N.A., Presnov O.M., Nazarov R.O., Badasyan V.V. (2022). Mobile foundation design. *Perspektivnyi nauki*, no. 1, pp. 23-26 [in Russian].
3. Doroshenko V.S., Shinskij I.O. (2009). 3D technologies in the Lost Foam casting process. *Metall i lite Ukrainy*, no. 4-5, pp. 30–33 [in Russian].
4. Doroshenko V.S. (2014). 3D casting technologies as examples of additive manufacturing. *Metall i lite Ukrainy*, no. 12, pp. 4–9 [in Russian].
5. Doroshenko V.S. (2015). 3D technologies for molding and casting. *Lite i metallurgiya*, no. 3, pp. 30-39 [in Russian].

Дорошенко Володимир Степанович – д-р техн. наук, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (м. Київ), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

Янченко Олександр Борисович – кандидат техн. наук / Ph.D., доцент, кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.

V. Doroshenko¹
O. Yanchenko²

DESIGN OF METAL STRUCTURES OF MOBILE FOUNDATIONS AND FOUNDRY TECHNOLOGY FOR THEIR PRODUCTION

¹Physical and Technical Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
²Vinnitsia National Technical University

A short overview of promising directions of development in the field of construction of metal, in particular, mobile foundations, was made. This will contribute to the cheapening and popularization of such foundations, which can become a scientific and practical basis for foundation construction, in particular for modular construction based on metal structures. Unlike welded for bolted structures, installation is simplified and bolted connections provide the possibility of disassembling the structure with transportation to another place, which is important for hangars, warehouses that change location. An example of topological optimization of a mobile foundation design is given, and a mobile foundation design that uses the strut effect is considered, as well as a promising design for manufacturing using 3D technology. It was noted that an effective means of reducing the cost of metal structures is the reduction of metal consumption. Modern foundations, which are single massive structures, can be significantly lightened thanks to the use of prefabricated hinge-rod systems or solid cast metal structures with cavities, which do not significantly affect the stress-strain state of the foundation. Applied research methods: modeling, review and generalization of the studied materials, devoted to the issues of the article. The application of cast metal constructions, in particular those made by Lost Foam casting process, has significant opportunities. Examples of modeling of large castings and manufactured models using 3D technologies from the experience of foundry practice of PTIMA of the National Academy of Sciences are given. Construction using metal structures has all the prerequisites to become an effective solution in the construction industry, which will contribute to the reconstruction of our country, which receives metal from its own ores and is able to convert it into a high-tech, knowledge-intensive product, in particular in the form of lightweight construction metal structures.

Keywords: 3D technologies; metal foundation; modular construction; mobile foundation; topological optimization; construction metal structures; Lost Foam casting.

Doroshenko Volodymyr – Dr. Sci. (Engin.), Leading Researcher, Department of Physical Chemistry of Foundry Processes, Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

Yanchenko Olexander – PhD (Engin.), Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.