

УДК 69:004.925.84

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕТАПІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО БУДІВНИЦТВА ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ

Нікіфорова Т. Д., докт. техн. наук, проф.; **Гусєв В. О.**, аспір.;
Титюк А.О., канд. техн. наук, доц.
*Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

Постановка проблеми. 3D-друк – це процес друку, який включає в себе створення тривимірних об'єктів з цифрових моделей шляхом накладання великої кількості тонких шарів швидковисихаючого матеріалу один на одного [1].

Ключові питання для впровадження технології 3D-друку у будівництві безпосередньо пов'язані з фізичною частиною виробничого процесу. Але дуже важливим елементом є також підготовка комп'ютерної моделі для виготовлення деталей та конструкцій, які враховують особливості, безпосередньо, технології 3D-друку. Дослідження в цьому напрямі дуже фрагментарні й уривчасті [2], тому необхідно ретельно проаналізувати основний робочий процес 3D-друку в будівельній галузі.

Мета дослідження. Аналіз створення та процес підготовки інформаційної 3D-моделі для зведення будівельних об'єктів та їх елементів в автоматизованому процесі 3D-будівництва, з точки зору програмного забезпечення. Вивчення особливостей робочого процесу 3D-друку.

Результати дослідження. Важливим елементом для впровадження технології 3D-друку у будівництві є підготовка комп'ютерної моделі для виготовлення деталей. Сучасний рівень 3D -комп'ютерної графіки як з точки зору програмного, так і апаратного забезпечення дозволяє без особливих складнощів будувати такі цифрові моделі. Ця мета реалізується за допомогою безлічі комерційних, а також програмних пакетів з відкритим доступом.

Робочий процес 3D-друку складається з декількох етапів [3]:

1) створення майбутньої моделі у програмі 3D-моделювання; 2) експорт готової моделі у файл в загальному форматі обміну 3D-даними (в технології 3D-друку, здебільшого, використовується форматом STL); 3) обробка та збереження даних для розкладання моделі на фрагменти (утворення 2D-контурних ліній, які додатково обробляються для створення команд управління, що дозволяє позиціонувати друкуючу голівку або лазерний промінь 3D-принтера); 4) після того, як будуть створені оптимальні команди управління інструменту для всієї структури, вони перекладаються на мову програмування з числовим управлінням, відомою як G-код (NC-код) для керування роботами, які використовуються в автоматизованому процесі будівництва.

У більшості випадків, для друку цифрової 3D-моделі, що була створена в програмі 3D-моделювання, достатньо зберегти її у форматі STL. Багато програм 3D-комп'ютерної графіки можуть експортувати моделі в STL. Однак користуватися ними слід дуже обережно, оскільки багато з цих програм призначені, в основному, для візуалізації екрану 3D-моделей. Це означає, що вони можуть не включати в собі специфічні особливості моделей, які не є необхідними для візуалізації, але які матимуть ключове значення для 3D-друку.

Під час створення цифрової моделі у програмі для 3D-моделювання, слід дотримуватися декількох важливих принципів побудови, а саме: слід пам'ятати, що 3D-друк – це, здебільшого, фізичний процес, який іноді суперечить правилам візуалізації 3D-комп'ютерної графіки на екрані. Тому всі елементи майбутнього об'єкта

повинні проектуватися з урахуванням всіх фізичних обмежень складових частин майбутньої конструкції.

3D-друк здійснюється під впливом сили тяжіння. Тому необхідно враховувати стабільність моделі та вагу її деталей, щоб уникнути пошкодження друкованих елементів безпосередньо під час реалізації проєкту на будівельному майданчику [4].

Деякі технології 3D-друку вимагають конструювання отворів, через які стає можливим вилучення з конструкції залишків будівельного матеріалу або суміші.

Граничні поверхні моделі повинні бути водонепроникними. Це означає, що всі грані повинні бути з'єднані між собою і мати послідовну орієнтацію нормалей поверхні.

Трикутні поверхні повинні утворювати двовимірне різноманіття. Зокрема, усі ребра повинні бути розділені рівно двома гранями.

Передача даних моделі у форматі STL відбувається за допомогою використання триангуляції для всіх граничних поверхонь. Таким чином, можна зробити висновок, що доцільно для побудови моделі використовувати метод B-Rep (Boundary representation) граничного представлення.

Це метод відтворення форм з використанням границь у твердотільному моделюванні. Об'єкт відображається у вигляді сукупності пов'язаних елементів поверхні (зазвичай поверхонь Безье) – границь між твердим тілом та оточуючим простором.

Отже, експорт готової моделі у формат STL – це триангуляція кривих поверхонь. Слід зауважити, що для збереження моделей CSG (Computed Solid Geometry) у формат STL необхідно здійснити додаткові кроки обробки для відновлення меж моделі.

Збереження моделі в STL форматі не є обов'язковим, а команди для управління процесом друку можуть бути створені безпосередньо з моделі, у програмному середовищі, в якому була створена цифрова модель об'єкта. Це лише питання геометричних обчислень у геометричному ядрі 3D-принтера.

Висновки. Якщо розглядати 3D-друк, як комп'ютерну систему автоматизованого будівництва – це було центром уваги кількох дослідницьких груп протягом останніх десятиліть. Різні роботи та машини розроблені для здійснення автоматизованого будівництва з використанням роботизованих підходів. Автоматизоване будівництво передбачає багато переваг, включаючи чудову швидкість та вищий ступінь налаштування на кожному етапі 3D-друку.

Слід зазначити, що робочий процес 3D-друку складний, і потребує глибоких знань як з програмного, так і з апаратного забезпечення системи в цілому. Детальне вивчення цього питання дозволить в подальшому оптимізувати планування будівельних процесів, що в свою чергу відіграє важливу роль у загальній ефективності системи 3D-друку.

Список використаних джерел

1. Онлайн словник “Dictionary.com” [Електронний ресурс] URL: <https://www.dictionary.com/browse/3d-printing>.
2. Murray D. J., Edwards G., Mainprize J. G., Antonyshyn O. Optimizing craniofacial osteotomies : applications of haptic and rapid prototyping technology. *Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. № 66. 2008. Pp. 66–72.
3. Izabela Hager, Anna Golonka, Roman Putanowicz. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*. Vol. 151. Pp. 292–299.
4. Yu Chen. A critical review of 3D concrete printing as a low CO₂ concrete approach. *Heron*. Vol. 62 (3). Pp. 167–194.