

УДК 69.057.2:69.05

к.т.н. Черненко К.В.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНОГО БУДІВНИЦТВА БАГАТО- ПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ ГРОМАДСЬКИХ БУДИНКІВ І СПОРУД В ЯПОНІЇ

*На основі використаних наукових джерел японських дослідників і будівельників зроблена спроба проаналізувати і визначити позитивні напрямки розвитку нового напрямку у будівництві технології автоматизованого зведення багатопверхових будинків.*

**Ключові слова:** *аналіз, автоматизація у будівництві, робот, автоматичні системи, дистанційно-керовані системи, запрограмовані системи, роботи автономні з сенсорними датчиками.*

**Вступ.** За останні 20 років автоматизація в будівництві перетворилася з концептуальної ідеї у реальність завдяки вченим і будівельникам, особливо Японії, в результаті чого підвищилась ефективність, безпека та продуктивність на будівельному майданчику [ 1 ].

Автоматизована система була розроблена, щоб зменшити загальну вартість зведення будинків із збірного залізобетону та впроваджена спочатку у трьох проектах (Японія) та при будівництві офісного будинку (Сінгапур) ще у 1995 році. Впровадження цієї системи показало високу якість та покращення умов праці при зменшенні терміну будівництва, кількості працівників і витрат, що в цілому підвищило загальну його продуктивність.

Найбільш ранні роботи про дослідження автоматизованих будівельних процесів датуються 1978 р командою вчених, виробників роботів і генеральними підрядниками при підтримці Японської Промислової Асоціації Робототехніки. Протягом наступних 20 років світ став свідком розвитку більш 550 систем для безпілотних роботів та автоматизації будівельних робіт. Під «будівельним роботом» розуміють автономну та дистанційно керовану систему. Термін «робот» є синонімом майже для кожної машини, яка виконує запрограмовану дію.

В той же час, як свідчать матеріали дослідження, будівельна галузь в Японії стикалася з серйозними проблемами нестачі кваліфікованих будівельних кадрів, особливо робочих, і більш низькою продуктивністю в порівнянні з іншими галузями. У 1995 році Obayashi Корпорація розробила першу в світі автоматизовану систему будівництва (так званий "Великий навіс" (BigCanopy) для висотних каркасних залізобетонних будівель [ 2 ]. Система була призначена для стабілізації процесу будівництва і підвищення якості за рахунок відповід-

ного автоматизованого, зручного робочого середовища, яке значно збільшило продуктивність, скоротило терміни будівництва і дозволило знизити загальну вартість будівництва. У цій статті розглянуті результати розробок системи Big Сапору, які використані на сьогоднішній час у чотирьох проектах, і її покращення відповідно до умов будівництва [ 3 ].

Незважаючи на економічний спад в Японії і зниження інвестицій в суспільний та приватний сектор найбільші будівельні підрядники продовжують істотно інвестувати в дослідження і розробки цього напрямку. На відміну від інших держав більшість японських будівельних досліджень проводиться у приватних науково-дослідних інститутах. Велика шістка Японських підрядних організацій – Kajima, Kumagai-Gumi, Obayashi, Taisei, Takanaka та Shimizu – щорічно вносять 1% від їх обороту на дослідження і розробки. Зрозуміло, що з таким рівнем щорічних інвестицій, Японія є лідером у галузі автоматизації і роботизації в будівництві [ 4 ].

Проте, за останнє десятиліття кількість наукових співробітників скоротилася і дослідження знизились. Вартість великих досліджень дуже велика, навіть при тому, що результат подальшого використання і рентабельність очевидні. Японська Асоціація будівельників-механіків прийшла до висновку, що проблеми використання автоматизації на будівельному майданчику, це неможливість відновлення витрат на дослідження, розробку і виробництво, а також загальної нездатності скоротити потреби в робочій силі. Проте, автоматизація будівництва та робототехніки розглядається в Японії, як ключ до більш безпечної, успішної і прибуткової будівельної галузі [ 5 ].

**Основний матеріал.** Дефіцит кваліфікованих кадрів та їх старіння породили реальну потребу в підвищенні продуктивності основних будівельно-монтажних процесів, за рахунок використання машин, які виконують одну запрограмовану роботу у кожному окремому процесі і керуються людиною. Японці прийшли до висновку що такі системи найбільш економічні та ефективні при впровадженні автоматизації в будівництві, особливо при зведенні багатопверхових будинків і споруд. Людина - оператор завдяки маніпулятору керує системою, але це все поки виявляється занадто технологічно складно для успішної автоматизації в повному обсязі. Далі коротко розглядаються деякі автоматизовані будівельні системи, які використані у японських будівельних проектах.

Наприклад «мобільні» маніпулятори були розроблені в якості практичних рішень розміщення негабаритних важких конструкцій на будівельному майданчику.(рис 1, а). Ці автоматизовані системи, як правило, керуються вручну і були успішно адаптовані для використання їх у виконанні будівельних і монтажних

процесах, включаючи автономне забезпечення і перевезення будівельних конструкцій на місце монтажу.

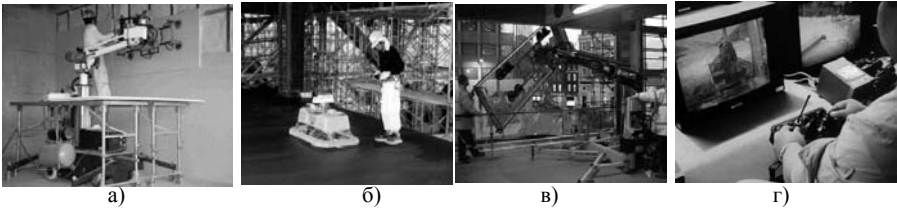


Рис. 1. Загальний вигляд мобільних керованих роботів-маніпуляторів

**Бетонування і оздоблення.** Дистанційно керований шарнірний рукав для розподілу бетону був розроблений, щоб поліпшити якість і безпеку його укладання при значному зниженні кількості необхідних робочих місць. Дистанційно керовані і автономні затиральні машини були створені для забезпечення більш передбачуваного курсу виконання оздоблювальних робіт в поєднанні з підвищеною продуктивністю. Наприклад, для виконання бетонних підлог і для інших оздоблювальних робіт (рис. 1, б, в).

**Радіокерований будівельний майданчик.** Адаптація радіо-керування виконання будівельних процесів дозволила оператору управляти машиною, спостерігаючи зображення у віддаленому місці (рис. 1, г). В цілому, ці системи поєднують системи глобального позиціонування, стереоскопічні зображення та віртуальну реальність що відображається на робочих моніторах в диспетчерській, розташованій від робочої зони машини. Основні переваги радіокерованого майданчика: безпека оператора, вдосконалене управління та підвищення ефективності праці. Японське міністерство будівництва також успішно використовує радіокеровані машини для проведення робіт в безпосередній близькості від вулканів і зсувів. На такі машини встановлюють систему радіоконтролю та різні сенсорні датчики. Ці системи також ефективні у кар'єрах та при виконанні земляних робіт.

**Інтегровані системи (рухомі заводи) - крок до автоматизації.** Стратегічним вибором багатьох великих японських будівельних компаній ці системи знаходять комплексні рішення в будівництві. У повністю закритих умовах тимчасова робоча платформа, в якій працюють так звані «мобільні» маніпулятори та автоматичні будівельні системи, створює умови заводського середовища і одночасно забезпечує захист від несприятливих погодних умов, знижує вплив будівництва на навколишнє середовище. Вся робоча платформа побудована на гідравлічних домкратах, які, після завершення перекриття підлоги поверху, застосовується для підняття на наступний рівень для виконання нового поверху.

Конструктивні елементи поставляються тільки в разі їх потреби, яка визначається за допомогою спеціальних штрих-кодів, а потім автоматично транспортується із зони складування (на рівні землі) до проектного положення (робочої або монтажної зони). Мобільні маніпулятори автоматично орієнтуються, розшуковують вузли, розташовують і монтують елементи конструкції.

Центральна система управління контролює і координує процес будівництва. Система інформує у режимі реального часу розташування матеріалів, робочих креслень, графіків і послідовності процесу виконання. Крім того, графік контролює операції маніпуляторів, їх діяльність, стандарти безпеки і якості.

Інтегровані будівельні автоматизовані системи складаються з чотирьох основних елементів:

- тимчасове покриття робочої платформи або приміщення заводу і підйомні системи;
- автоматизована система, яка знаходиться в зоні складування і подає конструктивні елементи і матеріали (працює тільки під час їх поставки);
- автоматизована система монтажу конструкцій і обробки матеріалу;
- централізований інтегрований центр управління на робочому місці.

Інформація про такі системи, які були використані в будівництві багатоповерхових будинків і споруд в Японії наведена в таблиці.

Таблиця. Комплексно-автоматизовані системи будівництва 1989-2001рр.

| Компанія            | Назва системи | Параметри будівлі                  | Тип конструкцій                | Ім'я проекту  |
|---------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 1                   | 2             | 3                                  | 4                              | 5   |
| ObayashiCorporation | ABCS          | 28 поверхів, 79 752 m <sup>2</sup> | Сталеві та збірний залізобетон | NEC Head Office, Kanagawa, з жовтня 1997 по січень 2000   |
| ObayashiCorporation | ABCS          | 10п., 10 226m <sup>2</sup>         |                                | Riverside Sumida Bachelor Dormitory, червень 1993 по квітень 1994   |
| ObayashiCorporation | Big-Canopy    | 30п., 42 655m <sup>2</sup>         | Збірний залізобетон            | DBS Squareofficebuilding, Singapore, Листопад 1997 по Вересень 1999 (перше впровадження за межами Японії) |
| ObayashiCorporation | Big-Canopy    | 37п, 28 505 m <sup>2</sup> ,       |                                | Nada-Hinode Chocondominium, Kobe, квітень 1997 червень 1999   |
| ObayashiCorporation | Big-Canopy    | 22п, 12 641 m <sup>2</sup>         |                                | NEXAS KashiiCentral Tower condominium, Fukuoka, Вересень 1996 Березень 1998                               |
| ObayashiCorporation | Big-Canopy    | 26п, 30 726 m <sup>2</sup>         |                                | Yachiyodacondonium, Yachiyodai, лютий 1995 по лютий 1997  |
| ObayashiCorporation | Big-Canopy    | 27п, 25 540 m <sup>2</sup>         |                                | CAMZA SquareTowers, condominium, Chiba, січень 1995 лютий 1997  |

| 1                   | 2                  | 3                           | 4                              | 5  |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|
| ShimizuCorporation  | New SMART          | 35П, 29 076 m <sup>2</sup>  | Збірний залізобетон            | Makauhari SH-1 project, condominium, лютий 1998 березень 2001              |
| ShimizuCorporation  | New SMART          | 34п, 253 054 m <sup>2</sup> |                                | HDB Center, Singapore, немає дати(перше впровадження за межами Японії)     |
| ShimizuCorporation  | Simplified SMART   | 6п, 4408 m <sup>2</sup>     | Сталеві та збірний залізобетон | HotelMets, Kawasaki немає дати   |
| ShimizuCorporation  | Simplified SMART   | 16п, 52 115 m <sup>2</sup>  |                                | DensoNewBuilding, немає дати   |
| ShimizuCorporation  | SMART              | 30п, 74 927 m <sup>2</sup>  | Сталеві                        | NissekiBuilding, Yokohama, липень 1994 червень 1997                        |
| ShimizuCorporation  | SMART              | 20п, 20 657 m <sup>2</sup>  |                                | JurokuBankBuilding, Nagoya, жовтень 1991 тлютий 1994                       |
| TaiseiCorporation   | T-Up               | 34п, 110 918 m <sup>2</sup> | Сталеві та збірний залізобетон | Mitsubishi Heavy Industries Yokohama Building, квітень 1992 березень 1994  |
| TakanakaCorporation | Roof Push-upMethod | 16п, 11 880 m <sup>2</sup>  |                                | DowaFireand Marine Insurance Building, листопад 1993 лютий 1995            |
| TakanakaCorporation | Roof Push-upMethod | 13п, 7940 m <sup>2</sup>    |                                | Yanagibashi Mitsui Building, Nagoya, жовтень 1989 то травень 1991          |
| KajimaCorporation   | AMURAD             | 9п                          | Сталеві та збірний залізобетон | KajimaChigusaCompanyHousing, Nagoya, грудень 1995 жовтень 96               |
| MaedaCorporation    | MCCS               | 9п, 10 807 m <sup>2</sup>   |                                | Terco-Building Ltd, Tokyo, квітень 1995 березень 1998                      |
| MaedaCorporation    | MCCS               | 11п, 6614 m <sup>2</sup>    |                                | Sekai-Bunka-sya Corporation, Tokyo, червень 1992 лютий 1994                |
| FujitaCorporation   | Akatsuki 21        | 16п, 13 065 m <sup>2</sup>  |                                | Shuyodan Building Construction Workhead office, березень 1994 червень 1996 |

### Приклади найбільш поширених комплексних автоматизованих систем (приміщень заводів, навісів або платформ).

Для ілюстрації розглянемо комплексну систему автоматизації Big-Canopy – «Великий навіс» і систему ABCS (*Automated Building Construction System*) [ 4 ].

**Система Big-Canopy – «Великий навіс»** використовує для будівництва комбінацію збірного та монолітного бетону з модульними вузлами (рис. 2). Збірні елементи це - колони, балки, плити і внутрішні стінові елементи. Заводської готовності використовують вертикальні і горизонтальні водостокові труби, системи кондиціонування, кабелі та дерев'яні міжкімнатні перегородки, тощо. На рис. 2,б наведена просторова модель збірної система каркасно-модульної конструкції в поєднанні з системою Big-Canopy.

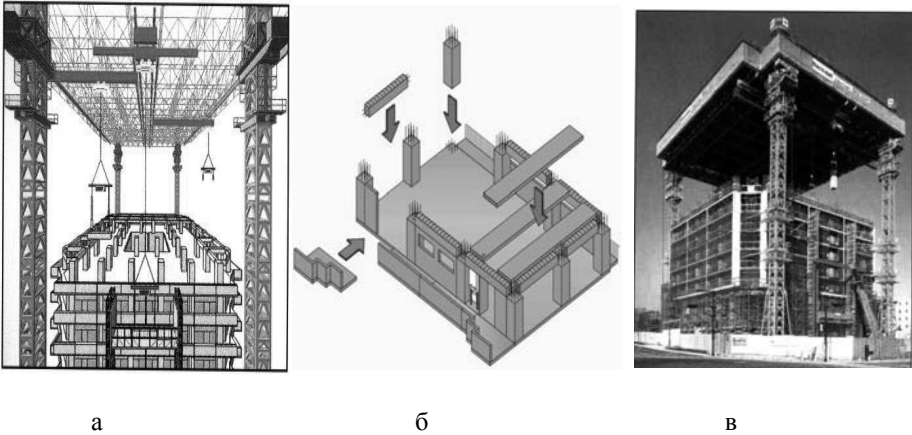


Рис. 2. Загальний вигляд проекту *Big-Canopy* (а), його просторова модель (б) та фото реального будівництва (в).

Система Big-Canopy складається з 13 т підйомника для вертикальної поставки матеріалів і автоматизованих мостових кранів, які використовують для горизонтальної доставки (подачі), наведення, орієнтування та установки конструктивних елементів в проектне положення. Мостові крани за допомогою ручних приладів радіоконтролю працюють автоматично. Щоб уникнути випадкового пошкодження конструкцій, що може бути викликано не тільки виробництвом, а також вітром та інерцією, виконання цих операцій контролюються автоматично.

Крани розміщені під тимчасовою конструкцією даху, який піднімається на два поверхи, зі швидкістю 300 мм/хв. Вага даху та обладнання становить близько 600 т. Вперше система Big-Canopy використовувалась для зведення 26 поверхового житлового будинку, збірного залізобетону, в рамках «Тіба» префектури Токіо. Кількість працівників, що брали участь в монтажних роботах, було 65 % від тих, що використовуються в звичайних умовах при зведенні багатопверхових будинків із монолітних залізобетонних конструкцій та 25 %, що використовується при традиційному будівництві із збірного залізобетону.

Компанія Obayashi визначає, що з усіх висотних споруд, уповноважених Building Centerfor Japan, за період з 1986 по 1995, 82 % можна було будувати використовуючи Big-Canopy [4].

З кожним новим варіантом застосування системи, компанія Obayashi очікує збільшення ефективності та зниження витрат на будівництві. Подібно ABCS, система Big-Canopy забезпечує середовище для майбутнього використання більш просунутих будівельних маніпуляторів і систем управління.

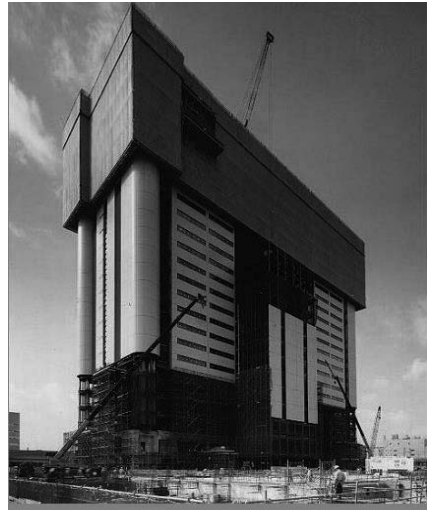
**ABCS (Automated Building Construction System)** - об'єднує заводську автоматизацію з операціями проекту будівництва і дозволяє працювати незалежно від несприятливих погодних умов. Паралельна система доставки матеріалу виконує вертикальне і горизонтальне переміщення елементів будинку з зони розвантаження або складування до рівня роботи маніпуляторів.

В даній системі підйомні механізми спираються на допоміжні сталеві колони, а на самому верхньому зрізі кожної колони є система блокування гідравлічного домкрата. При закінченні двох поверхів і зовнішнього облицювання, завод автоматично піднімається. Вся система, в тому числі крани і вантажопасажирські підйомники, важить приблизно 2200 т.

На рис.3,а показаний вигляд в поперечному перерізі конструкції типового рухомого заводу системи ABCS. На рамі зводу розміщені крани і вантажопасажирські підйомники. Дах виконаний із сталі, він також є дахом для готової будівлі.



а



б

Рис. 3. Фото системи ABCS.

а- внутрішнього інтер'єру рухомого заводу ABCS; б – загальний вигляд зведення системою ABCS 28-поверхову NEC Tamagawa Renaissance City, яка була завершена в 2000

Роботи-маніпулятори в цій системі використовувалися, як правило, більш автоматизованої версії існуючих аналогів рухомих заводів, такі як автоматично керовані крани, а також існуючі роботи, які використовувались в обробній промисловості, наприклад, зварювальників та автоматизованих керованих транс-

портних засобах для вантажно-розвантажувальних робіт. Система управління дозволяла керуючому будівельного майданчика переглянути хід будівництва, та діючу програму роботи і організувати майбутню поставку матеріалів, не виходячи з офісу.

Система була вперше застосована в 1994 році при будівництві житлового будинку RiversideSumida, а в 1997 по 2000 рік, система була використана для 28-поверхового NEC Tamagawa Renaissance City (фото 3).

В цьому проєкті були запроваджені процеси, які виконувались автоматично: монтаж і зварювання сталевих елементів, монтаж збірних панелей підлоги, підгонка несучих стін і підйом платформи. На рис.4 наведено розріз розташування рухомого заводу ABCS в процесі зведення багатоповерхового будинку.

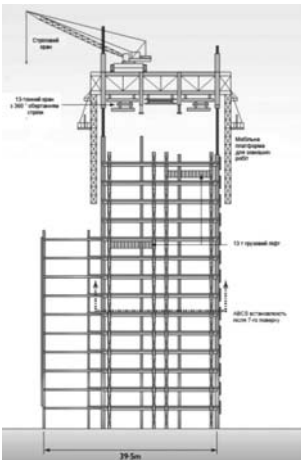


Рис. 4. Розріз розташування рухомого заводу ABCS в процесі зведення багатоповерхового будинку.

На рис. 5 наведено порівняння трудомісткості у люд.-дн/м<sup>2</sup> монтажних робіт з альтернативними методами будівництва. При цьому ще створюються більш комфортні умови для робочих, завдяки зниженню температури, особливо у зимовий період.

Корпорація Obayashi стверджує, що термін будівництва для 30-поверхової будівлі може бути зменшено на три місяці, а термін для 40-поверхової будівлі – на шість місяців. Рис. 5 порівняння графіків будівництва трьох звичайних висотних будівництв і трьох висотних проєктів, що використовують систему ABCS.

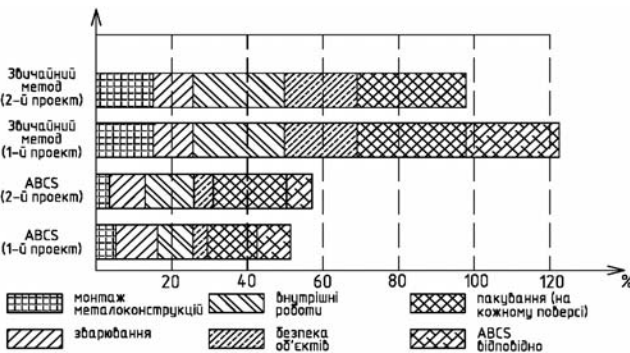


Рис. 5. Графік скорочення будівництва системою ABCS 40-ка поверхового будинку (F40) на 6 місяців.



Рис. 6 показує порівняння вимог на робочі кадри чотирьох будівельних проєктів, здійснюваних Obayashi Corporation. Перші два проєкти використовували звичайні висотні будівельні методи і два останніх проєкту – систему ABCS.

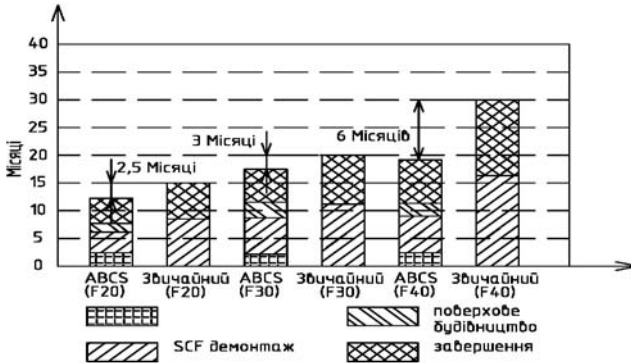


Рис.6. Графік порівняння витрат між системою (методом) ABCS та звичайного методу будівництва.

### Висновки

1. Впровадження в технологію будівельного виробництва рухомих крокуючих заводів при зведенні багатоповерхових житлових і громадських будинків в Японії показало, що на відкритому повітрі продуктивність падає, особливо, коли підвищується температура повітря і вологість. Так, наприклад, було зафіксовано втрату продуктивності на відкритому повітрі в Сінгапурі не менше ніж в 6 разів більше, ніж в Японії.

2. В той же час, автоматизовані будівельні системи все ще занадто технологічно складні і дорогі для впровадження в будівництво. Радіокерована будівельна техніка пропонує обмежені переваги у виконанні робіт, але дає можливість підвищити продуктивність, безпеку оператора і якість робіт.

3. Подальший розвиток і впровадження автоматизації будівельної та робототехніки може значно підвищити продуктивність і якість робіт, знизити трудомісткість і терміни їх виконання. Тому, інтегровані системи автоматизації і перехід від реальних умов будівництва на відкритому повітрі при спорудженні багатоповерхових будинків до заводських умов, які розробляються в Японії, є прикладом того, як це може бути досягнуто і в Україні.

### Використана література

1. Automated construction in Japan. [electronic resource] : [http://www.academia.edu/223347/Automated\\_construction\\_in\\_Japan](http://www.academia.edu/223347/Automated_construction_in_Japan).

2. Thomas Linner. Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites/ Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik. – München / Technische Universität München, 2013.
3. Application of automated building construction system for high-rise office building Hiroshi Miyakawa a, Jyunichi Ochiai b, Katsuyuki Oohata a, Takashi Shiokawa c.
4. OBAYASHI, S. Construction Robot System Catalogue in Japan, Council for Construction Robot Research. Japan Robot Association, 1999.
5. MIYAKAWA, H., OCHIAI, J., OOHATA, K. AND SHIOKA. Application of automated-building construction system for high-rise of office building. Proceedings of the 17-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2000, Sept., 1007–1012
6. HASAGAWA, Y. A., New Wave of Construction Automation and Robotics in Japan. Proceedings of the 17th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2000, Sept., 15–19.

### АННОТАЦИЯ

На основе используемых научных источников японских ученых и строителей выполнены анализ и определение новых направлений в строительстве технологии автоматизированного возведения многоэтажных зданий.

**Ключевые слова:** анализ, автоматизация строительства, робот, автоматизированные системы, дистанционно-управляемые системы, роботы автономные с сенсорными датчиками.

### SUMMARY

Based on the scientific sources used by Japanese researchers and builders attempt to analyze and define the positive direction of a new direction in building technology-aided construction of multi-storey buildings.

**Keywords:** analysis, construction automation, robot, automatic systems, remotely controlled systems, programmed systems, autonomous robots with touch sensors.