

DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2022.26.9>

УДК 711.42:523.43(045)

АРХІТЕКТУРНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПОСЕЛЕНЬ НА МАРСІ: КОНЦЕПТУАЛЬНЕ БАЧЕННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ

Марковський Андрій Ігорович¹, Карпенко Тарас Віталійович²

¹ Доктор архітектури, доцент, завідувач кафедри архітектури та просторового планування факультету архітектури будівництва та дизайну Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: andrii_markovskiy@ukr.net, orcid: 0000-0002-9499-4434

² Студент, магістрант факультету архітектури будівництва та дизайну Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: 142taras@gmail.com, orcid: 0000-0001-7769-9495

Анотація. У статті автор описує головні вимоги до формування поселень на Марсі, що повинні утворити сприятливе для існування людини середовище. Виділено основні особливості проектування, які вплинуть на майбутнє поселення: види зв'язків між будівлями, способи будівництва та зведення житлового середовища, необхідне облаштування інфраструктури та обладнання території, захист будівель від радіації, надмірного тиску та аварійних ситуацій. Також автор пропонує свій варіант дизайну архітектурного середовища майбутнього поселення.

Мета. З'ясування архітектурного середовища поселень на Марсі, концептуального бачення та його можливості формування, на основі даних особливостей навколишнього середовища та потрібних вимог для безпечного проживання людини в житловому просторі.

Методологія. Дослідження здійснено на основі системного підходу у три етапи: аналіз ситуації з виявленням основних вимог для проживання, розробка методів формування архітектурного середовища на основі отриманих даних та факторів, пропозиція концептуального бачення середовища проживання

Результати. З'ясовано архітектурне середовище поселень на Марсі, концептуального бачення та його можливості формування, на основі даних особливостей навколишнього середовища та потрібних вимог для безпечного проживання людини в житловому просторі.

Наукова новизна. Вперше: запропоновано концептуального бачення середовища проживання завдяки модульних конструкцій у вигляді стільника. Вдосконалено: методи формування архітектурного середовища на основі отриманих даних та факторів. Набуло подальшого розвитку: формування середовища проживання на планетах сонячної системи.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути використані при побудові поселення на Марсі. Нам відомі екстремальні умови проживання на планеті, але завдяки запропонованих архітектурних рішень, які надають захист від негативних факторів, та забезпечують житлове середовище всім необхідним, можливо створити комфортне житло для проживання людей.

Ключові слова: колонізація планет, архітектурне середовище, архітектурний дизайн, Марс, житло, можливості формування поселень, концептуальне бачення.

ВСТУП

Планета Земля в майбутньому може зіткнутися з перенаселенням, за останнє десятиліття населення вже зросло на 2 мільярди, нас вже майже 8 мільярдів. За оцінками ООН населення на Землі перевищить 10 мільярдів в кінці століття. Перенаселення планети зможе привести нас до нестачі, води, їжі та інших ресурсів, епідемії й також до нових війн. Сказане – це лише питання часу. Тому постає проблемне питання, як врятувати цивілізацію від її можливої соціального колапсу, який може призвести до глобальної катастрофи. Одним із можливих перспективних варіантів розв'язання цієї проблеми є колонізація іншої планети.

Однією з найдоступніших планет для людської колонізації є Марс – четверта за розмірами планета в сонячній системі і одна з найближчих до Землі. З усіх планет сонячної системи Марс є найбільш придатним для колонізації, його розташування є найближчим, показники для підтримки життя є найкращими з-поміж інших планет та, найголовніше, має в різному агрегатному стані усі необхідні ресурси для створення сприятливих умов життєдіяльності людини. Наявність цих показників уможливають проживання людей на Марсі і є менш екстремальними, «простішими», ніж у відкритому космосі.

Це робить планету Марс пріоритетною і більш доступною з позицій мінімізації енергетичних витрат та технологій, які знадобляться під час її практичного освоєння та заселення людьми. Адже у перспективі цілком можливо, що на Марсі створюватимуться перші колонії для проживання людей.

Освоєння Марсу принесе людству неабиякий практичний досвід у використанні технологій для колонізації інших планет сонячної системи, які в подальшому також знадобляться людству для дослідження й освоєння інших планет галактики.

Тому потрібно з'ясувати концептуальне бачення житлового середовища поселення на Марсі та його можливості формування відповідно до специфічних умов проживання на планеті.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Останнім часом зростає кількість досліджень та публікацій, пов'язаних з різними аспектами колонізації Марсу та формуванням перших поселень на ньому, які вносять значний внесок в розвиток технологій для майбутнього освоєння планет сонячної сис-

теми. Проведені дослідження дають змогу застосувати їхні дані для з'ясування концептуального бачення та можливостей формування поселень на Марсі.

Для повноцінного функціонування поселення потрібно забезпечити його киснем, водою, іншими ресурсами, та системами регулювання мікроклімату. Тому в світі активно проводяться дослідження в яких винаходять методи та способи по отриманню цих ресурсів на Марсі та їх використання.

У статті «Ресурси на місці для будівництва інфраструктури на Марсі: огляд» авторами якої є Jiawen Liu, Hui Li, Lijun Sun, та інші, було розглянуто будівельні матеріали та можливі методи будівництва на Марсі. Марсіанський ґрунт, базальт є матеріалами, які можливо використати для будівництва поселення за допомогою робототехніки, вони витримують умови екстремального середовища Марсу. Також розглянуто виробництво ядерної, сонячної, вітряної енергії [11].

У 2021 році був проведений експеримент MOXIE на марсоході «Пресерванс» та мав успішний результат. MOXIE [Марсіанський експеримент використання кисню на місці (ISRU)] – це перша демонстрація ISRU на іншій планеті, яка виробляє кисень шляхом електролізу вуглекислого газу в атмосфері Марса. Розширений MOXIE сприятиме сталому дослідженню Марса людиною, виробляючи на місці десятки тонн кисню, необхідного для ракети, яка транспортуватиме астронавтів із поверхні Марса, замість того, щоб запускати сотні тонн матеріалу з поверхні Землі, транспортувати необхідний кисень на Марс. У статті «Марсіанський кисневий експеримент ISRU (MOXIE)» розглядається досягнення MOXIE і наслідки для більш масштабних систем виробництва кисню [9].

У науковій роботі «Використання ресурсів Mars Colony in situ : інтегрована архітектурно-економічна модель» – Robert Shishko, René Fradet, Sydney Do, та інші, розповідається про потенціал видобутку води/льоду, яку можливо буде видобувати з ґрунту на Марсі [17].

Середовище існування на поверхні Марсу слугуватиме астронавтам «домівкою», забезпечуючи внутрішній простір для всіх життєвих функцій екіпажу та служачи основним місцем для виконання його місії. Для кожного члену екіпажу потрібний відповідний об'єм приміщень, який забезпечить розміщення всіх необхідних систем і потреб команди в проживанні. Команда Lunar Architecture в своїй

роботі «Оцінка об'єму середовища існування» провели аналіз, за допомогою якого вони отримали вимоги до загального житлового об'єму, на члена екіпажу, для середовища проживання на поверхні Місяця, ці показники також можливо використати для створення поселення на Марсі. Був проведений розрахунок об'єму на кожне необхідне приміщення в житловій одиниці поселення [14].

Раніше нами були опублікована праця «Проблемні аспекти формування поселень на Марсі», в якій було наведено порівняння природних та фізичних показників планет Землі та Марсу, за результатами досліджень видно, що Марс має подібні та відмінні риси з Землею: інший склад атмосфери, менший тиск, незначне магнітне поле, яке не зможе захистити від радіації, мала гравітація, та інша тривалість днів, сезонів, та року. Також в наступній нашій праці «Передумови формування поселень на Марсі» ми запропонували та порівняли два підходи щодо реалізації дизайну архітектурного середовища поселень на Марсі: 1) утворення поселення на поверхні планети, 2) утворення "підземного" поселення, та назвав доступні технології завдяки яким можливо реалізувати поселення [2-3].

МЕТА

З'ясування архітектурного середовища поселень на Марсі, концептуального бачення та його можливості формування, на основі даних особливостей навколишнього середовища та потрібних вимог для безпечного проживання людини в житловому просторі.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Концептуальне бачення середовища проживання для першого поселення на Марсі буде надзвичайно специфічним для пропонуваного розташування. Навіть узагальнені проекти повинні бути специфічними для регіону (наприклад, полярна, екваторіальна, південна/північна півкуля тощо) через значні відхилення в навколишньому середовищі, які впливають на основні проектні рішення (включаючи, але не обмежуючись ними, метод виробництва електроенергії, використання природного світла, джерело води та спосіб видобутку, теплоізоляція та система життєзабезпечення).

Насамперед дизайн архітектурного середовища поселень на Марсі повинен відповідати основним вимогам:

1) Економічність – вартість створення середовища проживання повинно бути міні-

мальною, яка буде доступною для здійснення місії на Марс [16].

2) Автономність – житлові будівлі на Марсі повинні бути незалежними від постачання ресурсів із Землі, мати власну систему електромережі, видобутку води, виведення відходів, та отримання повітря.

3) Аварійна безпека – створення будинків з врахуванням виникнення аварійних ситуацій.

4) Захист від факторів навколишнього середовища – сонячного опромінення, низької температури повітря, тиску [11].

Нам відомо, що перша місія на Марс буде складатися з 4 людини, тому перша колонія в такому вигляді нагадуватиме одну будівлю. Але згодом, через кожні два роки на Марс будуть здійснюватися нові польоти з якими прибуватимуть нові колоністи, та будуватиметься нове житло, що утворюватимуть собою поселення, а через десятки років й ціле місто [20].

Не менш важливим є зв'язки між будівлями в поселенні, людям які проживатимуть в поселення потрібно буде комунікувати між собою, ходити до один одного в гості, проводити спільно час, це покращуватиме психоемоційний стан людей, та створюватиме враження єдинства поселення. Тому слід розглянути види зв'язків між будівлями в поселенні.

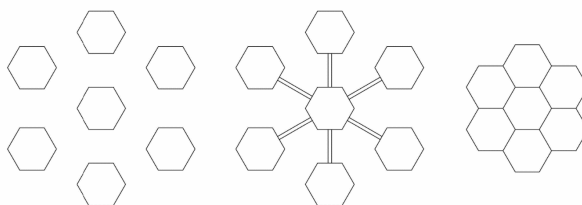


Рис. 1. Види зв'язків між будівлями

Можна виділити 3 типи зв'язків між будівлями поселення (рис. 1):

1) Зовнішній – цей тип не передбачає створення додаткової інфраструктури для переміщення, таким способом жителям потрібно виходити на зовні щоб потрапити в інший будинок, що є не досить зручно, при кожному переміщенні до сусідів, потрібно повністю одягати скафандр, що займає багато часу;

2) Коридорний – всі будівлі в поселенні будуть об'єднані за допомогою системи коридорів, для цього в кожній будівлі потрібно передбачити місце для майбутнього з'єднання з ним. Цей спосіб є досить зручним, мешканцям які за хочуть потрапити до сусідів не потрібно одягати скафандр.

3) Сумісний – в такому типі зв'язку поселення нагадуватиме одну цілу структуру, яка складається з будівель, об'єднаними в одне ціле, та матимуть доступ між собою через стіни. Цей тип потребує детального архітектурного, та конструктивного опрацювання, в місцях з'єднання будівель. Перевагою такого способу є коротка відстань між об'єктами, додатковий радіаційний, термічний захист. З неоліків слід відзначити обмеженість розташування віконних отворів.

Важливо врахувати способи за допомогою яких ми можемо зводити поселення, від них буде залежати вартість і концепт-дизайн будівель.

Є три варіанти зведення середовища проживання:

1) Доставлені вже готові секції для проживання (модулі, капсули);

2) Збирання будівель з готових окремих секцій доставлених із Землі вже на Марсі, (збірні та надувні будівлі) [10];

3) Створено або виготовлено будівель на Марсі з місцевих ресурсів, наприклад за допомогою 3Д друкування [17].

Територія на якій виникнення поселення, повинна бути обладнана всім необхідним для його функціонування поселення та дослідження планети.

Перш за все територія поселення повинна складатися з:

1) Зона посадки для ракети розташованої не менше 500 м від бази на південь або на північ від поселення, для безпеки у випадку аварії чи вибуху;

2) Ядерні реактори – через використання автономних систем відбуватиметься велике споживання електроенергії, тому реактори матимуть достатню потужність щоб забезпечуватимуть ціле поселення електроенергією. Вони повинні розташовуватися 500м від поселення; [7]

3) Криогенні сховища для метану (паливо для ракет); [8]

4) Склади будівельних матеріалів, запчастин. Також потрібно врахувати специфічне сховище для зберігання наукових зразків, які можуть нести загрозу для житлового середовища. [12]

5) Системи життєзабезпечення та вироблення ресурсів – повітря, вода, ракетне паливо (ISRU). [17; 14; 2;]

6) Житлові будівлі, повинні бути обладнані шлюзами для звичайного виходу на поверхню планети, та для з'єднання з марсоходом [13].

До цих об'єктів потрібні прокладені доріжки, щоб полегшити пересування на Марсоході, це будуть дороги витрамбовані з ґрунту Марсу шириною в 5 м [5].

Захист житла від сонячної радіації.

Одним із основних способів захисту космонавтів від впливу космічної радіації є використання пасивного екранування. Для пасивного екранування використовується фізичний матеріал, розміщений між джерелом і ціллю, щоб послабити випромінювання до того, як воно досягне цілі.

Ефективність пасивного екранування визначається трьома факторами: вибором матеріалу, товщиною та порядком його шарування. Важливість вибору матеріалу по суті випадає з наведених вище рівнянь; деякі матеріали будуть більш ефективними, ніж інші, для ослаблення космічного випромінювання. Зокрема, середовища існування, побудовані з алюмінію-2219 або чистого марсіанського реголіту, забезпечуватимуть достатній захист, але поліетилен буде значно ефективнішим.

Як правило, огорожуючі конструкції

будівель, які мають більшу товщину, краще ослаблюють падаючі частинки радіації, які намагаються пройти крізь них. Фрагментація металів може покращувати екранування

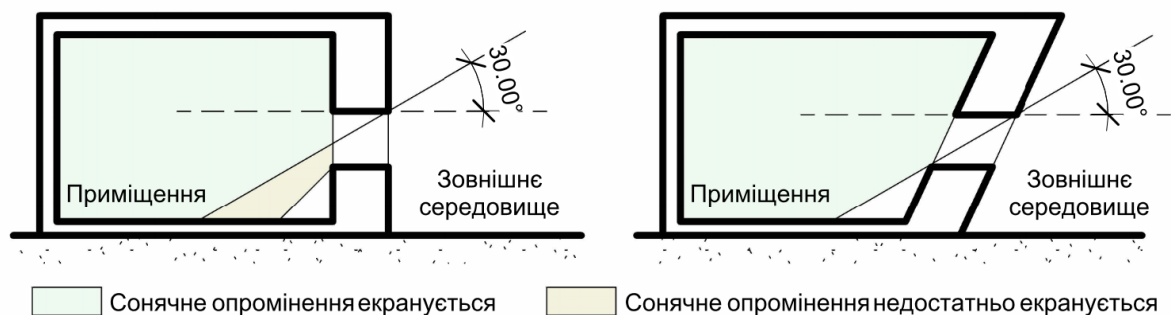


Рис. 2. Пасивне екранування віконних отворів

при помірній його товщині, те ж саме можливо спостерігати з воднем, який можливо закачати у резервуар в стінах будівель. Порядок шарування зовнішніх конструкцій також впливає на ефективність екранування. Наприклад зовнішній шар можливо зробити з реголіту, з внутрішньої сторони розташувати резервуар з алюмінію та заповнити його воднем, та скористатися перевагами всіх трьох матеріалів: реголіт забезпечує екранування, метал забезпечує структурну цілісність і утримує тиск, а збагачена воднем підкладка допомагає послабити як первинні, так і вторинні частинки радіації. [6; 18;]

Екранування віконних отворів (рис. 2) можливо за допомогою розрахунку куту нахилу до горизонту – $<30^\circ$, оскільки атмосфера забезпечує екранування >40 г/см² матеріалу на нахилах, близьких до горизонту. Це дозволяє використовувати природне світло без шкоди для загальної екранізації будівлі. Це відкриває безліч потенційних можливостей для впровадження як природного світла, так і вікон для огляду території, які вважаються важливими для психологічного благополуччя людини та зв'язку з новим середовищем.

Кожна конструкція розроблена на основі цього важливого принципу, дає можливість потраплянню природному світлу у середовище існування, забезпечуючи при цьому істотний захист від надто радіаційних падаючих променів [19].

Для захисту сонячного проміння яке недостатньо екранується, можливо за допомогою збільшення товщини стіни, та навісу над вікнами.

Тиск

При приблизно 0,6% тиску на поверхні Землі найбільшою силою, що діє на середовище існування, є сила внутрішнього тиску в одну атмосферу, що виштовхує назовні. Це має значний вплив на форму будь-якого середовища проживання.

Зазвичай посудини під тиском мають випуклі назовні форми, виготовлені з матеріалів, що сприяють натягу, таких як сталь, алюміній або тканинні конструкції. Одні з таких є надувні конструкції — це вертикально орієнтовані конструкції у формі таблетки. Також матеріали, такі як реголіт можуть використовуватися для створення середовища проживання, вони мають здатність розтягуватися на місці при виготовленні будівель.

Під час використання цих матеріалів, наприклад реголіт/бетон, зовнішньому тиску найкраще протистояти за допомогою арки.

Арка, спрямована всередину, тому є більш ефективною формою, яка стримує сили тиску повітря, як гребля стримує силу води. Арка є однією з найефективніших форм на землі, яка розподіляє вертикальні розподілені навантаження на горизонтальну тягу.

Захист в надзвичайних ситуаціях

У суворих зовнішніх умовах дуже важливо, щоб герметичні житлові приміщення мали резервні житлові зони на випадок надзвичайної ситуації.

Швидкий вихід з приміщень у разі надзвичайних ситуацій або до зони захисту, або до окремого виходу, незалежно від того, чи то шлюз, коридор в інший відсік, чи марсоходу, Як і в земних будівлях дуже небезпечно призначення, будівельні норми вимагають доступу до двох безперешкодних шляхів виходу.

У майбутній місії на Марс астронавти братимуть активну участь в аналізі зразків гірських порід і ґрунту на поверхні планети для виявлення життя, метеорології, визначення характеристик тощо. Аналіз чужорідного позапланетного матеріалу дуже небезпечний, і необхідно вжити всіх заходів, щоб

переконатися, що екіпаж захищений від потенційно смертельних патогенів.

Лабораторію можливо відокремити від громадських і приватних приміщень повітряним шлюзом і надати їй незалежні системи вентиляції. Також їх можливо розділяти за призначенням, наприклад: 1) біологічним наукам і наукам про життя, 2) призначена як інженерний, ремонтно-технічний та лікувально-профілактичний центр біотопу [15].

Концептуальне бачення

Одним з основних критеріїв побудови житла на Марсі є його вартість, дослідження Массачусетського університету, довели про можливість використання Марсіанського реголіту, як будівельного матеріалу, що значно знизить витрати на доставку будівельних матеріалів із Землі, та дасть змогу будувати поселення з матеріалу який знаходиться на Марсі [4].

Запропонована конструкція середовища проживання має бути модульною у формі усіченого октаедру (рис. 3), що дозволяє вільне розширення поселення у вигляді своєрідної 3D сітки, це забезпечить резервування критичних систем і ізоляцію модулів в разі декомпресії, пожежі або інших аварійних ситуацій

Модулі можуть збиратися з окремо виготовлених стін, що заливатимуться розчином з суміші утворення реголіту у спеціальних формах з армованими базальтовою арматурою, яка протидіє силам розтягування,

та буде кріпитися до металевого каркасу, що утворюватиме саму форму будівлі у вигляді скошеного октаедру. Стіни повинні бути утеплені пінополістиролом, для додаткового захисту від прохолодної температури. Між утеплювачем і реголітом буде додатковий шар з алюмінію та поліетилену для додаткового захисту від сонячної радіації.



Рис. 3. Блокування поселення за допомогою форми скошеного октаедру

Один модуль являтиме собою одну житлову одиницю, з всім необхідним для проживання: спальні кімнати, кухня, душ, санвузли, лабораторія, тренажерний зал, шлюз, роздягальню, загальну кімнату, і вестибюльну. Під час утворення поселення, з появою попиту на інші потреби, можливо утворення модулів різного призначення (виробничі, координаційні, рекреаційні) [1].

ЛІТЕРАТУРА

[1] Карпенко Т.В., Дорошенко Ю.О. Дизайн архітектурного середовища житлового простору поселень на Марсі // ПОЛІТ 2022: Матеріали ХХІІ Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки». Архітектура. Будівництво. Дизайн (м. Київ, 3 – 5 травня 2022 року). К.: НАУ, 2022. С. 113-115.

[2] Карпенко Т.В., Дорошенко Ю.О. Перспективне бачення дизайну архітектурного середовища поселення Марсу // АРХІТЕКТУРА ТА ЕКОЛОГІЯ: Матеріали ХІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 9 – 11 листопада 2021 року). К.: НАУ, 2021. С. 113-115.

[3] Карпенко Т.В., Дорошенко Ю.О. Проблемні аспекти формування поселення на Марсі // Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура та Будівництво: нові тенденції і технології. Теорія та практика» (м. Київ 26–27 жовтня 2021 року). К., КНУБА, 2021. С. 161–162.

[4] A.D. Roberts D.R. Whittall R. Breitling E. Takano J.J. Blaker S. Hay N. S. Blood, sweat, and tears:

ВИСНОВКИ

У даній статті було з'ясовано перспективне архітектурне середовище поселень на Марсі та його концептуального бачення з врахуванням його екстремальних умов. Було виявлено чотири основні вимоги до проектування будівель на основі минулих досліджень та три способи будівництва житлового середовища на Марсі. На основі даних про утворення майбутнього поселення, розглянуто три способи комунікації між будівлями поселення – зовнішній, коридорний, сумісний. Запропонована необхідна інфраструктура поселення та її облаштування території, з врахуванням життєдіяльності та систем життєзабезпечення колонії. Розглянуто можливий пасивний захист будівель від радіації за допомогою екранування стін та пасивне екранування вікон, яке можливо досягнути за допомогою архітектурно-конструктивних рішень. Також було розглянуто матеріали та види конструкцій, які можливо використати при надмірному тиску в конструкції будівлі. Було розглянуто вимоги щодо проектування у разі виникнення аварійних ситуацій в поселенні. Був запропонований концепт-дизайн майбутнього поселення у формі усіченого октаедра, з якого житлове середовище можливо скласти немов пазли.

Наведена у статті інформація розвивається у магістерській дисертації й буде використана під час експериментального проектування першого поселення на Марсі.

REFERENCES

[1] Karpenko T.V., Doroshenko Yu.O. Dizajn arhitekturnogo seredovisha zhitlovogo prostoru poselen na Marsi // POLIT 2022: Materiali NHII Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya здобувачів вищої освіти і молодих учених «Polit. Suchasni problemi nauki». Arhitektura. Budivnictvo. Dizajn (m. Kiyiv, 3 – 5 travnya 2022 roku). – K.: NAU, 2022. – 113-115s.

[2] Karpenko T.V., Doroshenko Yu.O. Perspektivne bachenня dizajnu arhitekturnogo seredovisha poselennya Marsu // ARHITEKTURA TA EKOLOGIYA: Materiali HII Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi (m. Kiyiv, 9 – 11 listopada 2021 roku). – K.: NAU, 2021. – 113-115s.

[3] Karpenko T.V., Doroshenko Yu.O. Problemni aspekti formuvannya poselennya na Marsi // Mizhnarodnij naukovo-tehnichnij forum «Arhitektura ta Budivnictvo: novi tendenciyi i tehnologiyi. Teoriya ta praktika» (m. Kiyiv 26–27 zhovtnya 2021 roku). – K., KNUBA, 2021. – S. 161–162.A.D.

[4] Roberts D. R. Whittall R. Breitling E. Takano J. J. Blaker S. Hay N. S. Blood, sweat, and tears: extraterrestrial regolith biocomposites with in vivo binders// Materials

extraterrestrial regolith biocomposites with in vivo binders // Materials today Bio Scrutton Volume 12, September 2021, <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100136>

[5] Adams, C. M.; McCurdy, M. R.; Pauly, K. (2000). Optimized Space Mission and Vehicle Design: Habitability as a Tier-One Criterion in Advanced Space Mission and Vehicle Design, Part Three // (SAE 2000-012332). Warrendale PA: Society of Automotive Engineers. <https://doi.org/10.4271/2000-01-2332>

[6] Benjamin Klamm. Passive Space Radiation Shielding: Mass and Volume Optimization of Tungsten-Doped PolyPhenolic and Polyethylene Resins // In Proceedings from the 29th AIAA/USU Conference on Small Satellites. American Institute of Aeronautics and Astronautics/Utah State University, Aug 2015.

[7] Collin Skocik, NASA concept for generating power in deep space a little KRUSTY. // SpaceFlight Insider URL: <https://www.spaceflightinsider.com/space-centers/glenn-research-center/nasa-concept-for-generating-power-in-deep-space-a-little-krusty/> (July 21. 2019)

[8] Hander M., Dr. Schneider G., Hansen C. A Permanent Habitat for the Colonization for Mars – South Australia, Adelaide, The University of Adelaide School of Mechanical Engineering (2009).

[9] Hecht, M., Hoffman, J., Rapp, D., McClean, J., SooHoo, J., Schaefer, R., Aboobaker, A.; Mellstrom, J.; Hartvigsen, J.; Meyen, F.; Hinterman, E. Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE) // Space Science Reviews. 2021. 217, 9 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00782-8>

<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.05.024>

[10] I. Hublitz, D.L. Henninger, B.G. Drake, P. Eckart Engineering concepts for inflatable Mars surface greenhouses // Advances in Space Research Volume 34, Issue 7, 2004, Pages 1546-1551 <https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.06.002>

[11] Jiawen Liu, Hui Li, Lijun Sun, Zhongyin Guo, John Harvey, Qirong Tang, Haizhu Lu, Ming Jia, In-situ resources for infrastructure construction on Mars: A review // International Journal of Transportation Science and Technology. 2022. Volume 11, Issue 1. P 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2021.02.001>

[12] Marc M. Cohen, First Mars Habitat Architecture // AIAA 2015 Space and Astronautics Forum – 31 Aug-2 Sep 2015, Pasadena, California. <https://doi.org/10.2514/6.2015-4517>

[13] Marc Mitchell Cohen, Pressurized Rover Airlocks // 30th International Conference On Environmental Systems, SAE Technical Paper 2000-01-2389, 2000, <https://doi.org/10.4271/2000-01-2389>

[14] Marianne Rudisill, Ph.D. ; Robert Howard, Ph.D. ; Brand Griffin ; Jennifer Green, Lunar Architecture Team: Phase 2 Habitat Volume Estimation: " Caution When Using Analogs" // 11th Biennial ASCE Aerospace Division International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments [https://doi.org/10.1061/40988\(323\)101](https://doi.org/10.1061/40988(323)101)

[15] Melodie Yashar, Christina Ciardullo, Michael Morris, Rebecca Pailes-Friedman SEArch+ (Space Exploration Architecture) LLC, New York, NY 10023, Dr. Robert Moses, NASA Langley Research Center, Hampton,

today Bio Scrutton Volume 12, September 2021, <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100136>

[5] Adams, C. M.; McCurdy, M. R.; Pauly, K. (2000). Optimized Space Mission and Vehicle Design: Habitability as a Tier-One Criterion in Advanced Space Mission and Vehicle Design, Part Three // (SAE 2000-012332). Warrendale PA: Society of Automotive Engineers. <https://doi.org/10.4271/2000-01-2332>

[6] Benjamin Klamm. Passive Space Radiation Shielding: Mass and Volume Optimization of Tungsten-Doped PolyPhenolic and Polyethylene Resins // In Proceedings from the 29th AIAA/USU Conference on Small Satellites. American Institute of Aeronautics and Astronautics/Utah State University, Aug 2015.

[7] Collin Skocik, NASA concept for generating power in deep space a little KRUSTY. // SpaceFlight Insider URL: <https://www.spaceflightinsider.com/space-centers/glenn-research-center/nasa-concept-for-generating-power-in-deep-space-a-little-krusty/> (July 21. 2019)

[8] Hander M., Dr. Schneider G., Hansen C. A Permanent Habitat for the Colonization for Mars – South Australia, Adelaide, The University of Adelaide School of Mechanical Engineering (2009).

[9] Hecht, M., Hoffman, J., Rapp, D., McClean, J., SooHoo, J., Schaefer, R., Aboobaker, A.; Mellstrom, J.; Hartvigsen, J.; Meyen, F.; Hinterman, E. Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE) // Space Science Reviews. 2021. 217, 9 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00782-8>

<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.05.024>

[10] I. Hublitz, D.L. Henninger, B.G. Drake, P. Eckart Engineering concepts for inflatable Mars surface greenhouses // Advances in Space Research Volume 34, Issue 7, 2004, Pages 1546-1551 <https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.06.002>

[11] Jiawen Liu, Hui Li, Lijun Sun, Zhongyin Guo, John Harvey, Qirong Tang, Haizhu Lu, Ming Jia, In-situ resources for infrastructure construction on Mars: A review // International Journal of Transportation Science and Technology. 2022. Volume 11, Issue 1. P 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2021.02.001>

[12] Marc M. Cohen, First Mars Habitat Architecture // AIAA 2015 Space and Astronautics Forum – 31 Aug-2 Sep 2015, Pasadena, California. <https://doi.org/10.2514/6.2015-4517>

[13] Marc Mitchell Cohen, Pressurized Rover Airlocks // 30th International Conference On Environmental Systems, SAE Technical Paper 2000-01-2389, 2000, <https://doi.org/10.4271/2000-01-2389>

[14] Marianne Rudisill, Ph.D. ; Robert Howard, Ph.D. ; Brand Griffin ; Jennifer Green, Lunar Architecture Team: Phase 2 Habitat Volume Estimation: " Caution When Using Analogs" // 11th Biennial ASCE Aerospace Division International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments [https://doi.org/10.1061/40988\(323\)101](https://doi.org/10.1061/40988(323)101)

[15] Melodie Yashar, Christina Ciardullo, Michael Morris, Rebecca Pailes-Friedman SEArch+ (Space Exploration Architecture) LLC, New York, NY 10023, Dr. Robert Moses, NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23666 and Daniel Case, University of Colorado,

VA 23666 and Daniel Case, *University of Colorado, Boulder CO 80309 Mars X-House: Design Principles for an Autonomously 3DPrinted ISRU Surface Habitat* // 49th International Conference on Environmental Systems ICES-2019-268 7-11 July 2019, Boston, Massachusetts

[16] Mike Brown, How much would it cost to build a city on Mars? // Inverse. URL: <https://www.inverse.com/article/58458-spacex-mars-city-here-s-how-much-it-would-cost-to-build> (29. 10. 2019)

[17] Robert Shishko, René Fradet, Sydney Do, Serkan Saydam, Carlos Tapia - CortezPh.D., Andrew G.Dempster, Jeff Coulton, Mars Colony in situ resource utilization: An integrated architecture and economics model // *Acta Astronautica* Volume 138, September 2017, Pages 53-67.

[18] Tony C. Slaba and Nicholas N. Stoe., Evaluation of HZETRN on the Martian Surface: Sensitivity Tests and Model Results. // *Life Sciences in Space Research* Volume 14, August 2017, Pages 29-35 <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2017.03.001>

[19] Tony C. Slaba, Christopher J. Mertens, and Steve R. Blattnig. Radiation Shielding Optimization on Mars // Technical Report NASA TP-2013-217983, National Aeronautics and Space Administration, 2013.

[20] University of New South Wales, Mars Settlement Likely by 2050 Says Expert // *SciTechDaily* URL: <https://scitechdaily.com/mars-settlement-likely-by-2050-says-expert-but-not-at-levels-predicted-by-elon-musk/> (march 19, 2021)

Boulder CO 80309 Mars X-House: Design Principles for an Autonomously 3DPrinted ISRU Surface Habitat // 49th International Conference on Environmental Systems ICES-2019-268 7-11 July 2019, Boston, Massachusetts

[16] Mike Brown, How much would it cost to build a city on Mars? // Inverse. URL: <https://www.inverse.com/article/58458-spacex-mars-city-here-s-how-much-it-would-cost-to-build> (29. 10. 2019)

[17] Robert Shishko, René Fradet, Sydney Do, Serkan Saydam, Carlos Tapia - CortezPh.D., Andrew G.Dempster, Jeff Coulton, Mars Colony in situ resource utilization: An integrated architecture and economics model // *Acta Astronautica* Volume 138, September 2017, Pages 53-67.

[18] Tony C. Slaba and Nicholas N. Stoe., Evaluation of HZETRN on the Martian Surface: Sensitivity Tests and Model Results. // *Life Sciences in Space Research* Volume 14, August 2017, Pages 29-35 <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2017.03.001>

[19] Tony C. Slaba, Christopher J. Mertens, and Steve R. Blattnig. Radiation Shielding Optimization on Mars // Technical Report NASA TP-2013-217983, National Aeronautics and Space Administration, 2013.

[20] University of New South Wales, Mars Settlement Likely by 2050 Says Expert // *SciTechDaily* URL: <https://scitechdaily.com/mars-settlement-likely-by-2050-says-expert-but-not-at-levels-predicted-by-elon-musk/> (march 19, 2021)

ABSTRACT

Markovskiy A., Karpenko T. Architectural environment of settlements on Mars: Conceptual vision and possibilities of formation.

In the article, the author describes the main requirements for the formation of settlements on Mars, which should create an environment favorable for human existence. The main features of the design that will affect the future settlement are highlighted: types of connections between buildings, methods of construction and erection of the living environment, necessary arrangement of infrastructure and equipment of the territory, protection of buildings from radiation, excessive pressure and emergency situations. The author also offers his version of the design of the architectural environment of the future settlement.

Goal. *Elucidation of the architectural environment of settlements on Mars, the conceptual vision and the possibility of its formation, based on these environmental features and the necessary requirements for the safe living of a person in a living space.*

Methodology. *The research was carried out on the basis of a systematic approach in three stages: analysis of the situation with the identification of the main requirements for living, development of methods of forming the architectural environment based on the received data and factors, proposal of a conceptual vision of the living environment*

The results. *The architectural environment of settlements on Mars, the conceptual vision and the possibility of its formation, based on these environmental features and the necessary requirements for the safe living of a person in a living space, have been clarified.*

Scientific novelty. For the first time: a conceptual vision of the habitat is proposed thanks to modular constructions in the form of a honeycomb. Improved: methods of forming the architectural environment based on the received data and factors. Further development took place: the formation of habitats on the planets of the solar system.

Practical significance. The results of the research can be used in the construction of a settlement on Mars. We know the extreme living conditions on the planet, but thanks to the proposed architectural solutions that provide protection from negative factors and provide the living environment with everything necessary, it is possible to create comfortable housing for people to live in.

Keywords: planetary colonization, architectural environment, architectural design, Mars, housing, possibilities of settlement formation, conceptual vision.

AUTHOR'S NOTE:

Markovskyi Andriy, Doctor of Architecture, Associate Professor, Head of the Department of Architecture and Spatial Planning and the Faculty of Architecture, Construction and Design of the National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andrii_markovskyi@ukr.net, orcid: 0000-0002-9499-4434

Karpenko Taras, Master's Student of the Faculty of Architecture, Construction and Design of the National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: 142taras@gmail.com, orcid: 0000-0001-7769-9495

Стаття подана до редакції 17.11.2022 р.
Стаття прийнята до друку 30.11.2022 р.