

Залипка В.Д.
Національна академія сухопутних військ, м Львів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО МАНІПУЛЯТОРА БАГАТОЦІЛЬОВИХ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ

У роботі запропоновано новий підхід (ідею) щодо забезпечення багатофункціональності маніпуляторів багатоцільових роботизованих платформ (БРП) із застосуванням новітньої технології Abenics з метою покращення їх експлуатаційних властивостей таких як прохідність та стійкість. Сутність даного підходу полягає в тому, що маніпулятори використовуючи можливості технології Abenics можуть виконувати як свою наперед визначену функцію так і функцію крокуючого або колісного рушія.

Наведено результати об'ємного моделювання багатофункціональних маніпуляторів на платформі в програмному середовищі SolidWorks та проаналізовано конструкційні особливості технології Abenics. В програмному середовищі SolidWorks, досліджено, шляхом моделювання, при навантаженні 200Н, показники напружено-деформованого стану елементів пальців (штанга, контактна опора) кінцевого ефектора багатофункціонального маніпулятора. Визначено: напруження на ділянках штанги та контактної опори, значення яких не є критичними; переміщення – 0,4-0,8 мм, вважаться задовільним, а переміщення в контактній опорі взагалі незначне; деформація штанги лежить в задовільних межах; коефіцієнт запасу міцності вищий за 1,3 – є задовільним. Деформацію та коефіцієнт запасу міцності контактної опори, розрахувати недоцільно через високу міцність при даному навантаженні.

Встановлено, що при навантаженні 200Н на елементи пальців кінцевого ефектора багатофункціонального маніпулятора в режимі крокуючого чи колісного рушія, БРП може транспортувати вантажі масою 200-250 кг. Запропоновано в першу чергу реалізовувати такий підхід на логістичних чи медичних БРП, застосування на бойових та спеціальних БРП, вимагатиме додаткової стабілізації для належного забезпечення використання відповідного озброєння та спеціального обладнання носіями яких вони є.

Ключові слова: багатофункціональний маніпулятор, штанга, контактна опора, багатоцільова роботизована платформа, технологія Abenics.

ВСТУП

Сьогодні цілком очевидним є розуміння того, що тільки пропозиції нових принципів і технологій та ідей, які ґрунтуються на новітніх підходах у створенні нових зразків озброєння і військової техніки, а зокрема багатоцільових роботизованих платформ (БРП) технічного, тилового та медичного забезпечення [1], здатні забезпечити суттєве покращення їх експлуатаційних властивостей таких як прохідність та стійкість. А також розширити їх функціональні можливості та перелік виконуваних задач і як наслідок забезпечити вагому перевагу на полі бою над противником в цілому. Аналізуючи Стратегію роботизованих та автономних систем армії США (як країни-лідера в цьому сегменті) до 2035 року, Операційну концепцію армії США до 2040 року та Інтегровану дорожню карту безпілотних систем на 2017-2042 роки можна з'ясувати, як їх військово-політичне керівництво буде впроваджувати нові технології в майбутні проекти щодо створення та застосування роботизованих повітряних, сухопутних, надводних та підводних систем, щоб забезпечити собі перевагу над все більш підготовленим у технологічному плані противником [2-4]. На сучасному етапі розвитку збройних сил провідних країн світу та України і з врахуванням інтенсивності ведення бойових дій в ході російсько-української війни, основною тенденцією стає поступове заміщення військовослужбовців роботизованими системами, які повністю беруть на себе виконання функцій при небезпечних для здоров'я та життя умовах. У зв'язку з цим особливого значення набувають дослідження пов'язані з вирішенням задач покращення експлуатаційних властивостей БРП таких як прохідність та стійкість. Одним із шляхів покращення експлуатаційних властивостей і розширення функціональних можливостей БРП – є запропонована автором ідея щодо реалізації багатофункціональності їх засобів взаємодії із зовнішніми об'єктами та середовищем (маніпулятор, рушій). Таким чином дослідження, зокрема із використанням програмного середовища для об'ємного моделювання SolidWorks, що дозволяє належним чином проілюструвати отримані результати щодо забезпечення багатофункціональності маніпуляторів БРП та визначити напружено-деформованого стану їх елементів, є актуальними у науково-технічному аспекті.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Застосування роботизованих систем є одним із найважливіших напрямів підвищення якісного рівня технічних засобів збройної боротьби проти російської агресії, тобто покращення параметрів ефективності існуючих і перспективних зразків, розширення їх функціональних можливостей, буде сприяти зменшенню кількості втрат особового складу під час ведення бойових дій. Однак, поряд з тим, аналізуючи бойовий досвід та доповіді на різноманітних наукових заходах з'ясуємо, що існує проблема щодо збереження належної прохідності та стійкості таких систем в ході виконання завдань за призначенням по складних для руху ділянках місцевості. В попередніх роботах [5-7] автором запропонований підхід, сутність якого полягає в забезпеченні багатофункціональності маніпуляторів БРП (виконання функцій маніпулятора і крокуючого або колісного рушія) за рахунок їх трансформації, який дозволить покращити такі експлуатаційні властивості як прохідність та стійкість. Реалізація даного підходу (ідеї) в об'ємному вигляді проводилась в програмному середовищі SolidWorks, проте отримані результати дозволяють проаналізувати лише конструкційні особливості БРП із багатофункціональними маніпуляторами. У роботах [8;9] описано методи, які дозволяють забезпечити багатофункціональність деяких складових роботизованих систем, але вони не відображають процесу реалізації багатофункціональності маніпуляторів, які можуть виконувати функцію крокуючого чи колісного рушія, а також не наведено результатів щодо визначення напружено-деформованого стану їх складових. Таким чином, на думку автора, наступним етапом дослідження для формування відповідних пропозицій виробникам щодо створення перспективних зразків – є моделювання в програмному середовищі SolidWorks з метою визначення напруження, переміщення, деформації та коефіцієнту запасу міцності елементів (штанга, контактна опора) багатофункціонального маніпулятора.

ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціллю дослідження є визначення напруження, переміщення, деформації та коефіцієнту запасу міцності елементів багатофункціонального маніпулятора багатоцільової роботизованої платформи шляхом їх моделювання в програмному середовищі SolidWorks.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для належного розуміння теперішнього і подальших досліджень перед визначенням напруження, переміщення, деформації та коефіцієнту запасу міцності елементів багатофункціонального маніпулятора БРП шляхом їх моделювання в програмному середовищі SolidWorks пропоную короткий опис, принципово нового підходу щодо забезпечення багатофункціональності. Сучасний маніпулятор - це механізм з електронним керуванням, який складається з кількох сегментів і виконує завдання, взаємодіючи з навколишнім середовищем. Їх також зазвичай називають роботами, або роботами-маніпуляторами, вони широко використовуються в промисловому виробництві і у небезпечних сферах людської життєдіяльності, якою безумовно є і військова. Складаються вони з набору ланок і шарнірів та використовують як правило гідравлічний, пневматичний та електричний приводи. Ланки визначаються як жорсткі секції, які утворюють механізм, а з'єднання (шарніри) визначаються як з'єднання між двома ланками. Пристрій, приєднаний до кінцевої ланки маніпулятора, який взаємодіє з навколишнім середовищем для виконання завдань, називається кінцевим ефектором (захватом). Забезпечення багатофункціональності маніпуляторів (достатньо мати на БРП два або чотири, щоб належним чином переходити в режим рушія) полягатиме в застосуванні певної технології для здійснення руху із достатньою кількістю ступенів вільності у верхній та нижній площинах відносно БРП щоб контактувати з об'єктами з метою їх захоплення як безпосередньо маніпулятор так із опорною поверхнею (певна ділянка місцевості) як крокуючий чи колісний, в залежності від обставин, рушія.

Враховуючи вище зазначені умови та широкий спектр технологій, які стрімко розвиваються в робототехніці, на мій погляд найбільш перспективною технологією, яка могла б забезпечити реалізацію багатофункціональності з необхідною кількістю ступенів вільності при мінімальних масо-габаритних параметрах – є технологія Abenics [10] (Active Ball Joint Mechanism - активний кульовий шарнірний механізм). Це спеціальна сферична механічна конструкція для можливих нових сервоприводів з кульовим шарніром. Її конструкційна оригінальність полягає в наступному: стандартна форма звичайного зубчастого колеса (шестерні) при обертанні його навколо однієї осі за рахунок механізму Abenics трансформується у тривимірну, що забезпечує сферичний рух об'єкта в будь-якому напрямку. Усі три ступені вільності забезпечуються однією точкою контакту «сферичної» шестерні (CS) та «шестернею-моноподем» (MP) (рис. 1).

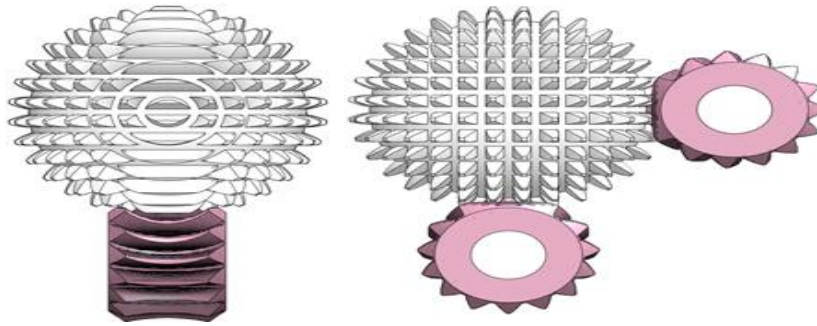


Рисунок – 1 Зачеплення об'ємних МР та CS-шестерень механізму Abenics

Враховуючи можливості даної технології автором проведено поетапне об'ємне моделювання з її застосуванням окремих частин та цілого складання БРП з багатофункціональними маніпуляторами у програмному середовищі SolidWorks [11]. В конструкції маніпулятора, розробленої автором, передбачено дві ланки, одна закріплена до механізму Abenics, а друга з'єднана шарнірним з'єднанням з першою, закінчується так званим кінцевим ефектором (захватом) (рис. 2). Кінцевий ефектор має вісім пальців (для захвату достатньо три, а для режиму рушія краще більше), які в свою чергу складаються зі штанг та з контактних опор ключкової форми. Пальці оснащені демпферними пристроями, що при контакті з різними нерівностями в режимі крокуючого рушія, гасить нерівномірні реакції та забезпечує належний контакт з рівномірним розподілом навантаження. Режим колісного рушія досягається зміною положення кінцевого ефектора з вертикального у горизонтальне шляхом випрямлення ланок, а наявна кількість пальців та спеціальні майданчики для контакту із опорною поверхнею при зовнішньому розташуванні, належним чином забезпечують кочення. Безпосередньо рух самих пальців забезпечується шляхом переміщення пружинних штоків до яких вони закріплені у приводному вузлі (рис. 3).

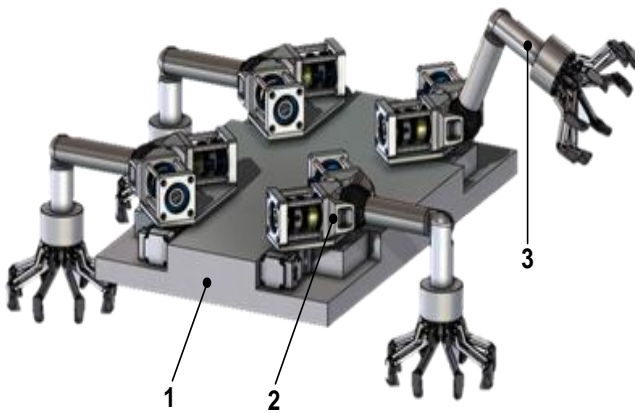


Рисунок – 2 Концепт багатоцільової роботизованої платформи: 1 - платформа; 2 - механізм Abenics; 3 - багатофункціональний маніпулятор

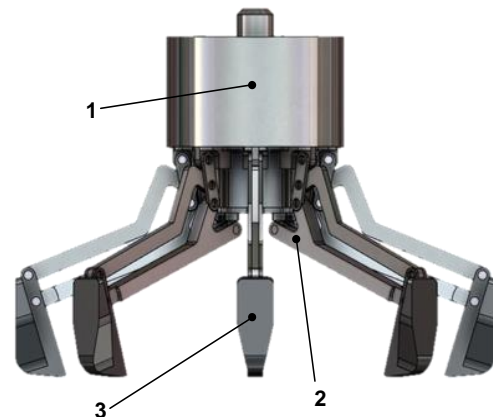


Рисунок – 3 Кінцевий ефектор (захват) багатофункціонального маніпулятора: 1 - приводний вузол, 2 - штанга; 3 – контактна опора.

Таким чином після розгляду конструкційних особливостей переходимо до визначення напруження, переміщення, деформації та коефіцієнту запасу міцності елементів багатофункціонального маніпулятора БРП шляхом їх моделювання в програмному середовищі SolidWorks, це одна із найпоширеніших розрахункових задач. Адже серед різних варіантів підвищення продуктивності та якості проектно-конструкторської діяльності для створення нових зразків БРП (інших роботизованих комплексів) найбільш ефективним є застосування сучасних софтів для комп'ютерної техніки з метою проведення відповідного моделювання конкретних елементів певного виробу. Якщо говорити про виробництво та застосування БРП з багатофункціональними маніпуляторами необхідно здійснити такий розрахунковий підбір деталей, щоб вони могли виконувати свої наперед визначені функції при прикладанні до них навантажень без руйнувань (втрати первинної геометричної форми). SolidWorks дозволяє усунути можливі помилки і неточності

в процесі розробки конструкторської документації якого-небудь виробу. Досягти цього можна шляхом комп'ютерного моделювання окремих деталей і їх взаємодії у складанні.

Враховуючи вище зазначене проведено відповідне моделювання одних з найбільш навантажених елементів (деталей) багатофункціонального маніпулятора БРП, а саме складових пальців кінцевого ефектора (штанги та контактної опори). Перед початком розрахунку необхідно: задати місця закріплення деталі, прикласти необхідну силу в місця навантажень, створити сітку кінцевих елементів та підібрати матеріал деталей.

Закріплюємо деталь в місцях гвинтових кріплень (рис. 4)



Рисунок – 4 Місця кріплення штанги та контактної опори

Навантаження будемо прикладати в кінцях деталей (рис. 5), де вони і найбільше виникають під час експлуатації. Приймаємо зусилля в 200 Н (20кг).

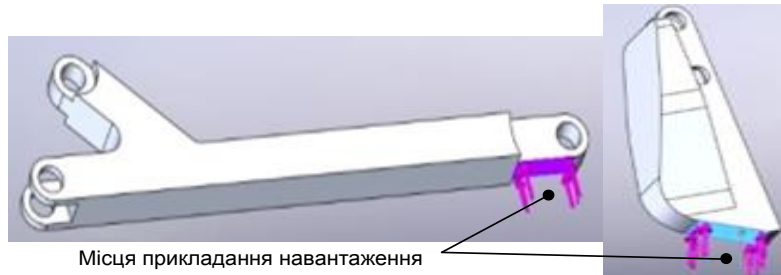


Рисунок – 5 Місця прикладання навантаження до штанги та контактної опори

Наступним кроком буде створення сітки кінцевих елементів (рис. 6) методом трикутних полігонів. Обираємо в програмі оптимальний розмір полігонів для наших деталей та отримуємо деталі, поділені на полігони:

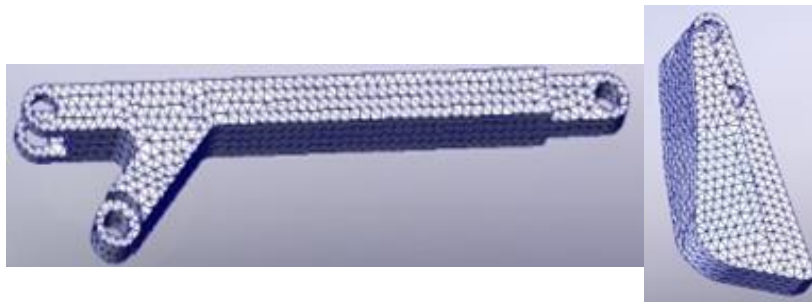


Рисунок – 6 Сітка кінцевих елементів

Розрахунок буде проводитись для деталей з алюмінієвого сплаву марки 6061. Алюміній 6061 є атмосферно-затверділим сплавом, тобто він підсилюється під час термічної обробки, що передбачає вивільнення частинок у структуру зерна металу, перешкоджаючи руху та ефективно збільшуючи міцність та довговічність. Серед основних його легуючих елементів - кремній і магній, крім таких елементів, як залізо, мідь і цинк. Він має велику оброблюваність і спектр механічних властивостей. Крім того, сплав марки 6061 демонструє високий рівень корозійної стійкості і є дуже зварюваним.

Проводимо розрахунок напружень штанги (досліджувані ділянки показано стрілками, на графіку приймаються за 1) і отримуємо результати, які ілюструють, що найбільші напруження в деталях виникають в місцях переходу до іншого елемента (рис. 7).

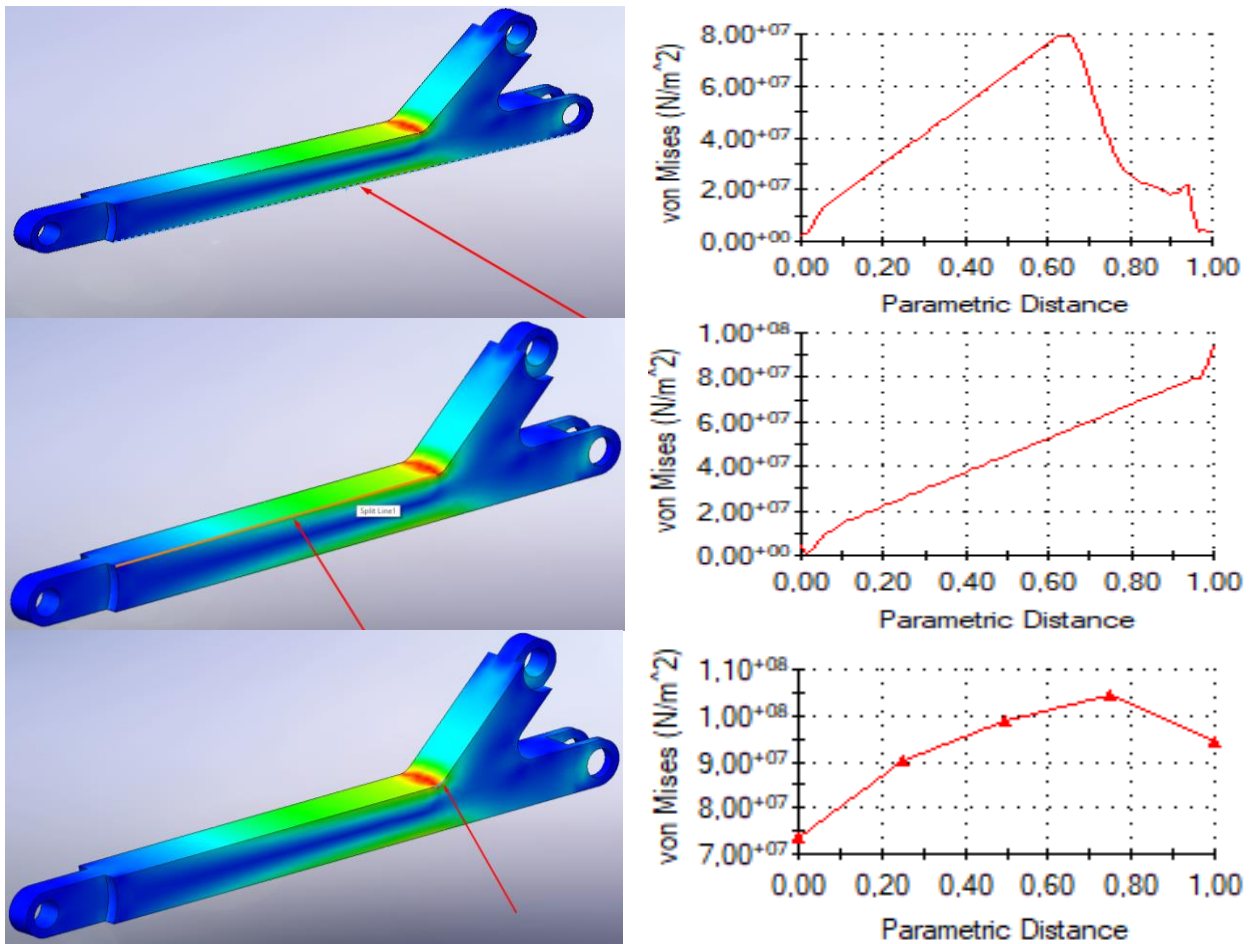


Рисунок – 7 Виникаючі напруження на ділянках штанги та їх графічне представлення

Аналогічний розрахунок напружень проводимо і для контактної опори (рис. 8)

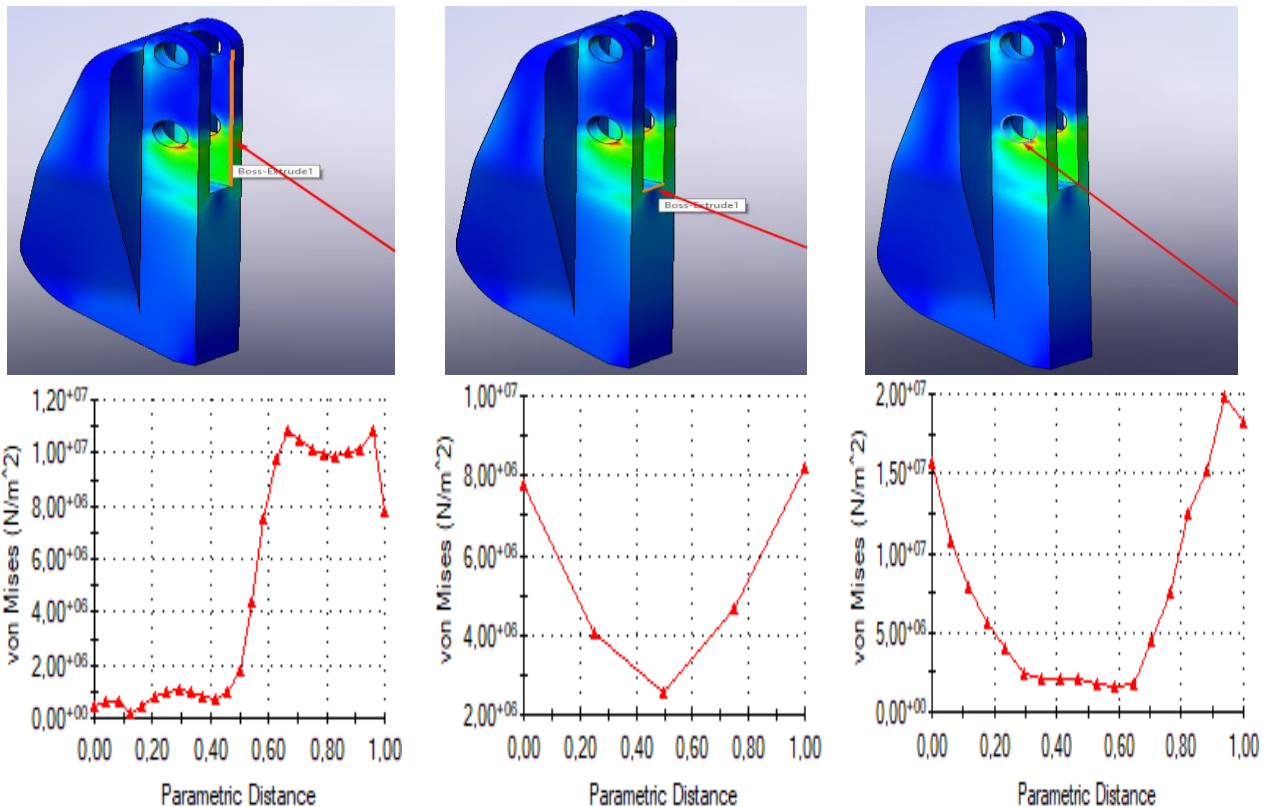


Рисунок – 8 Виникаючі напруження на ділянках опори та їх графічне представлення

Наступний етап – визначення переміщення, показує наскільки деталь переміститься відносно свого початкового положення після прикладання заданого навантаження. Максимальне значення в 0,8 мм досягається в місці кріплення гвинта. Цим значенням ми можемо знехтувати, так як в загальному складанні на цьому місці буде вмонтовано гвинт, який прийме частину навантаження. Отже, переміщення в діапазоні 0,4-0,8 мм вважаються задовільним (рис. 9), а переміщення в контактній опорі взагалі незначне.

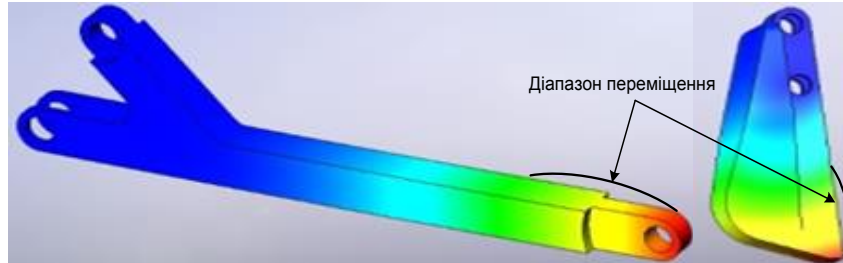


Рисунок – 9 Найвні переміщення в деталях, що досліджуються

Еквівалентна деформація – безрозмірна величина, яка визначається відношенням зміни розміру чи форми матеріалу до початкових розмірів. Деформація штанги лежить в задовільних межах і дає зрозуміти, що деталь після прикладання навантаження не здеформується (рис. 10). Деформацію, а також коефіцієнт запасу міцності контактної опори, що опирається на опорну поверхню розраховувати недоцільно через високу міцність при даних навантаженнях.

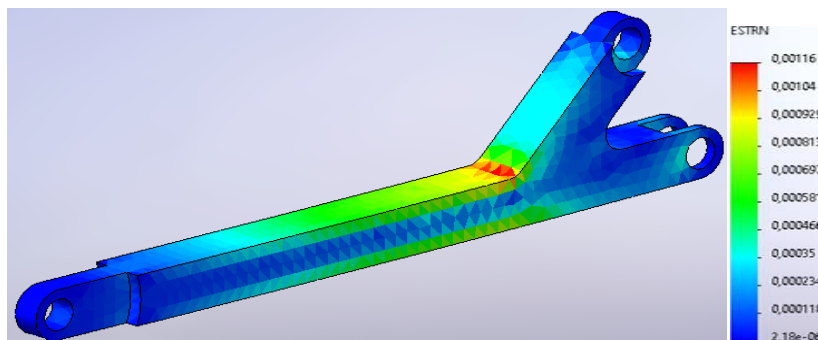


Рисунок – 10 Визначення деформації штанги

Далі розраховуємо коефіцієнт запасу міцності штанги (рис. 11), тобто відношення граничного напруження до розрахункового. Очікувано, що з найменшим значенням буде місце, де виникають найбільші напруження в деталі. Це місце є переходом на інший елемент. В цьому місці коефіцієнт запасу міцності дорівнює 0,5. Цей показник є тільки в одному місці на вищезазначених графіках, на переході. Отже, доцільно при виробництві обрати більший радіус переходу в деталі. В цілому коефіцієнт запасу міцності вищий за 1,3, а це значення є задовільним.

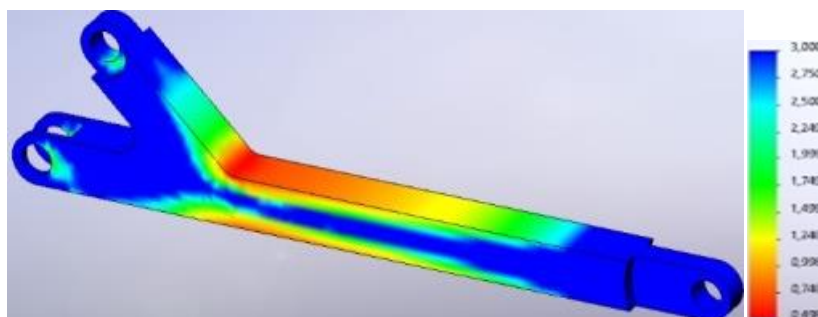


Рисунок – 11 Визначення коефіцієнту запасу міцності штанги

Таким чином після проведення даних досліджень в програмному середовищі SolidWorks, можна стверджувати, що елементи пальців багатofункціонального маніпулятора витримують задані навантаження.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даному моделюванні використовувалися два типи скінчених елементів: об'ємні ізопараметричні тетраедри і трикутні елементи оболонки. Обидва ці типи можуть мати лінійне або параболічне поле переміщень (постійну деформацію або лінійне поле деформацій). Тетраедри містять, відповідно, 4 або 10 вузлів, а оболонки - 3 або 6. Ніяких других типів елементів: балок, стрижнів, контактних елементів у програмі немає. Контактні скінченні елементи, у програмі відсутні. На основі деяких спостережень можна стверджувати, що врахування відповідних граничних умов відбувається зміною глобальної матриці жорсткості системи. Інші типи кінематичних граничних умов реалізуються зміною матриці жорсткості системи. Синтез в межах одного складання контактних граничних умов типу входу в контакт і виходу з контакту можливий, але отримані результати деколи неадекватні ситуації.

Для розрахунку складань реалізовано граничні умови, такі як "Дистанційне навантаження" (Remote Load), "Точно" (Rigid), "Шпилька" (Pin). Реалізація цих умов (або деяких їх різновидностей) передбачає такі зміни матриці жорсткості системи, які фактично призводять до появи в моделі абсолютно строгого об'єкту (віртуального). Як наслідок, у місці, де цей об'єкт взаємодіє з "реальними" деталями складання (фактично, у зоні використання описаних граничних умов), можливе появлення теоретично нескінчених деформацій (напруження). На практиці це виражається у відсутності подібності рішення при згущення сітки і до некоректних результатів. Однак присутній р-адоптивний метод побудови сітки скінчених елементів. Це означає, що в зонах з високим градієнтом енергії деформації програма збільшує порядок поліному, який апроксимує поле переміщень у кінцевому елементі. При некоректній постановці кінематичних граничних умов можливе появлення особливостей (теоретично нескінчених деформацій і напруження).

Такий підбір параметрів елементів пальців кінцевого ефектора багатофункціонального маніпулятора при навантаженні 200Н в режимі крокуючого чи колісного рушія, забезпечує вантажність БРП в межах 200-250 кг, прикладання більшого навантаження тягне за собою побудову міцніших та жорсткіших елементів. Таким чином така конструкційна побудова цілком може бути покладена в основу створення нових БРП, маніпулятори яких можуть трансформуватися в рушій в наслідок чого покращуються такі експлуатаційні властивості як прохідність та стійкість.

Очевидним є те, що передумовою для БРП, що зумовлює потребу багатофункціонального маніпулятора, є в першу чергу, дорожні умови (місцевість), адже в умовах бездоріжжя чи внаслідок ракетних та артилерійський руйнувань, настають такі граничні умови коли рух на основному рушії є неможливим і є необхідність в застосуванні додаткових (допоміжних) механізмів. Однак слід зазначити, що в першу чергу реалізовувати такий підхід слід на логістичних чи медичних БРП, тому, що застосування на бойових та спеціальних, очевидно буде вимагати додаткової їх стабілізації, щоб належним чином забезпечити використання відповідного озброєння та спеціального обладнання носіями яких вони є.

ВИСНОВКИ

Для покращення експлуатаційних властивостей БРП таких як прохідність та стійкість запропоновано новий підхід (ідею) щодо забезпечення багатофункціональності маніпуляторів БРП із застосуванням новітньої технології Abenics. Маніпулятори за даним принципом можуть виконувати як свою наперед визначену функцію так і функцію крокуючого або колісного рушія. Проаналізовано конструкційні особливості технології Abenics та наведено результати об'ємного моделювання багатофункціональних маніпуляторів на платформі в програмному середовищі SolidWorks. Досліджено, також в програмному середовищі SolidWorks, показники напружено-деформованого стану елементів пальців (штанга, контактна опора) кінцевого ефектора багатофункціонального маніпулятора при навантаженні 200Н. А саме: напруження на ділянках штанги та контактної опори з графічним представленням, значення яких не є критичними; переміщення – 0,4-0,8 мм, вважаються задовільним, а переміщення в контактній опорі взагалі незначне; деформація штанги лежить в задовільних межах та ілюструє, що деталь після прикладання навантаження не zdeформується; коефіцієнт запасу міцності вищий за 1,3, а це значення є задовільним. Деформацію та коефіцієнт запасу міцності контактної опори, розраховувати недоцільно через високу міцність при даному навантаженні.

Отримані результати при навантаженні 200Н на елементи пальців кінцевого ефектора багатофункціонального маніпулятора свідчать про те, що БРП в режимі крокуючого чи колісного рушія, може транспортувати вантажі масою 200-250 кг, зрозуміло, що для переміщення важчих вантажів необхідно здійснювати окремі розрахунки, керуючись також і призначенням таких БРП.

Запропоновано в першу чергу реалізувати такий підхід на логістичних чи медичних БРП, тому, що застосування на бойових та спеціальних, очевидно буде вимагати додаткової їх стабілізації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Концепція розвитку та застосування наземних роботизованих комплексів (платформ) у підрозділах Сухопутних Військ Збройних Сил України // Командування Сухопутних Військ Збройних Сил України спільно з науковим центром Сухопутних Військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного – 2021., ВКП 3-00(11).01. 24 с.
2. The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy. Maneuver, Aviation, and Soldier Division Army Capabilities Integration Center U.S. Army Training and Doctrine Command 950 Jefferson Ave, Fort Eustis, VA 23604, March 2017.
3. U.S. Department of the Army. The U.S. Army Operating Concept – Win a Complex World 2020 - 2040. TRADOC Pamphlet 525-3-1, October 7, 2014.
4. U.S. Joint Chiefs of Staff. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY 2017-2042, Washington, D.C. January 2017.
5. Zalyпка V. Theoretical principles and practical aspects of the theory of transformation of interaction measures with external objects and the environment for ground robot complexes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Scientific and Theoretical Conference "Modeling and Computer Engineering in Mechanical Engineering: Theory, Practice, and Innovation" (MCEME-2022): conference paper. 2022. P. 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1277/1/012002>.
6. Залипка В.Д. Аналіз та синтез класифікаційних ознак засобів взаємодії із зовнішніми об'єктами та середовищем багатоцільових роботизованих платформ для подальшої їх трансформації. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2023. № 2. С. 21-33. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230202.03>.
7. Залипка В.Д. Конструкційні особливості колісного рушія багатоцільових роботизованих платформ із здатністю трансформуватися. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 2, No.3, 2023, pp. 1-9. doi: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230203.01>
8. He Wang, Jiadong Shi, Jianzhong Wang, Hongfeng Wang, Yiming Feng, Yu You. Design and Modeling of a Novel Transformable Land Air Robot. International Journal of Aerospace Engineering. 2019. ID 2064131. P. 1-10 p. <https://doi.org/10.1155/2019/2064131>.
9. Satwik T., Sudheer A, Joy M. Kinematic Modelling and Structural Analysis of a Spherical Robot. International Conference on Innovations in Mechanical Sciences (ICIMS'21): conference paper. 2021. P. 1-12 <https://doi:10.1088/1757-899X/1132/1/012034>.
10. Kazuki Abe, Kenjiro Tadakuma, Riichiro Tadakuma. ABENICS: Active Ball Joint Mechanism With Three-DoF Based on Spherical Gear Meshings. April 2021IEEE Transactions on Robotics PP(99). DOI: <https://doi:10.1109/TRO.2021.3070124>.
11. SolidWorks Simulation (Cosmosworks). Comm IT. Інформаційні системи управління: веб-сайт. URL: <http://commit.name/index.php?MainShowID=105>.

REFERENCES

1. Kontsepsiya rozvytku ta zastosuvannya nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv (platform) u pidrozdilakh Sukhoputnykh Viys'k Zbroynykh Syl Ukrayiny // Komanduvannya Sukhoputnykh Viys'k Zbroynykh Syl Ukrayiny spil'no z naukovym tsentrom Sukhoputnykh Viys'k Natsional'noyi akademiyi sukhoputnykh viys'k imeni het'mana Petra Sahaydachnoho – 2021., VKP 3-00(11).01. 24 s.
2. The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy. Maneuver, Aviation, and Soldier Division Army Capabilities Integration Center U.S. Army Training and Doctrine Command 950 Jefferson Ave, Fort Eustis, VA 23604, March 2017.
3. U.S. Department of the Army. The U.S. Army Operating Concept – Win a Complex World 2020 - 2040. TRADOC Pamphlet 525-3-1, October 7, 2014.
4. U.S. Joint Chiefs of Staff. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY 2017-2042, Washington, D.C. January 2017.
5. Zalyпка V. Theoretical principles and practical aspects of the theory of transformation of interaction measures with external objects and the environment for ground robot complexes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Scientific and Theoretical Conference "Modeling and Computer Engineering in Mechanical Engineering: Theory, Practice, and Innovation" (MCEME-2022): conference paper. 2022. P. 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1277/1/012002>.

6. Zalyпка V.D. Analiz ta syntez klasyfikatsiynykh oznak zasobiv vzayemodiyi iz zovnishnimy ob'yektamy ta seredovyshchem bahatotsil'ovykh robotyzovanykh platform dlya podal'shoyi yikh transformatsiyi. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2023. № 2. S. 21-33. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230202.03>.

7. Zalyпка V.D. Konstruktsiyni osoblyvosti kolisnoho rushiya bahatotsil'ovykh robotyzovanykh platform iz zdatnistyu transformuvatsya. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 2, No.3, 2023, pp. 1-9. doi: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230203.01>

8. He Wang, Jiadong Shi, Jianzhong Wang, Hongfeng Wang, Yiming Feng, Yu You. Design and Modeling of a Novel Transformable Land Air Robot. International Journal of Aerospace Engineering. 2019. ID 2064131. P. 1-10 p. <https://doi.org/10.1155/2019/2064131>.

9. Satwik T., Sudheer A, Joy M. Kinematic Modelling and Structural Analysis of a Spherical Robot. International Conference on Innovations in Mechanical Sciences (ICIMS'21): conference paper. 2021. P. 1-12 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1132/1/012034>.

10. Kazuki Abe, Kenjiro Tadakuma, Riichiro Tadakuma. ABENICS: Active Ball Joint Mechanism With Three-DoF Based on Spherical Gear Meshings. April 2021 IEEE Transactions on Robotics PP(99). DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2021.3070124>.

11. SolidWorks Simulation (Cosmosworks). Comm IT. Інформаційні системи управління: веб-сайт. URL: <http://commit.name/index.php?MainShowID=105>.

V. Zalyпка. Simulation of the stress-deformed state of the elements of the multifunctional manipulator of multipurpose robotic platforms

The paper proposes a new approach (idea) to ensure the multi-functionality of manipulators of multipurpose robotic platforms (MRP) using the latest Abenics technology in order to improve their operational properties such as passability and stability. The essence of this approach is that manipulators using the capabilities of Abenics technology can perform both their predetermined function and the function of a stepper or wheel drive.

The results of the volumetric modeling of multifunctional manipulators on the platform in the SolidWorks software environment are presented, and the design features of the Abenics technology are analyzed. In the SolidWorks software environment, the parameters of the stress-strain state of the finger elements (rod, contact support) of the end effector of the multifunctional manipulator were studied by means of simulation under a load of 200N. Determined: stress on the sections of the rod and contact support, the values of which are not critical; movement - 0.4-0.8 mm, is considered satisfactory, and the movement in the contact support is generally insignificant; deformation of the bar is within satisfactory limits; the margin of safety factor is higher than 1.3 – is satisfactory. It is impractical to calculate the deformation and safety factor of the contact support due to the high strength under this load.

It was established that with a load of 200N on the finger elements of the end effector of the multifunctional manipulator in the mode of a stepping or wheel drive, the MRP can transport loads weighing 200-250 kg. It is proposed to implement this approach primarily on logistical or medical BRPs, use on combat and special MRP will require additional stabilization to properly ensure the use of the appropriate weapons and special equipment that they carry.

Key words: multifunctional manipulator, rod, contact support, multipurpose robotic platform, Abenics technology.

ЗАЛИПКА Василь Дарійович, кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національна академія сухопутних військ, e-mail: zalyпка_w@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-5189-8370>.

Vasyl ZALYPKA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Automobiles and Automotive Industry, National Academy of Ground Forces, e-mail: zalyпка_w@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-5189-8370>.

DOI 10.36910/automash.v2i21.1214