

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Дослідження навантаження в елементах конструкцій
одноковшевого екскаватора
за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання»
зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент

групи: ПМ2326


(підпис)

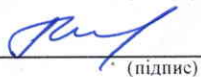
/ Ілля БУРЛАКОВ /

Керівник:


(підпис)

/ Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ /

Нормоконтролер:


(підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2025

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Faculty of Transport Engineering

Department of Applied Mechanics and Materials Science

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic:

Study of loading in structural elements of a single-bucket excavator

according to educational curriculum «Lifting and transport, road construction, land reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПІМ2325 / Ilya BURLAKOV /

Scientific Supervisor: / Kazimir HLAVATSKYI /


Normative controller : / Oleksandr POSMITIUKHA /

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія
Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство
Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
(підпис)  Сергій РАКША

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

студенту Бурлакову Іллі Євгеновичу

1. Тема роботи: Дослідження навантаження в елементах конструкцій одноковшового екскаватора

Керівник роботи: Главацький Казимир Цезарович, к. т. н., доцент

затверджені наказом від "27" 10 2023 р. № 1043ст

2. Строк подання студентом роботи: 10.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Базова машина – одноковшовий екскаватор.

Категорія ґрунту – I – IV. Основне робоче обладнання – зворотна лопата.

Тип приводу – гідравлічний. Металоконструкції робочого обладнання – цільно зваре

Умови використання машини – природно-кліматична зона України.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: технічне обґрунтування актуальності дослідження навантаження в елементах робочого обладнання.

4.2 Основна частина: загальний та силовий розрахунок екскаватора.

4.3 Науково-дослідна частина: дослідження напружено-деформованого стану елементів робочого обладнання і навантажень в його елементах.

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

Загальний вигляд екскаватора; розрахункові схеми; результати розрахунків та дослідження інші матеріали.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Технічне обґрунтування роботи	06.03.2024	виконан
2	Визначення навантажень металоконструкції робочого обладнання	20.05.2024	виконан
3	Визначення напружень у металоконструкції робочого обладнання	20.11.2024	виконан
4	Загальні висновки та рекомендації	20.12.2024	виконан
5	Підготовка презентації роботи	10.10.2024	виконан
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.12.2024	виконан
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.2025	

Дата видачі завдання: 1 листопада 2023 р.

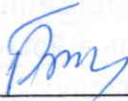
Керівник роботи



(підпис)

Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ

Завдання прийняв до виконання



(підпис)

Ілля БУРЛАКОВ

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 94 сторінок

Найменування роботи: «Дослідження навантаження в елементах конструкцій одноковшевого екскаватора».

Ілюстрації: схем _____; рисунків _____;
графіків _____; фотографій _____;
таблиць _____.

Ключові слова: ЕКСКАВАТОР, РОБОЧЕ ОБЛАДНАННЯ, РОБОЧИЙ ОРГАН, СТІЛА, РУКОЯТЬ, КОВШ, СХЕМА, ПАРАМЕТРИ, РОЗРАХУНОК, СИЛА, ПОРІВНЯННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

Текст реферату: мета роботи – співставний аналіз металоконструкції робочого обладнання з точки зору рівномірності розподілу в них напружень близьких до максимальних.

Реалізація цієї мети можлива завдяки раціональному проектуванню металоконструкції для забезпечення раціонального використання енергії, та з метою її максимального спрямування на продуктивність машини.

Виконане співставлення параметрів металоконструкцій робочого обладнання екскаватора з метою визначення в їх елементах напружених зон. Це необхідно для перерозподілу мас в металоконструкції робочого обладнання з можливим місцевим їх видаленням або додаванням для створення таких металоконструкцій робочого обладнання, які рівномірно максимально завантажені по всьому своєму об'єму, щоб конструкція була рівномірною (мала максимальний коефіцієнт корисної дії).

Результати даної роботи можуть бути використані для створення нових схем робочого обладнання модульного типу або вузько спеціалізованого робочого обладнання, у якого показники матеріалоемності будуть найвищими.

ЗМІСТ

ВСТУП	- 7
1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	- 8
1.1. Вибір об'єкту досліджень	- 8
1.2. Визначення розрахункового положення робочого обладнання	- 9
1.3. Методика визначення реакцій в шарнірах робочого обладнання	- 11
1.3.1. Визначення дотичних зусиль на ріжучому краю ковша	- 11
1.3.2. Визначення реактивних зусиль у нерухомих гідроциліндрах	- 16
1.4. Представлення результатів доліджень	- 32
1.5. Висновки за розділом	- 52
2. ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ	- 53
2.1. Визначення навантажень металоконструкції стріли	- 53
2.2. Розрахунок на міцність елементів робочого обладнання	- 54
2.2.1. Розрахунок металоконструкції стріли	- 54
2.2.2. Розрахунок металоконструкції рукояті	- 58
2.2.3. Розрахунок металоконструкції ковша	- 61
2.2.4. Розрахунок на міцність пальців шарнірів кріплення стріли, рукояті та ковша	- 63
2.2.5. Розрахунок на міцність провудин стріли, рукояті та ковша	- 65
2.2.6. Розрахунок зварних з'єднань	- 67
2.3. Розрахунок стійкості екскаватора	- 70
2.3.1. Перше розрахункове положення	- 70
2.3.2. Друге розрахункове положення	- 72
2.3.3. Третє розрахункове положення	- 74
2.4. Висновки за розділом	- 76

					ДІПТ.630000.302.МРПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бурлаков			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Главацький				5	94	
Реценз.					УДУНТ, гр. ПМ2326			
Н. Контр.		Посмітюха						
Затверд.		Ракша						

Дослідження навантаження
в елементах конструкцій
одноковшевого екскаватора

3. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ У МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ	
РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ	- 78
3.1. Постановка задачі	- 78
3.2. Результати досліджень напружено-деформованого стану	- 80
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	- 91
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	- 93

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Раціональне використання енергії є однією з найбільш актуальних проблем сучасності. Одним із шляхів розв'язання даної проблеми – створити таке робоче обладнання, яке при роботі буде мати максимальний ККД, і маса якого буде максимально корисно розподілена по всьому його об'єму. Отже, площа поперечного перерізу металоконструкції у будь-якій її точці повинна бути співставною до величини прикладеного навантаження. Тобто, профіль поперечного перерізу металоконструкції буде перемінним.

Актуальність роботи в тому, що врахувавши технічні рішення, які містяться в ній, досягається економія витрат паливно-мастильних матеріалів, що споживаються машиною (екскаватором).

Таким чином, мета роботи – співставний аналіз металоконструкції робочого обладнання з точки зору рівномірності розподілу в них напружень близьких до максимальних. Реалізація цієї мети можлива завдяки раціональному проектуванню металоконструкції і досягається шляхом вирішення наступних задач.

В першу чергу, треба визначити реакції в шарнірах робочого обладнання. Перший етап – розрахунок геометричних розмірів та складання схеми робочого обладнання екскаватора. Робоче обладнання зібране за схемою “зворотня лопата”. Основні робочі механізми – стрілопідйомний, повороту рукояті та ковша.

Методика розрахунку реакцій в шарнірах робочого обладнання полягає у визначенні зусиль у гідроциліндрах. При цьому вибираємо декілька найбільш характерних положень, і за знайденими чисельними значеннями одних реакцій, значення інших визначаю графічним методом. Для наглядного представлення результатів будуємо графіки залежності значень реакцій від положень стріли, рукояті, ковша.

Отримані результати розрахунків у вигляді схем і рисунків із вказанням зон розподілу навантажень та переміщень. Рекомендації щодо зміни конструкцій робочих органів передбачають перерозподіл матеріалу (шляхом видалення його із зон мінімальних навантажень і додаванням у зони, де навантаження максимальні).

Отже, результати даної роботи можуть бути використані для створення нових схем робочого обладнання модульного типу або вузькоспеціалізованого робочого обладнання, у якого показники матеріалоемності будуть найвищими.

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1. Вибір об'єкту досліджень

У даній магістерській роботі об'єктом досліджень вибраний одноковшевий універсальний мініекскаватор (рис. 1.1), оскільки на сьогоднішній день він є досить актуальною землерийною машиною для виконання земляних робіт в умовах ведення бойових дій.

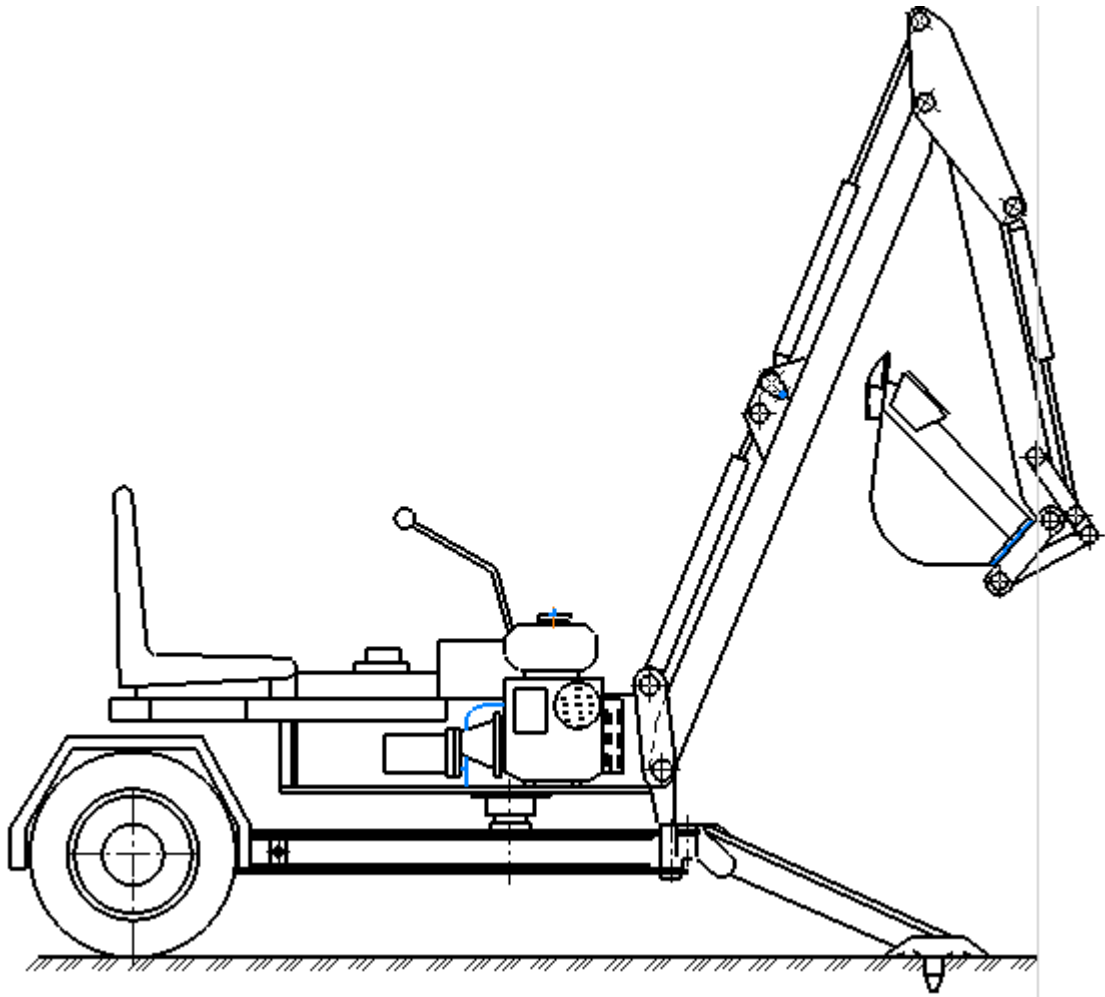


Рис. 1.1. Мініекскаватор одноковшевий універсальний

Ця землерийна машина виконана причепного типу для зручності його транспортування до місця виконання робіт наявними транспортними засобами. Особливістю його конструктивного виконання є відносна простота конструкції та можливість його швидкого налаштування на заданий технологічний режим роботи чи транспортування, зручність і простота керування, мала маса.

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.2. Визначення розрахункового положення робочого обладнання

Для розрахунку максимальних навантажень на робоче обладнання мініекскаватора визначимо відносно розміщення його робочого обладнання типу зворотна лопата:

1) стріла з гідромеханізмом її повороту відносно рами машини на кут у межах до 90^0 максимально опущена в нижнє крайнє положення;

2) рукоять з гідромеханізмом її повороту відносно стріли на кут у межах $110...130^0$, має початкове вертикальне положення відносно стріли і забезпечує копання ґрунту шарнірно приєднаним до неї гідрокерованим ковшем у напрямку до машини і нижче рівня тоянки;

3) ковш з гідромеханізмом його повороту відносно рукояті на кут у межах $150...165^0$ повертається від початкового положення, яке відповідає співпаданню його радіуса з віссю рукояті, у напрямку до крайнього положення на розрахунковий кут (рис. 1.2).

Основна задача, яка ставиться на даному етапі досліджень – визначити відносне положення стріли, рукояті і ковша, коли дотична складова сили опору копанню набуде максимального значення. У цьому положенні потрібно визначити максимальні сили і реакції в з'єднувальних шарнірах робочого обладнання, для чого доцільно скористатися графічним методом побудови силових багатокутників, оскільки він дещо спрощує пошук результату.

На підставі отриманої інформації можна розрахувати металоконструкції стріли, рукояті, ковша та дослідити їх з точки зору напружено-деформованого стану з використанням методу кінцевих елементів на предмет раціонального застосування конструкційних матеріалів і визначення концентрації напружень та їх усунення.

При конструюванні робочого обладнання слід вибирати стандартний сортамент для його основних деталей з метою підвищення технологічності його виготовлення, виконання монтажно-демонтажних робіт, уніфікації та підвищення ремонтпридатності.

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

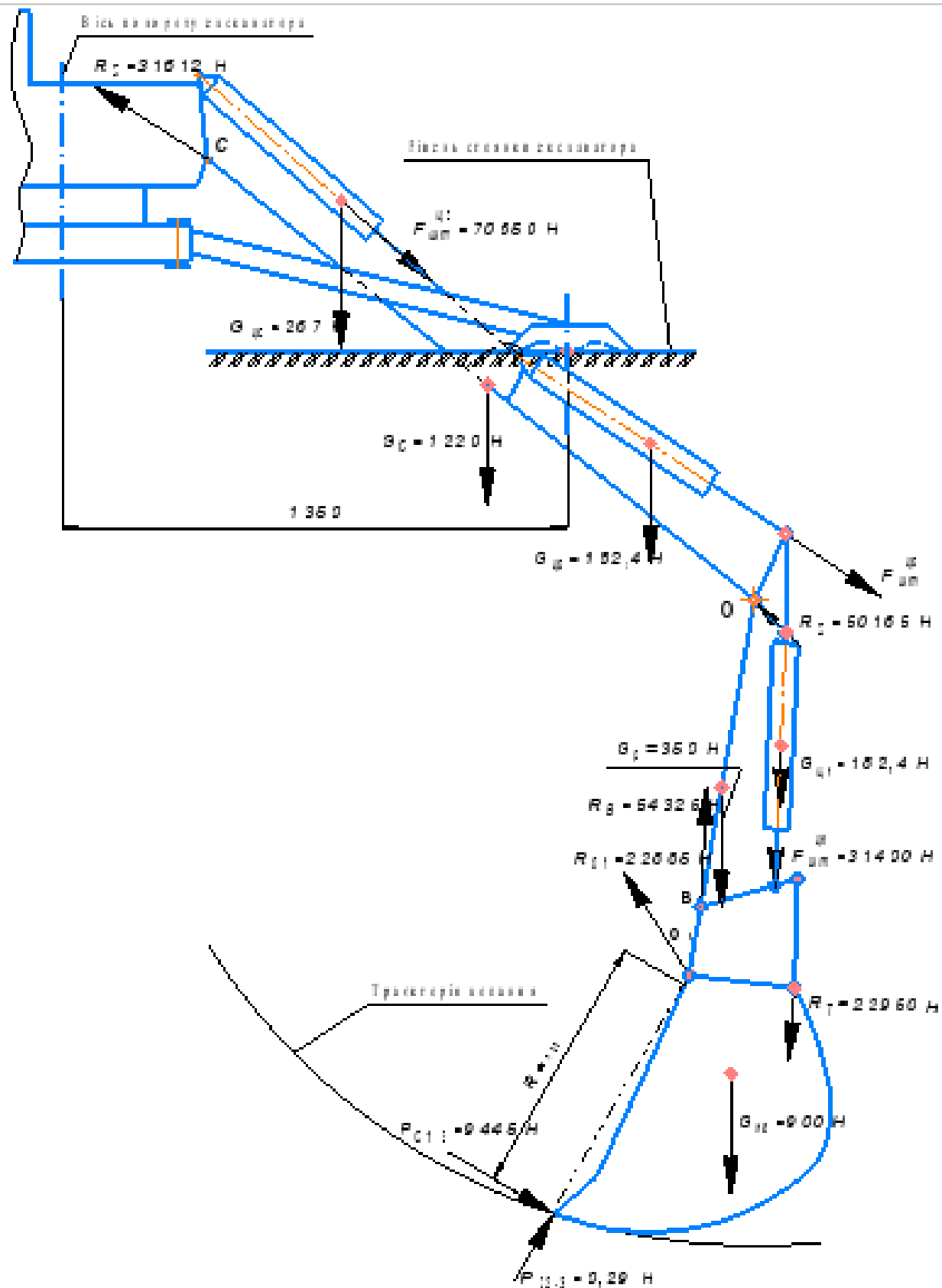


Рис. 1.2. Схема до визначення розрахункового положення робочого обладнання з максимальним навантаженням на його елементи

1.3. Методика визначення реакцій в шарнірах робочого обладнання

1.3.1. Визначення дотичних зусиль на ріжучому краю ковша

Для виконання розрахунку дотичних зусиль при копанні поворотом рукояті або поворотом ковша необхідно у ролі вихідних даних мати:

- штовхаючі $F_{шт}$ і тягнучі $F_{тяг}$ зусилля в гідроциліндрах;
- маси елементів конструкції;
- плечі дії сил;
- положення робочого обладнання і робочого органа.

При розрахунку приймаємо, що гідроциліндр стріли (рукояті, ковша) розвиває постійне активне зусилля $F_{ц}$ при номінальному тиску в гідроприводі:

$$F_{ц.р(к)} = p_H \cdot \frac{\pi \cdot D_{(2,3)}^2}{4} = 25 \cdot \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} = 31400 \text{ Н.} \quad (1.1)$$

Зусилля в гідроциліндрі стріли:

$$F_{ц.р(к)} = p_H \cdot \frac{\pi \cdot D_{(1)}^2}{4} = 25 \cdot \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} = 70650 \text{ Н.}$$

Дотичні зусилля на ріжучом краю ковша знаходимо із суми моментів відносно осі повороту рукояті (точка О) при крайньому нижньому положенні стріли. Рукоять знаходиться в кількох положеннях, перше з яких вертикальне.

В крайньому положенні радіус ковша R відхилений від осі рукояті на 16° , а вісь рукояті відхилена від вертикалі на 28° . Необхідно сумістити радіус ковша R із віссю рукояті і повернути рукоять до вертикального положення на кут 28° по ходу годинникової стрілки.

Сума моментів відносно точки О дорівнює:

$$\sum M_0 = 0. \quad (1.2)$$

Після підстановки плеч і зусиль в буквенному вигляді (рис. 1.3), отримуємо:

$$\sum M_0 = F_{шт}^i \cdot l_{F_{шт}^i} + G_{цк}^i \cdot l_{G_{цк}^i} \pm G_P^i \cdot l_{G_P^i} \pm 0,5G_{цр}^i \cdot l_{0,5G_{цр}^i} \pm G_{к(r)}^i \cdot l_{G_{к(r)}^i} - P_{01}^i \cdot l_{P_{01}^i} = 0,$$

де $F_{шт}^i$ - штовхаюче зусилля гідроциліндра рукояті в i -му положенні, Н; $l_{F_{шт}^i}$ - довжина плеча зусилля штовхаючого зусилля гідроциліндра в i -му положенні, м;

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

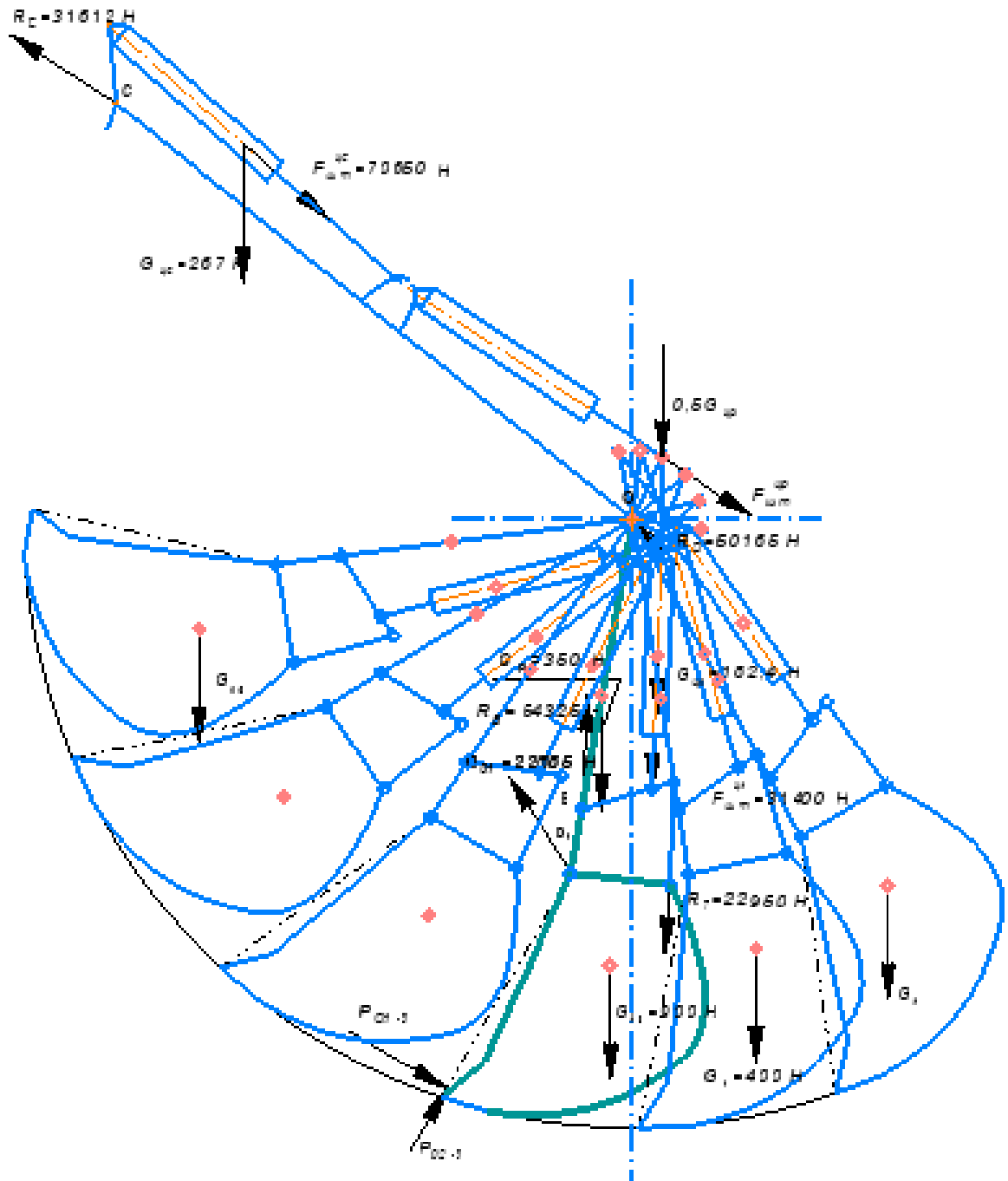


Рис. 1.3. Схема до розрахунку опору копанню поворотом рукояті

$G_{цк}^i$ - вага гідроциліндра ковша; $l_{G_{цк}^i}$ - довжина плеча зусилля ваги циліндра ковша в i -му положенні, м; G_p^i - вага рукояті; $l_{G_p^i}$ - довжина плеча зусилля ваги рукояті в i -му положенні, м; $0,5G_{цр}^i$ - половина ваги циліндра рукояті; $l_{0,5G_{цр}^i}$ - довжина плеча зусилля ваги циліндра рукояті в i -му положенні, м; $G_{к(Г)}^i$ - вага ковша з ґрунтом (в

										Арк.
										12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПТ.630000.302.МРПЗ					

1-му положенні ковш без ґрунту); P_{01}^i - дотичне зусилля на ріжучому краю ковша в i -му положенні, H ; $l_{P_{01}^i}$ - довжина плеча дотичного зусилля P_{01}^i :

$$l_{P_{01}^i} = R + l_P = 1,725 \text{ м};$$

$$G_{ЦК}^1 = G_{ЦК}^2 = G_{ЦК}^3 = G_{ЦК}^4 = G_{ЦК}^5 = G_{ЦК}^6 = G_{ЦК}^7 = G_{ЦК}^8 = G_{ЦК}^9 = 182,4 \text{ Н};$$

$$G_P^1 = G_P^2 = G_P^3 = G_P^4 = G_P^5 = G_P^6 = G_P^7 = G_P^8 = G_P^9 = 350 \text{ Н};$$

$$0,5G_{ЦП}^1 = 0,5G_{ЦП}^2 = 0,5G_{ЦП}^3 = 0,5G_{ЦП}^4 = 0,5G_{ЦП}^5 = 0,5G_{ЦП}^6 = 0,5G_{ЦП}^7 = 0,5G_{ЦП}^8 = 0,5G_{ЦП}^9 = 91,2 \text{ Н};$$

$$G_K^1 = 400 \text{ Н}, G_K^2 = G_K^3 = G_K^4 = G_K^5 = G_K^6 = G_K^7 = G_K^8 = G_K^9 = 900 \text{ Н};$$

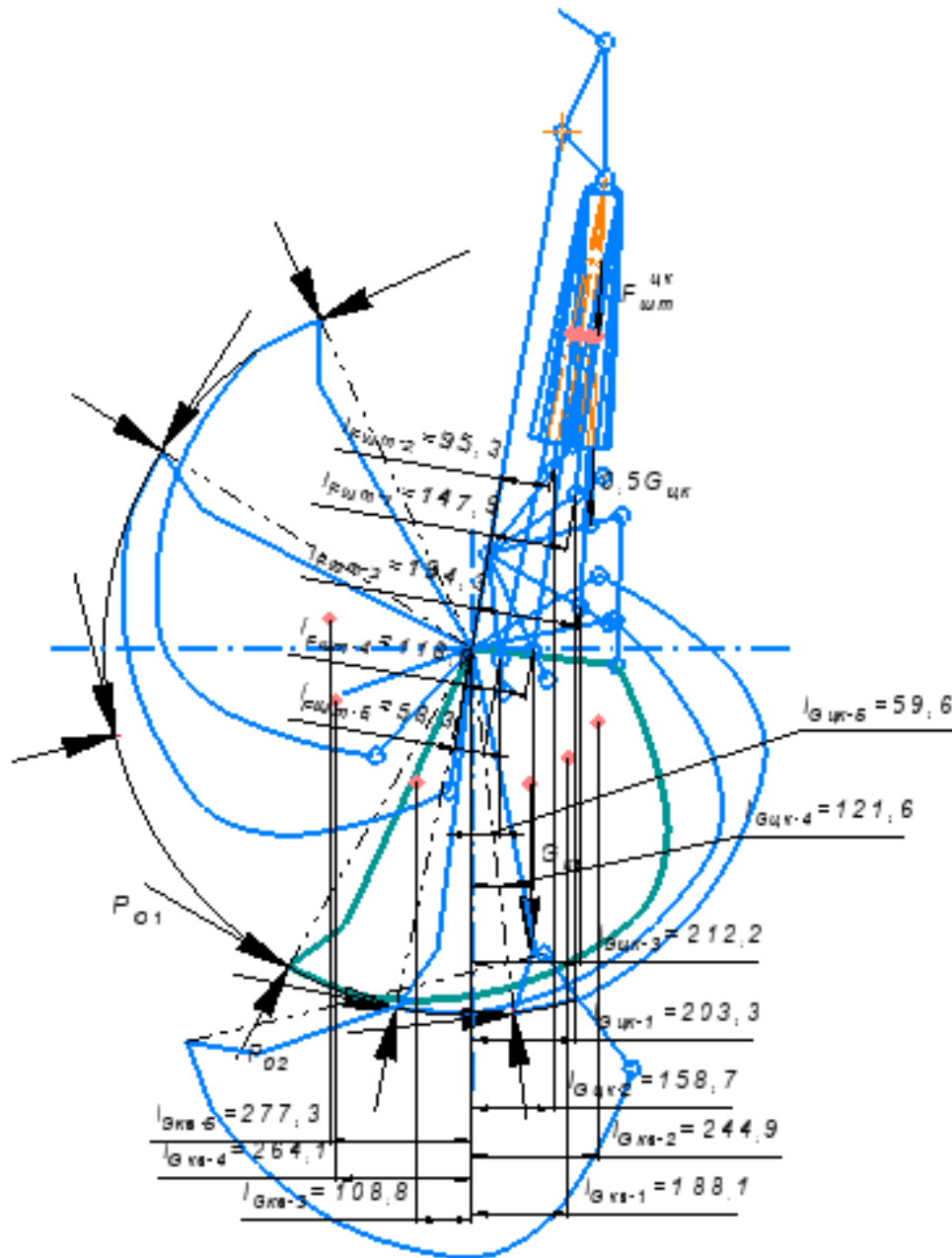


Рис. 1.4. Схема до розрахунку опору копанню ґрунту поворотом ковша

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$31400 \cdot 0,0961 + 182,4 \cdot 0,2037 + 350 \cdot 0,0815 + 400 \cdot 0,3502 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0243 -$$

2) $-P_{01-2} \cdot 1,725 = 0;$
 $P_{01-2} \approx 1870 \text{ Н.}$

$$31400 \cdot 0,1917 - 182,4 \cdot 0,1115 - 350 \cdot 0,2895 - 400 \cdot 0,5767 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1508 -$$

3) $-P_{01-3} \cdot 1,725 = 0;$
 $P_{01-3} \approx 3295 \text{ Н.}$

$$31400 \cdot 0,1592 - 182,4 \cdot 0,2 - 350 \cdot 0,4396 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1893 - 400 \cdot 0,9879 -$$

4) $-P_{01-4} \cdot 1,725 = 0;$
 $P_{01-4} \approx 2560 \text{ Н.}$

$$31400 \cdot 0,0985 - 182,4 \cdot 0,3854 - 350 \cdot 0,5116 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1945 - 400 \cdot 1,2259 -$$

5) $-P_{01-5} \cdot 1,725 = 0;$
 $P_{01-5} \approx 1375 \text{ Н.}$

Із суми моментів відносно точки O_1 визначаємо дотичні зусилля P_{01}^i при копанні поворотом ковша. Отримуємо:

$$\sum M_{01} = 0. \quad (1.3)$$

Після підстановки пліч і зусиль отримуємо:

$$\sum M_{01} = F_{шт}^i \cdot l_{F_{шт}^i} + 0,5G_{цк}^i \cdot l_{0,5G_{цк}^i} \pm G_{кг}^i \cdot l_{G_{кг}^i} - P_{01}^i \cdot l_{P_{01}^i} = 0,$$

де $F_{шт}^i$ - штовхальна сила гідроциліндра ковша в i -му положенні, H ; $l_{F_{шт}^i}$ - довжина плеча сили штовхального зусилля гідроциліндра в i -му положенні, m ; $0,5G_{цк}^i$ - половина ваги циліндра ковша; $l_{P_{01}^i}$ - довжина плеча дотичного зусилля P_{01}^i ;

$$l_{P_{01}^i} = R = 0,700 \text{ м};$$

$$0,5G_{цр}^1 = 0,5G_{цр}^2 = 0,5G_{цр}^3 = 0,5G_{цр}^4 = 0,5G_{цр}^5 = 0,5G_{цр}^6 = 0,5G_{цр}^7 = 0,5G_{цр}^8 = 0,5G_{цр}^9 =$$

$$= 0,5G_{цр}^{10} = 0,5G_{цр}^{11} = 91,2 \text{ Н.}$$

Із рівняння (1.3):

1) $31400 \cdot 0,1479 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,2033 + 900 \cdot 0,1881 - P_{01-1} \cdot 0,7 = 0;$
 $P_{01-1} \approx 6900 \text{ Н.}$

2) $31400 \cdot 0,0953 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1587 + 900 \cdot 0,2449 - P_{01-2} \cdot 0,7 = 0;$
 $P_{01-2} \approx 4610 \text{ Н.}$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- 3) $31400 \cdot 0,1943 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,2122 - 900 \cdot 0,1088 - P_{01-3} \cdot 0,7 = 0;$
 $P_{01-3} \approx 8600 \text{ Н.}$
- 4) $31400 \cdot 0,1186 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1216 - 900 \cdot 0,2641 - P_{01-4} \cdot 0,7 = 0;$
 $P_{01-4} \approx 4995 \text{ Н.}$
- 5) $31400 \cdot 0,0583 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0596 - 900 \cdot 0,2773 - P_{01-5} \cdot 0,7 = 0;$
 $P_{01-5} \approx 2265 \text{ Н.}$

Максимальне навантаження на робоче обладнання при копанні поворотом ковша визначене у 3-му положенні. За отриманими даними будемо графік залежності (рис. 1.7).

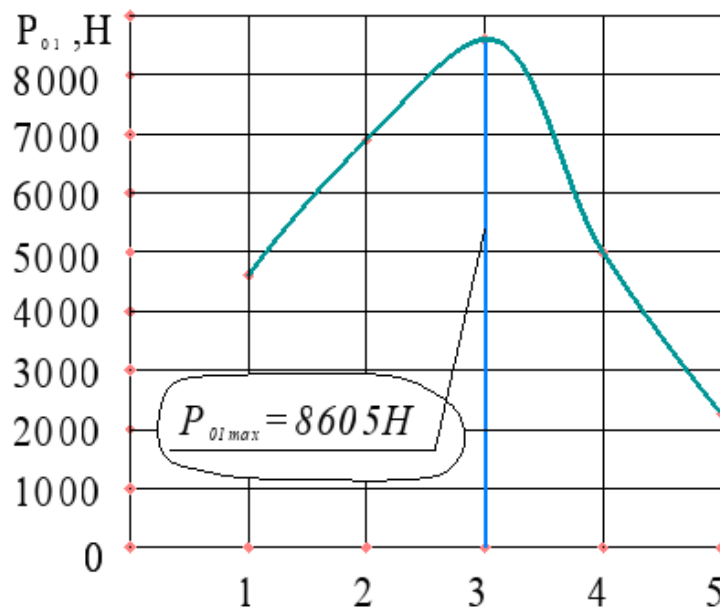


Рис. 1.7. Графік залежності сили P_{01} від положення ковша

1.3.2. Визначення реактивних зусиль у нерухомих гідроциліндрах

За сумою моментів відносно точки O_1 знаходимо зусилля вздовж тяги:

$$\sum M_{01} = 0. \quad (1.4)$$

Після підстановки пліч і зусиль в буквенному вигляді отримуємо:

$$\sum M_{01} = G_{KG} \cdot l_{GKG} + P_{01} \cdot R - R_T \cdot l_{R_T} = 0;$$

Виразивши реакцію в тязі R_T , отримуємо її значення в п'яти положеннях робочого обладнання:

$$1) R_T = \frac{6900 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1881}{0,285} \approx 16430 \text{ Н;}$$

$$2) R_T = \frac{4610 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2449}{0,285} \approx 10600 \text{ H};$$

$$3) R_T = \frac{8605 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1088}{0,285} \approx 21480 \text{ H};$$

$$4) R_T = \frac{4995 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2641}{0,285} \approx 13105 \text{ H};$$

$$5) R_T = \frac{2265 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2773}{0,285} \approx 6440 \text{ H}.$$

Реакції R_{O1} , R_B , R_O , R_C в шарнірах робочого обладнання по величині та напрямку визначаємо графічним методом (рис. 1.8 – 1.11).

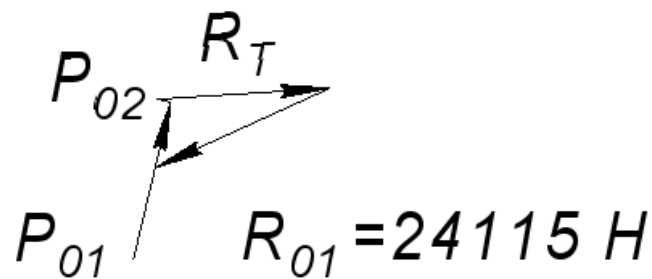


Рис. 1.8. Схема до визначення реакції R_T

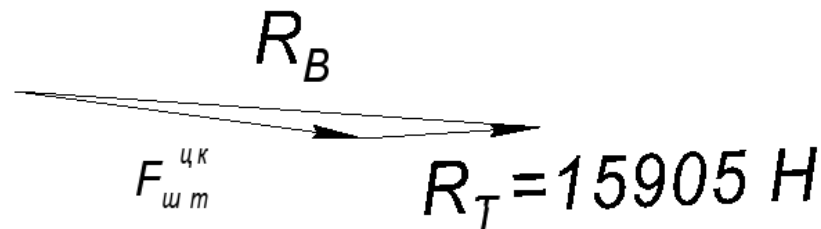


Рис. 1.9. Схема до визначення реакції R_B

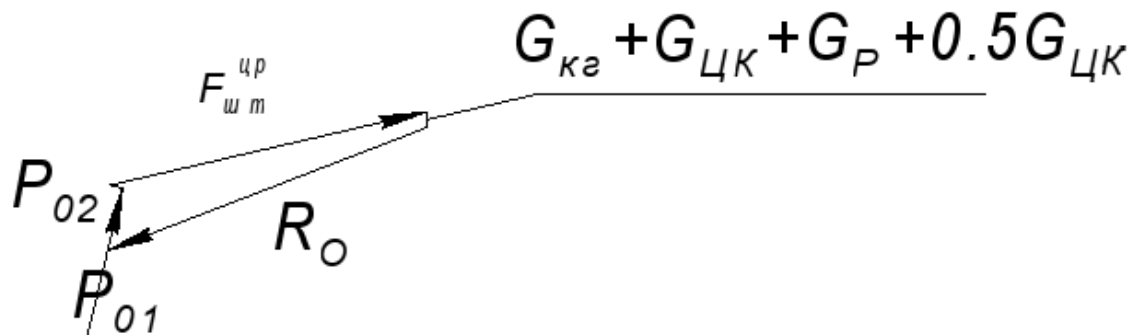


Рис. 1.10. Схема до визначення реакції R_O

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

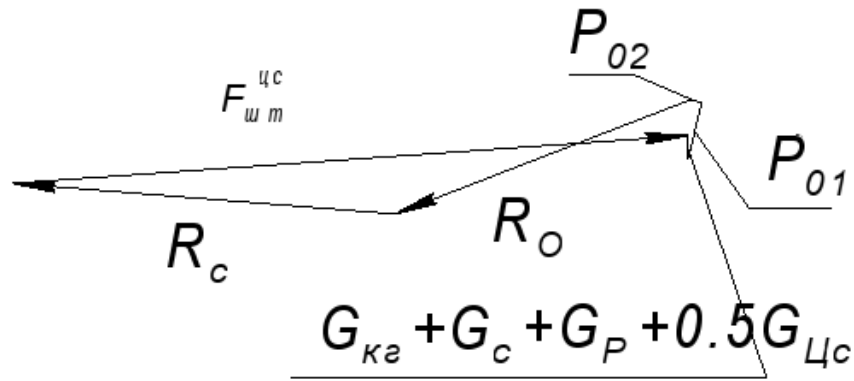


Рис. 1.11. Схема до визначення реакції R_c

Із суми моментів відносно точки С визначаємо дотичні зусилля P_{01}^i в положенні маніпуляції. Отримуємо:

$$\sum M_c = 0;$$

$$\begin{aligned} \sum M_c = & F_{шт}^i \cdot l_{F_{шт}^i} + G_c^i \cdot l_{G_c^i} + G_p^i \cdot l_{G_p^i} + G_{кг}^i \cdot l_{G_{кг}^i} + G_{цк}^i \cdot l_{0.5G_{цк}^i} + 0,5 \cdot G_{цс}^i \cdot l_{G_{цс}^i} + \\ & + 0,5 \cdot G_{цр}^i \cdot l_{G_{цр}^i} + 0,5 \cdot G_{цк}^i \cdot l_{G_{цк}^i} - P_{01}^i \cdot l_{P_{01}^i} = 0. \end{aligned}$$

Після підстановки пліч і зусиль в буквенному вигляді, отримуємо:

$$\begin{aligned} & 70650 \cdot 0,23 + 1220 \cdot 0,9174 + 350 \cdot 2,3321 + 900 \cdot 3,0443 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,913 + \\ 0) & + 182,4 \cdot 1,3011 + 182,4 \cdot 2,2247 - P_{01-0} \cdot 3,5 = 0; \\ & P_{01-0} \approx 6200 \text{ Н}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 70650 \cdot 0,105 + 1220 \cdot 0,3493 + 350 \cdot 1,0558 + 900 \cdot 1,3021 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,2505 + \\ 1) & + 182,4 \cdot 0,3875 + 182,4 \cdot 0,8522 - P_{01-1} \cdot 3,5 = 0; \\ & P_{01-1} \approx 2755 \text{ Н}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 70650 \cdot 0,1623 + 1220 \cdot 0,5531 + 350 \cdot 1,5413 + 900 \cdot 1,9313 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,4702 + \\ 2) & + 182,4 \cdot 0,6967 + 182,4 \cdot 1,3653 - P_{01-2} \cdot 3,5 = 0; \\ & P_{01-2} \approx 4245 \text{ Н}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 70650 \cdot 0,2023 + 1220 \cdot 0,722 + 350 \cdot 1,9308 + 900 \cdot 2,4412 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,6612 + \\ 3) & + 182,4 \cdot 0,9627 + 182,4 \cdot 1,7684 - P_{01-3} \cdot 3,5 = 0; \\ & P_{01-3} \approx 5324 \text{ Н}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 70650 \cdot 0,2244 + 1220 \cdot 0,8479 + 350 \cdot 2,2015 + 900 \cdot 2,8004 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,8111 + \\ 4) & + 182,4 \cdot 1,1693 + 182,4 \cdot 2,0616 - P_{01-4} \cdot 3,5 = 0; \\ & P_{01-4} \approx 5965 \text{ Н}. \end{aligned}$$

$$5) \quad 70650 \cdot 0,2235 + 1220 \cdot 0,9348 + 350 \cdot 2,3321 + 900 \cdot 3,0438 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,9545 + \\ + 182,4 \cdot 1,3531 + 182,4 \cdot 2,2575 - P_{01-5} \cdot 3,5 = 0;$$

$$P_{01-5} \approx 6078 \text{ Н.}$$

$$6) \quad 70650 \cdot 0,2082 + 1220 \cdot 0,9082 + 350 \cdot 2,2216 + 900 \cdot 2,8996 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,951 + \\ + 182,4 \cdot 1,3432 + 182,4 \cdot 2,1838 - P_{01-6} \cdot 3,5 = 0;$$

$$P_{01-6} \approx 5707 \text{ Н.}$$

$$7) \quad 70650 \cdot 0,1856 + 1220 \cdot 0,8387 + 350 \cdot 2,0061 + 900 \cdot 2,6185 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,9026 + \\ + 182,4 \cdot 1,2683 + 182,4 \cdot 2,0069 - P_{01-7} \cdot 3,5 = 0;$$

$$P_{01-7} \approx 5118 \text{ Н.}$$

$$8) \quad 70650 \cdot 0,1563 + 1220 \cdot 0,7301 + 350 \cdot 1,6947 + 900 \cdot 2,2102 + 0,5 \cdot 267 \cdot 0,8052 + \\ + 182,4 \cdot 1,1283 + 182,4 \cdot 1,7341 - P_{01-8} \cdot 3,5 = 0;$$

$$P_{01-8} \approx 4327 \text{ Н.}$$

За сумою моментів відносно точки O_1 знаходимо зусилля вздовж тяги:

$$\sum M_{O_1} = 0. \quad (1.5)$$

Після підстановки пліч і зусиль в буквенному вигляді отримуємо:

$$\sum M_{O_1} = G_{KT} \cdot l_{G_{KT}} + P_{01} \cdot R - R_T \cdot l_{R_T} = 0;$$

Виразивши реакцію в тязі R_T , отримуємо її значення в п'яти положеннях робочого обладнання:

$$1) \quad R_T = \frac{2755 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1164}{0,285} \approx 7134 \text{ Н;}$$

$$2) \quad R_T = \frac{4245 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,049}{0,285} \approx 10580 \text{ Н;}$$

$$3) \quad R_T = \frac{5324 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0214}{0,285} \approx 13144 \text{ Н;}$$

$$4) \quad R_T = \frac{5965 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0906}{0,285} \approx 14937 \text{ Н;}$$

$$0) \quad R_T = \frac{6200 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2145}{0,285} \approx 15905 \text{ Н;}$$

$$5) \quad R_T = \frac{6078 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2495}{0,285} \approx 15715 \text{ Н;}$$

$$6) \quad R_T = \frac{5707 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2729}{0,285} \approx 14880 \text{ Н;}$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$7) \quad R_T = \frac{5118 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2833}{0,285} \approx 13465 \text{ Н};$$

$$8) \quad R_T = \frac{4327 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2803}{0,285} \approx 11515 \text{ Н}.$$

За сумою моментів відносно точки О знаходимо дотичні зусилля P_{01}^{i-y-k} для різних положень робочого обладнання. Відповідні індекси означають: i - положення стріли, y - положення рукояті, k - положення ковша.

$$\sum M_0 = -F_{шт}^{шт} \cdot l_{шт} + G_{цк}^i \cdot l_{G_{цк}^i} \pm G_P^i \cdot l_{G_P^i} \pm 0,5G_{цр}^i \cdot l_{0,5G_{цр}^i} \pm G_{к(r)}^i \cdot l_{G_{к(r)}^i} - P_{01}^{i-y-k} \cdot l_{P_{01}^{i-y-k}} = 0, \quad (1.6)$$

Виразивши із рівняння P_{01}^{i-y-k} , отримуємо:

- для положення 5:

$$P_{01}^{5-0-0} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1396 + 350 \cdot 0,4604 + 182,4 \cdot 0,3859 + 900 \cdot 1,1722}{1,6775} = 3,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-0-1} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1396 + 350 \cdot 0,4604 + 182,4 \cdot 0,4581 + 900 \cdot 1,1802}{1,5102} = 3,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-0-2} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1396 + 350 \cdot 0,4604 + 182,4 \cdot 0,5163 + 900 \cdot 0,9806}{0,6917} = 8,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-0-3} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1396 + 350 \cdot 0,4604 + 182,4 \cdot 0,5321 + 900 \cdot 0,7344}{0,1193} = 45 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-1-0} = \frac{31400 \cdot 0,1678 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0259 + 350 \cdot 0,240 + 182,4 \cdot 0,2775 + 900 \cdot 0,7599}{1,6775} = 3,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-1-1} = \frac{31400 \cdot 0,1678 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0259 + 350 \cdot 0,240 + 182,4 \cdot 0,3382 + 900 \cdot 0,6765}{1,5102} = 4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-1-2} = \frac{31400 \cdot 0,1678 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0259 + 350 \cdot 0,240 + 182,4 \cdot 0,3587 + 900 \cdot 0,4336}{0,6917} = 8,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-1-3} = \frac{31400 \cdot 0,1678 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0259 + 350 \cdot 0,240 + 182,4 \cdot 0,3287 + 900 \cdot 0,2269}{0,1193} = 47,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-2-0} = \frac{31400 \cdot 0,1553 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0977 - 350 \cdot 0,0755 + 182,4 \cdot 0,0586 + 900 \cdot 0,0936}{1,6775} = 3 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-2-1} = \frac{31400 \cdot 0,1553 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0977 - 350 \cdot 0,0755 + 182,4 \cdot 0,0839 - 900 \cdot 0,0936}{1,5102} = 3,2 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{5-2-2} = \frac{31400 \cdot 0,1553 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0977 - 350 \cdot 0,0755 + 182,4 \cdot 0,0586 - 900 \cdot 0,3579}{0,6917} = 6,6 \text{ кН};$$

					ДШТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$P_{01}^{8-2-3} = \frac{31400 \cdot 0,1904 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1696 - 350 \cdot 0,3636 - 182,4 \cdot 0,3394 - 900 \cdot 0,9259}{0,1193} = 41,7 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{8-3-0} = \frac{31400 \cdot 0,1304 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,2051 - 350 \cdot 0,5023 - 182,4 \cdot 0,3543 - 900 \cdot 1,0739}{1,6775} = 1,7 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{8-3-1} = \frac{31400 \cdot 0,1304 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,2051 - 350 \cdot 0,5023 - 182,4 \cdot 0,4125 - 900 \cdot 1,2693}{1,5102} = 1,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{8-3-2} = \frac{31400 \cdot 0,1304 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,2051 - 350 \cdot 0,5023 - 182,4 \cdot 0,4846 - 900 \cdot 1,255}{0,6917} = 3,9 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{8-3-3} = \frac{31400 \cdot 0,1304 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,2051 - 350 \cdot 0,5023 - 182,4 \cdot 0,5354 - 900 \cdot 0,9715}{0,1193} = -24,8 \text{ кН};$$

- для положения 1:

$$P_{01}^{1-0-0} = \frac{31400 \cdot 0,1427 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1806 + 350 \cdot 0,359 - 182,4 \cdot 0,1812 + 900 \cdot 0,6048}{1,6775} = 3,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-0-1} = \frac{31400 \cdot 0,1427 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1806 + 350 \cdot 0,359 + 182,4 \cdot 0,2012 + 900 \cdot 0,8593}{1,5102} = 3,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-0-2} = \frac{31400 \cdot 0,1427 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1806 + 350 \cdot 0,359 + 182,4 \cdot 0,2618 + 900 \cdot 1,0026}{0,6917} = 8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-0-3} = \frac{31400 \cdot 0,1427 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1806 + 350 \cdot 0,359 + 182,4 \cdot 0,3334 + 900 \cdot 0,9192}{0,1193} = 45,9 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-1-0} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,5019 + 182,4 \cdot 0,3514 + 900 \cdot 1,0682}{1,6775} = 4,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-1-1} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,5019 + 182,4 \cdot 0,4091 + 900 \cdot 1,2655}{1,5102} = 5 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-1-2} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,5019 + 182,4 \cdot 0,4813 + 900 \cdot 1,254}{0,6917} = 11 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-1-3} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,5019 + 182,4 \cdot 0,5327 + 900 \cdot 1,043}{0,1193} = 62,2 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-2-0} = \frac{31400 \cdot 0,1696 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1291 + 350 \cdot 0,445 + 182,4 \cdot 0,3814 + 900 \cdot 1,1062}{1,6775} = 3,9 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-2-1} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,445 + 182,4 \cdot 0,4537 + 900 \cdot 1,1671}{1,5102} = 4,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-2-2} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,445 + 182,4 \cdot 0,5088 + 900 \cdot 1,0054}{0,6917} = 9,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-2-3} = \frac{31400 \cdot 0,1985 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1939 + 350 \cdot 0,445 + 182,4 \cdot 0,5194 + 900 \cdot 0,751}{0,1193} = 52,3 \text{ кН};$$

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$P_{01}^{1-3-0} = \frac{31400 \cdot 0,1061 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0351 + 350 \cdot 0,2118 + 182,4 \cdot 0,2582 + 900 \cdot 0,676}{1,6775} = 2,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-3-1} = \frac{31400 \cdot 0,1061 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0351 + 350 \cdot 0,2118 + 182,4 \cdot 0,3163 + 900 \cdot 0,5343}{1,5102} = 2,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-3-2} = \frac{31400 \cdot 0,1061 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0351 + 350 \cdot 0,2118 + 182,4 \cdot 0,3321 + 900 \cdot 0,2982}{0,6917} = 5,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{1-3-3} = \frac{31400 \cdot 0,1061 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0351 + 350 \cdot 0,2118 + 182,4 \cdot 0,3003 + 900 \cdot 0,1583}{0,1193} = -30,2 \text{ кН};$$

- для положения б:

$$P_{01}^{6-0-0} = \frac{31400 \cdot 0,1423 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1054 + 350 \cdot 0,4037 + 182,4 \cdot 0,3656 + 900 \cdot 1,0815}{1,6775} = 3,3 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-0-1} = \frac{31400 \cdot 0,1423 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1054 + 350 \cdot 0,4037 + 182,4 \cdot 0,4374 + 900 \cdot 1,0336}{1,5102} = 3,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-0-2} = \frac{31400 \cdot 0,1423 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1054 + 350 \cdot 0,4037 + 182,4 \cdot 0,4845 + 900 \cdot 0,8045}{0,6917} = 7,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-0-3} = \frac{31400 \cdot 0,1423 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1054 + 350 \cdot 0,4037 + 182,4 \cdot 0,4841 + 900 \cdot 0,5784}{0,1193} = 42,5 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-1-0} = \frac{31400 \cdot 0,17 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0178 + 350 \cdot 0,1375 + 182,4 \cdot 0,2118 + 900 \cdot 0,5552}{1,6775} = 3,5 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-1-1} = \frac{31400 \cdot 0,17 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0178 + 350 \cdot 0,1375 + 182,4 \cdot 0,2627 + 900 \cdot 0,4215}{1,5102} = 3,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-1-2} = \frac{31400 \cdot 0,17 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0178 + 350 \cdot 0,1375 + 182,4 \cdot 0,2676 + 900 \cdot 0,1677}{0,6917} = 8,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-1-3} = \frac{31400 \cdot 0,17 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0178 + 350 \cdot 0,1375 + 182,4 \cdot 0,2239 + 900 \cdot 0,0017}{0,1193} = 45,5 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-2-0} = \frac{31400 \cdot 0,1583 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1331 - 350 \cdot 0,1825 - 182,4 \cdot 0,0262 - 900 \cdot 0,157}{1,6775} = 2,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-2-1} = \frac{31400 \cdot 0,1583 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1331 - 350 \cdot 0,1825 - 182,4 \cdot 0,0162 - 900 \cdot 0,3939}{1,5102} = 3 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-2-2} = \frac{31400 \cdot 0,1583 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1331 - 350 \cdot 0,1825 - 182,4 \cdot 0,0556 - 900 \cdot 0,6105}{0,6917} = 6,3 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-2-3} = \frac{31400 \cdot 0,1583 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1331 - 350 \cdot 0,1825 - 182,4 \cdot 0,1251 - 900 \cdot 0,6321}{0,1193} = 3,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-3-0} = \frac{31400 \cdot 0,1216 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1894 - 350 \cdot 0,4361 - 182,4 \cdot 0,2378 - 900 \cdot 0,872}{1,6775} = 1,7 \text{ кН};$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$P_{01}^{6-3-1} = \frac{31400 \cdot 0,1216 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1894 - 350 \cdot 0,4361 - 182,4 \cdot 0,2818 - 900 \cdot 1,0777}{1,5102} = 1,76 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-3-2} = \frac{31400 \cdot 0,1216 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1894 - 350 \cdot 0,4361 - 182,4 \cdot 0,3498 - 900 \cdot 1,1079}{0,6917} = 3,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{6-3-3} = \frac{31400 \cdot 0,1216 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1894 - 350 \cdot 0,4361 - 182,4 \cdot 0,4195 - 900 \cdot 0,9382}{0,1193} = -23,2 \text{ кН};$$

- для положения 0:

$$P_{01}^{0-0-0} = \frac{31400 \cdot 0,1419 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1671 + 350 \cdot 0,493 + 182,4 \cdot 0,3874 + 900 \cdot 1,2069}{1,6775} = 3,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-0-1} = \frac{31400 \cdot 0,1419 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1671 + 350 \cdot 0,493 + 182,4 \cdot 0,457 + 900 \cdot 1,2697}{1,5102} = 3,9 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-0-2} = \frac{31400 \cdot 0,1419 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1671 + 350 \cdot 0,493 + 182,4 \cdot 0,5226 + 900 \cdot 1,109}{0,6917} = 8,2 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-0-3} = \frac{31400 \cdot 0,1419 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1671 + 350 \cdot 0,493 + 182,4 \cdot 0,5529 + 900 \cdot 0,8545}{0,1193} = 46 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-1-0} = \frac{31400 \cdot 0,1979 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,068 + 350 \cdot 0,3293 + 182,4 \cdot 0,3297 + 900 \cdot 0,927}{1,6775} = 4,3 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-1-1} = \frac{31400 \cdot 0,1979 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,068 + 350 \cdot 0,3293 + 182,4 \cdot 0,3971 + 900 \cdot 0,8979}{1,5102} = 4,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-1-2} = \frac{31400 \cdot 0,1979 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,068 + 350 \cdot 0,3293 + 182,4 \cdot 0,4322 + 900 \cdot 0,6774}{0,6917} = 7 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-1-3} = \frac{31400 \cdot 0,1979 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,068 + 350 \cdot 0,3293 + 182,4 \cdot 0,4173 + 900 \cdot 0,4434}{0,1193} = 57 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-2-0} = \frac{31400 \cdot 0,1685 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0578 + 350 \cdot 0,033 + 182,4 \cdot 0,14 + 900 \cdot 0,3379}{1,6775} = 3,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-2-1} = \frac{31400 \cdot 0,1685 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0578 + 350 \cdot 0,033 + 182,4 \cdot 0,1796 + 900 \cdot 0,163}{1,5102} = 3,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-2-2} = \frac{31400 \cdot 0,1685 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0578 + 350 \cdot 0,033 + 182,4 \cdot 0,1696 + 900 \cdot 0,0903}{0,6917} = 7,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-2-3} = \frac{31400 \cdot 0,1685 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0578 + 350 \cdot 0,033 + 182,4 \cdot 0,1151 - 900 \cdot 0,217}{0,1193} = 43 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-3-0} = \frac{31400 \cdot 0,1036 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1461 - 350 \cdot 0,2808 - 182,4 \cdot 0,1074 - 900 \cdot 0,4531}{1,6775} = 1,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-3-1} = \frac{31400 \cdot 0,1036 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1461 - 350 \cdot 0,2808 - 182,4 \cdot 0,1041 - 900 \cdot 0,6884}{1,5102} = 1,7 \text{ кН};$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$P_{01}^{0-3-2} = \frac{31400 \cdot 0,1036 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1461 - 350 \cdot 0,2808 - 182,4 \cdot 0,1554 - 900 \cdot 0,8144}{0,6917} = 3,5 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{0-3-3} = \frac{31400 \cdot 0,1036 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1461 - 350 \cdot 0,2808 - 182,4 \cdot 0,2293 - 900 \cdot 0,7303}{0,1193} = -20,7 \text{ кН};$$

- для положения 3:

$$P_{01}^{3-0-0} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1984 + 350 \cdot 0,4864 + 182,4 \cdot 0,3244 + 900 \cdot 0,9973}{1,6775} = 3,3 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-0-1} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1984 + 350 \cdot 0,4864 + 182,4 \cdot 0,3754 + 900 \cdot 1,2488}{1,5102} = 3,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-0-2} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1984 + 350 \cdot 0,4864 + 182,4 \cdot 0,4472 + 900 \cdot 1,2014}{0,6917} = 8,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-0-3} = \frac{31400 \cdot 0,1421 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1984 + 350 \cdot 0,4864 + 182,4 \cdot 0,5053 + 900 \cdot 0,9724}{0,1193} = 46,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-1-0} = \frac{31400 \cdot 0,1982 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1488 + 350 \cdot 0,4729 + 182,4 \cdot 0,3878 + 900 \cdot 1,136}{1,6775} = 4,4 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-1-1} = \frac{31400 \cdot 0,1982 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1488 + 350 \cdot 0,4729 + 182,4 \cdot 0,459 + 900 \cdot 1,2307}{1,5102} = 5 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-1-2} = \frac{31400 \cdot 0,1982 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1488 + 350 \cdot 0,4729 + 182,4 \cdot 0,5203 + 900 \cdot 1,0968}{0,6917} = 10,8 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-1-3} = \frac{31400 \cdot 0,1982 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,1488 + 350 \cdot 0,4729 + 182,4 \cdot 0,5405 + 900 \cdot 0,8434}{0,1193} = 7,2 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-2-0} = \frac{31400 \cdot 0,1692 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0396 + 350 \cdot 0,2707 + 182,4 \cdot 0,2953 + 900 \cdot 0,8179}{1,6775} = 3,7 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-2-1} = \frac{31400 \cdot 0,1692 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0396 + 350 \cdot 0,2707 + 182,4 \cdot 0,3591 + 900 \cdot 0,752}{1,5102} = 4,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-2-2} = \frac{31400 \cdot 0,1692 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0396 + 350 \cdot 0,2707 + 182,4 \cdot 0,3844 + 900 \cdot 0,5148}{0,6917} = 8,6 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-2-3} = \frac{31400 \cdot 0,1692 - 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0396 + 350 \cdot 0,2707 + 182,4 \cdot 0,359 + 900 \cdot 0,2985}{0,1193} = 48,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-3-0} = \frac{31400 \cdot 0,1048 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0647 - 350 \cdot 0,0426 + 182,4 \cdot 0,0634 + 900 \cdot 0,12}{1,6775} = 2 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-3-1} = \frac{31400 \cdot 0,1048 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0647 - 350 \cdot 0,0426 + 182,4 \cdot 0,1191 - 900 \cdot 0,0954}{1,5102} = 2,1 \text{ кН};$$

$$P_{01}^{3-3-2} = \frac{31400 \cdot 0,1048 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0647 - 350 \cdot 0,0426 + 182,4 \cdot 0,0984 - 900 \cdot 0,301}{0,6917} = 4,4 \text{ кН};$$

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{01}^{3-3-3} = \frac{31400 \cdot 0,1048 + 0,5 \cdot 182,4 \cdot 0,0647 - 350 \cdot 0,0426 + 182,4 \cdot 0,0361 - 900 \cdot 0,3316}{0,1193} = -25,1 \text{ кН}.$$

За сумою моментів відносно точки O_1 знаходимо зусилля вздовж тяги:

$$\sum M_{01} = 0. \quad (1.7)$$

Після підстановки пліч і зусиль в буквенному вигляді, отримую:

$$\sum M_{01} = G_{кг} \cdot l_{G_{кг}} + P_{01} \cdot R - R_T \cdot l_{R_T} = 0; \quad (1.8)$$

Виразивши реакцію в тязі R_T , отримуємо ряд її значень. Довжину плеча l_{ijk} – плеча дії ваги ковша з ґрунтом $G_{кг}$ відносно точки O_1 знаходимо за кресленням розрахункової схеми.

- для положення 1:

$$R_T^{1-0-0} = \frac{3080 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1164}{0,285} = 7932 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-0-1} = \frac{3576 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1381}{0,285} = 8347 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-0-2} = \frac{8009 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2814}{0,285} = 18783 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-0-3} = \frac{45918 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1979}{0,285} = 112156 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-1-0} = \frac{4421 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0618}{0,285} = 10663 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-1-1} = \frac{5035 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2591}{0,285} = 11548 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-1-2} = \frac{10998 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2476}{0,285} = 26231 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-1-3} = \frac{62255 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0366}{0,285} = 152791 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-2-0} = \frac{3896 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2154}{0,285} = 8889 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-2-1} = \frac{4372 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2769}{0,285} = 9864 \text{ Н};$$

$$R_T^{1-2-2} = \frac{8349 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1152}{0,285} = 22600 \text{ Н};$$

					ДІП.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$R_T^{1-2-3} = \frac{52305 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1393}{0,285} = 128908 H ;$$

$$R_T^{1-3-0} = \frac{2419 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2586}{0,285} = 5125 H ;$$

$$R_T^{1-3-1} = \frac{2610 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1169}{0,285} = 6041 H ;$$

$$R_T^{1-3-2} = \frac{5394 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1191}{0,285} = 13624 H ;$$

$$R_T^{1-3-3} = \frac{-30176 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,259}{0,285} = -73300 H ;$$

- для положения 3:

$$R_T^{3-0-0} = \frac{3321 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0214}{0,285} = 8089 H ;$$

$$R_T^{3-0-1} = \frac{3845 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2733}{0,285} = 8586 H ;$$

$$R_T^{3-0-2} = \frac{8352 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,226}{0,285} = 19800 H ;$$

$$R_T^{3-0-3} = \frac{46785 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0031}{0,285} = 114900 H ;$$

$$R_T^{3-1-0} = \frac{4452 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1884}{0,285} = 10340 H ;$$

$$R_T^{3-1-1} = \frac{5010 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2828}{0,285} = 11412 H ;$$

$$R_T^{3-1-2} = \frac{10781 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1493}{0,285} = 26008 H ;$$

$$R_T^{3-1-3} = \frac{7233 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1045}{0,285} = 18095 H ;$$

$$R_T^{3-2-0} = \frac{3692 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,278}{0,285} = 8190 H ;$$

$$R_T^{3-2-1} = \frac{4070 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2118}{0,285} = 9328 H ;$$

$$R_T^{3-2-2} = \frac{8584 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,025}{0,285} = 21162 H ;$$

$$R_T^{3-2-3} = \frac{48098 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2417}{0,285} = 118900 H ;$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$R_T^{3-3-0} = \frac{2028 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2035}{0,285} = 4338 H ;$$

$$R_T^{3-3-1} = \frac{2131 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0119}{0,285} = 5272 H ;$$

$$R_T^{3-3-2} = \frac{4379 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2178}{0,285} = 11443 H ;$$

$$R_T^{3-3-3} = \frac{-25062 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2481}{0,285} = -60772 H ;$$

- для положення 0:

$$R_T^{0-0-0} = \frac{3440 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2145}{0,285} = 7772 H ;$$

$$R_T^{0-0-1} = \frac{3866 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2772}{0,285} = 8620 H ;$$

$$R_T^{0-0-2} = \frac{8250 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1166}{0,285} = 19895 H ;$$

$$R_T^{0-0-3} = \frac{45959 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1379}{0,285} = 113317 H ;$$

$$R_T^{0-1-0} = \frac{4303 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2667}{0,285} = 9726 H ;$$

$$R_T^{0-1-1} = \frac{4770 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2372}{0,285} = 10967 H ;$$

$$R_T^{0-1-2} = \frac{7012 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0167}{0,285} = 17170 H ;$$

$$R_T^{0-1-3} = \frac{56985 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2173}{0,285} = 140649 H ;$$

$$R_T^{0-2-0} = \frac{3361 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2718}{0,285} = 7397 H ;$$

$$R_T^{0-2-1} = \frac{3633 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0966}{0,285} = 8618 H ;$$

$$R_T^{0-2-2} = \frac{7836 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1564}{0,285} = 19740 H ;$$

$$R_T^{0-2-3} = \frac{43030 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2834}{0,285} = 106583 H ;$$

$$R_T^{0-3-0} = \frac{1634 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1}{0,285} = 3698 H ;$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$R_T^{0-3-1} = \frac{1675 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1352}{0,285} = 4541 H ;$$

$$R_T^{0-3-2} = \frac{3480 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2615}{0,285} = 9373 H ;$$

$$R_T^{0-3-3} = \frac{-20696 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1771}{0,285} = -50273 H ;$$

- для положения 5:

$$R_T^{5-0-0} = \frac{3419 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2495}{0,285} = 7610 H ;$$

$$R_T^{5-0-1} = \frac{3812 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2575}{0,285} = 8550 H ;$$

$$R_T^{5-0-2} = \frac{8077 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,058}{0,285} = 19655 H ;$$

$$R_T^{5-0-3} = \frac{44999 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0188}{0,285} = 110583 H ;$$

$$R_T^{5-1-0} = \frac{3627 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2814}{0,285} = 8020 H ;$$

$$R_T^{5-1-1} = \frac{3987 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,198}{0,285} = 9167 H ;$$

$$R_T^{5-1-2} = \frac{8394 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0449}{0,285} = 20475 H ;$$

$$R_T^{5-1-3} = \frac{47066 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2516}{0,285} = 116395 H ;$$

$$R_T^{5-2-0} = \frac{2953 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2477}{0,285} = 6471 H ;$$

$$R_T^{5-2-1} = \frac{3158 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0367}{0,285} = 7641 H ;$$

$$R_T^{5-2-2} = \frac{6574 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2038}{0,285} = 16790 H ;$$

$$R_T^{5-2-3} = \frac{37443 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2802}{0,285} = 92850 H ;$$

$$R_T^{5-3-0} = \frac{1763 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,0452}{0,285} = 4187 H ;$$

$$R_T^{5-3-1} = \frac{1822 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1807}{0,285} = 5046 H ;$$

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$R_T^{5-3-2} = \frac{3857 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2628}{0,285} = 10303 H ;$$

$$R_T^{5-3-3} = \frac{-23235 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,131}{0,285} = -56655 H ;$$

- для положення б:

$$R_T^{6-0-0} = \frac{3278 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2729}{0,285} = 7189 H ;$$

$$R_T^{6-0-1} = \frac{3621 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2248}{0,285} = 8184 H ;$$

$$R_T^{6-0-2} = \frac{7620 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0044}{0,285} = 18730 H ;$$

$$R_T^{6-0-3} = \frac{42477 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2305}{0,285} = 105057 H ;$$

$$R_T^{6-1-0} = \frac{3533 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2828}{0,285} = 7784 H ;$$

$$R_T^{6-1-1} = \frac{3850 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1491}{0,285} = 8985 H ;$$

$$R_T^{6-1-2} = \frac{8078 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2741}{0,285} = 20706 H ;$$

$$R_T^{6-1-3} = \frac{45516 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1047}{0,285} = 112124 H ;$$

$$R_T^{6-2-0} = \frac{2845 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2116}{0,285} = 6319 H ;$$

$$R_T^{6-2-1} = \frac{3020 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0253}{0,285} = 7497 H ;$$

$$R_T^{6-2-2} = \frac{6302 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2419}{0,285} = 16242 H ;$$

$$R_T^{6-2-3} = \frac{36271 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2636}{0,285} = 89919 H ;$$

$$R_T^{6-3-0} = \frac{1702 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2277}{0,285} = 3461 H ;$$

$$R_T^{6-3-1} = \frac{1762 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0122}{0,285} = 4366 H ;$$

$$R_T^{6-3-2} = \frac{3791 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2179}{0,285} = 9999 H ;$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$R_T^{6-3-3} = \frac{-23152 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,248}{0,285} = -56081 H ;$$

- для положення 8:

$$R_T^{8-0-0} = \frac{2825 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2803}{0,285} = 6053 H ;$$

$$R_T^{8-0-1} = \frac{2760 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1967}{0,285} = 6158 H ;$$

$$R_T^{8-0-2} = \frac{2545 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0466}{0,285} = 6398 H ;$$

$$R_T^{8-0-3} = \frac{2355 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2524}{0,285} = 6581 H$$

$$R_T^{8-1-0} = \frac{3781 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,2468}{0,285} = 8507 H ;$$

$$R_T^{8-1-1} = \frac{4077 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,035}{0,285} = 9903 H ;$$

$$R_T^{8-1-2} = \frac{8583 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,205}{0,285} = 21728 H ;$$

$$R_T^{8-1-3} = \frac{49100 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2799}{0,285} = 121480 H ;$$

$$R_T^{8-2-0} = \frac{3600 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1137}{0,285} = 8483 H ;$$

$$R_T^{8-2-1} = \frac{3341 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1407}{0,285} = 8650 H ;$$

$$R_T^{8-2-2} = \frac{7094 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2817}{0,285} = 18313 H ;$$

$$R_T^{8-2-3} = \frac{41676 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,1958}{0,285} = 102980 H ;$$

$$R_T^{8-3-0} = \frac{1732 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,0694}{0,285} = 4473 H ;$$

$$R_T^{8-3-1} = \frac{1801 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2648}{0,285} = 5260 H ;$$

$$R_T^{8-3-2} = \frac{3932 \cdot 0,7 + 900 \cdot 0,2504}{0,285} = 10448 H ;$$

$$R_T^{8-3-3} = \frac{-24853 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,033}{0,285} = -61147 H .$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

1.4. Представлення результатів досліджень

Для побудови графіків залежностей реакцій в шарнірах стріли, рукояті і ковша залежно від їх відносного кутового положення скористаємося попередньо отриманими реакціями. Для зручності сприйняття інформації при побудові графіків скористаємось принципом підйому сітки рівня початкового відліку до відповідного положення, наприклад, ковша.

На графіку максимум та мінімум значень реакцій відмічені в основній координатній сітці відповідно червоними та чорними точками.

На рисунках 1.12 – 1.15 показані результати визначених реакцій в шарнірах робочого обладнання по першому варіанту його розташування.

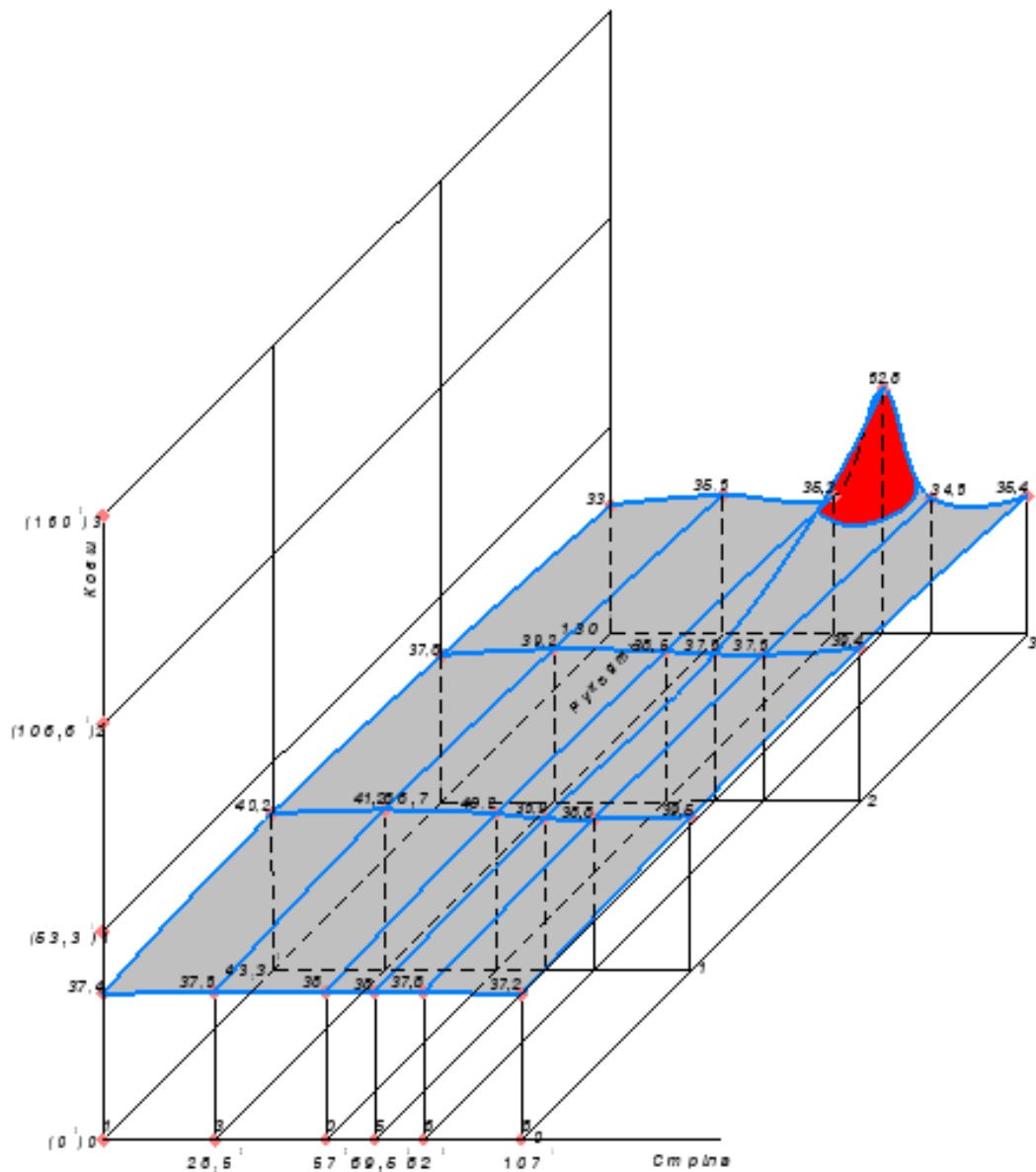


Рис. 1.12. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 1, 1-й рівень)

Для варіанту 1 і 1-го рівня найбільше значення реакції 52,8 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 28° від свого початкового положення, рукоять – на кут 130° , а ковш – на кут 33° .

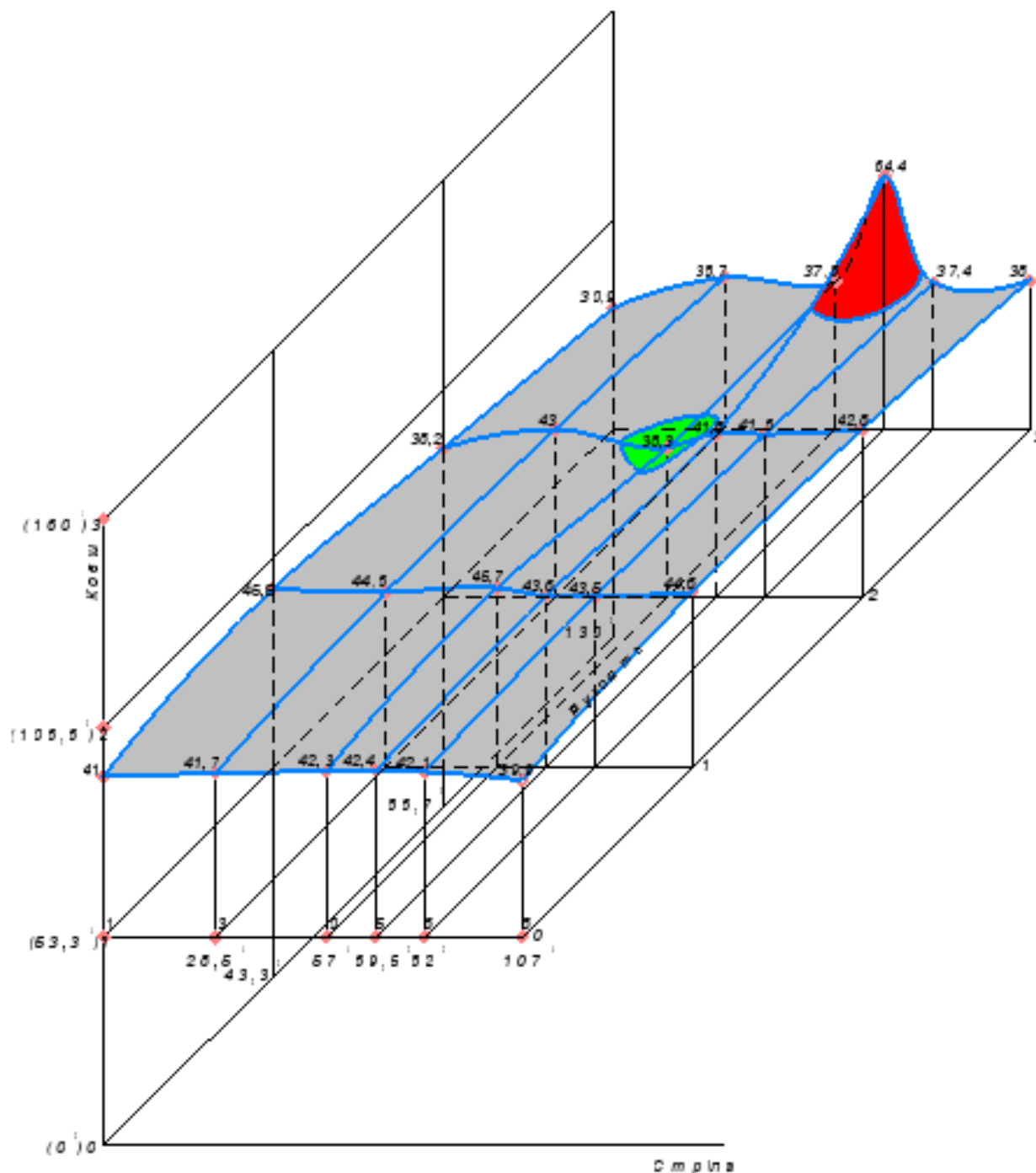


Рис. 1.13. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 1, 2-й рівень)

Для варіанту 1 і 2-го рівня найбільше значення реакції 64,4 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 43° від свого початкового положення, рукоять – на кут 130° , а ковш – на кут 31° .

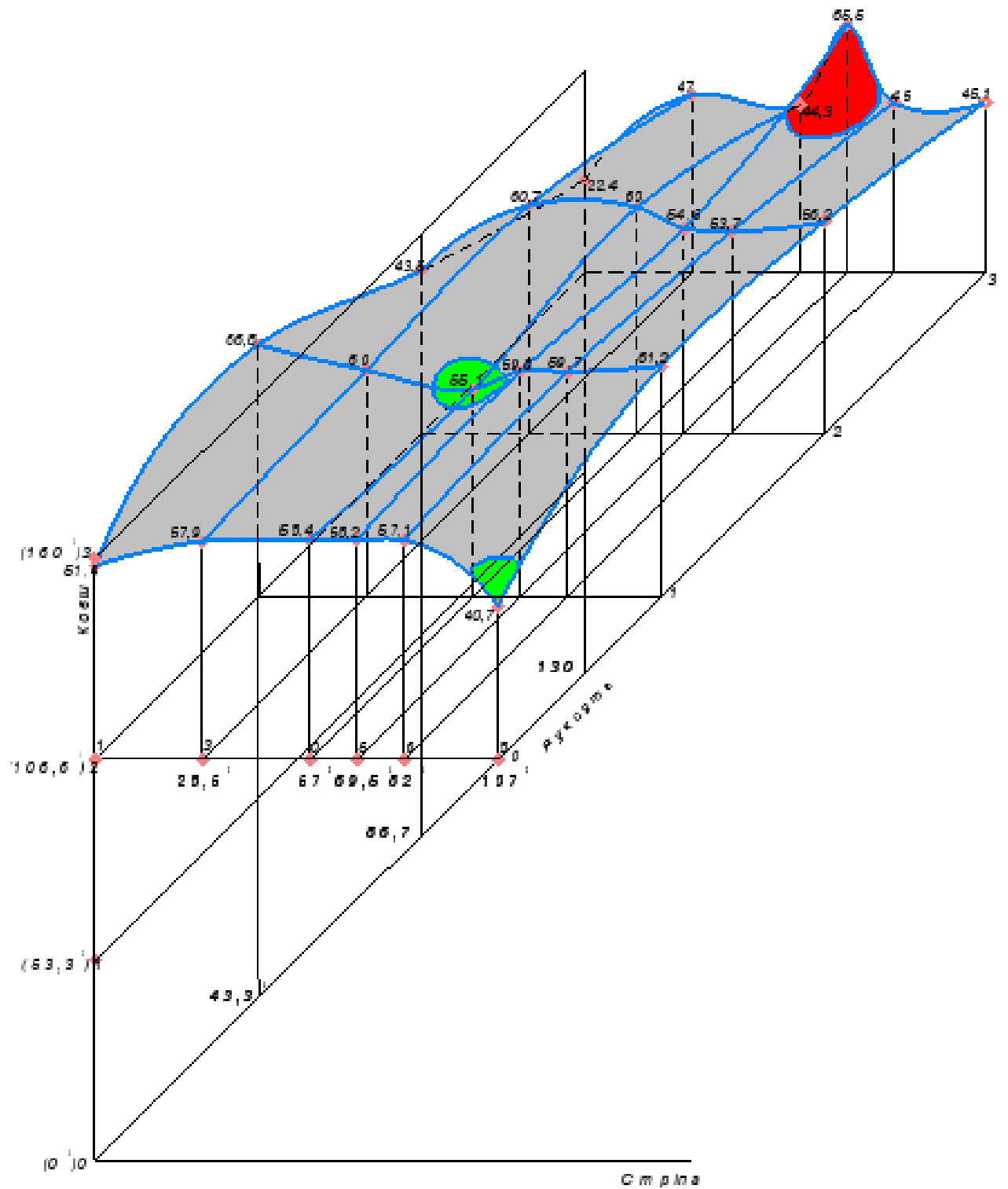


Рис. 1.14. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 1, 3-й рівень)

Для варіанту 1 і 3-го рівня найбільше значення реакції 66,6 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 70° від свого початкового положення, рукоять – на кут 130° , а ковш – на кут 44° .

						ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

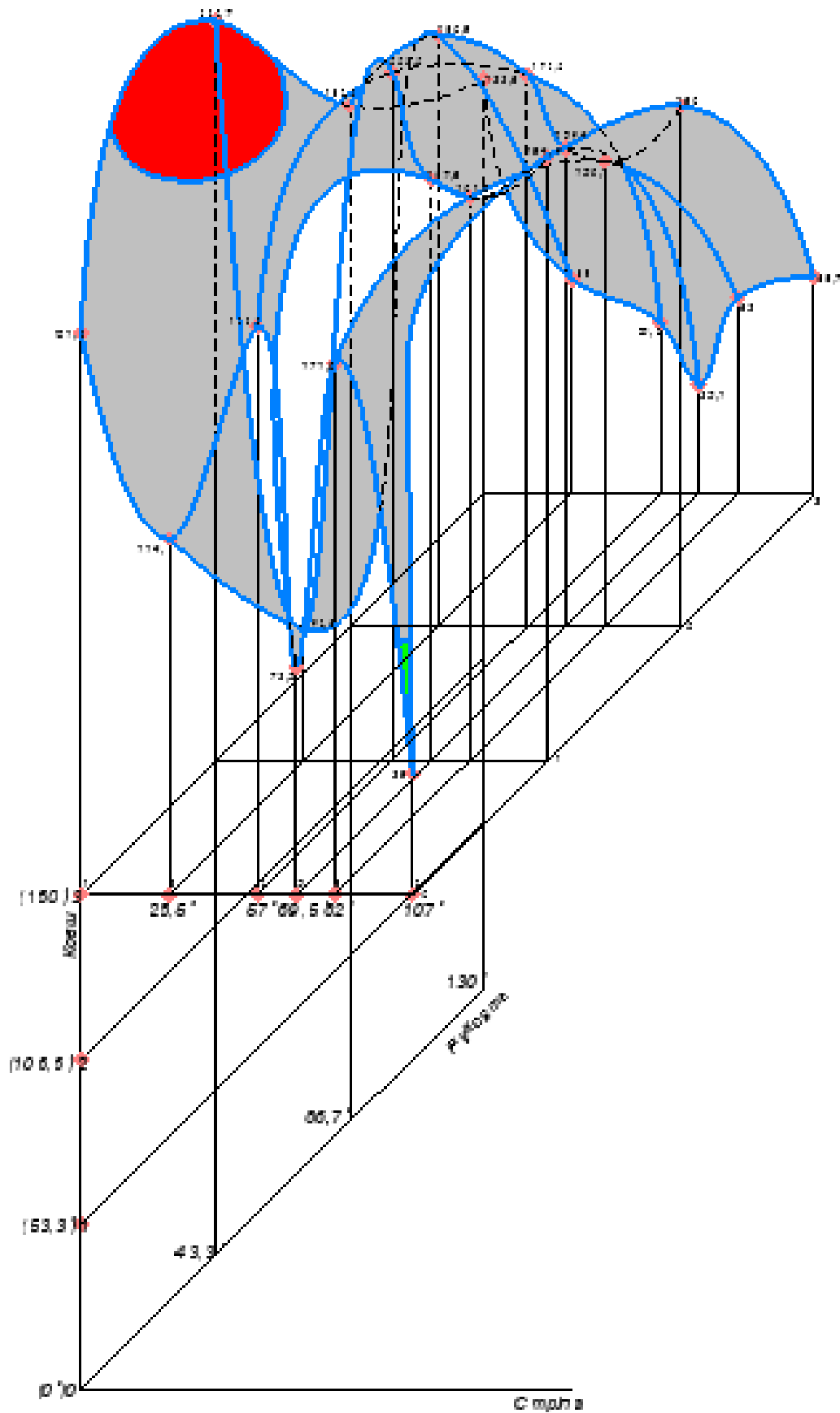


Рис. 1.15. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 1, 4-й рівень)

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Для варіанту 1 і 4-го рівня найбільше значення реакції 114 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 21° від свого початкового положення, рукоять – на кут 43° , а ковш – на кут 150° .

На рисунках 1.16 – 1.19 показані результати визначених реакцій в шарнірах робочого обладнання по другому варіанту його розташування.

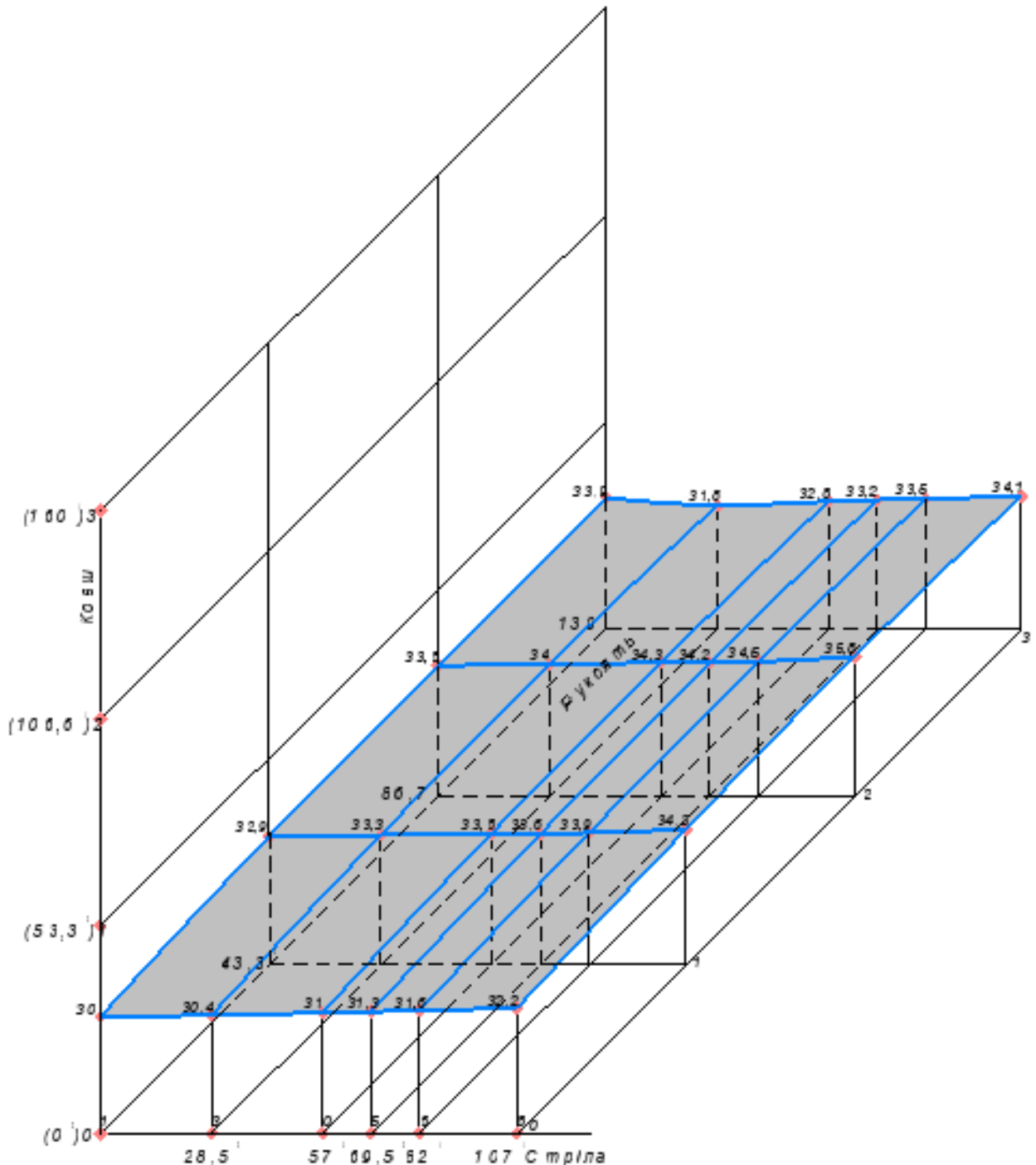


Рис. 1.16. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 2, 1-й рівень)

Для варіанту 2 і 1-го рівня реакції в шарнірах розподілені рівномірно і знаходяться в межах 30...35 кН.

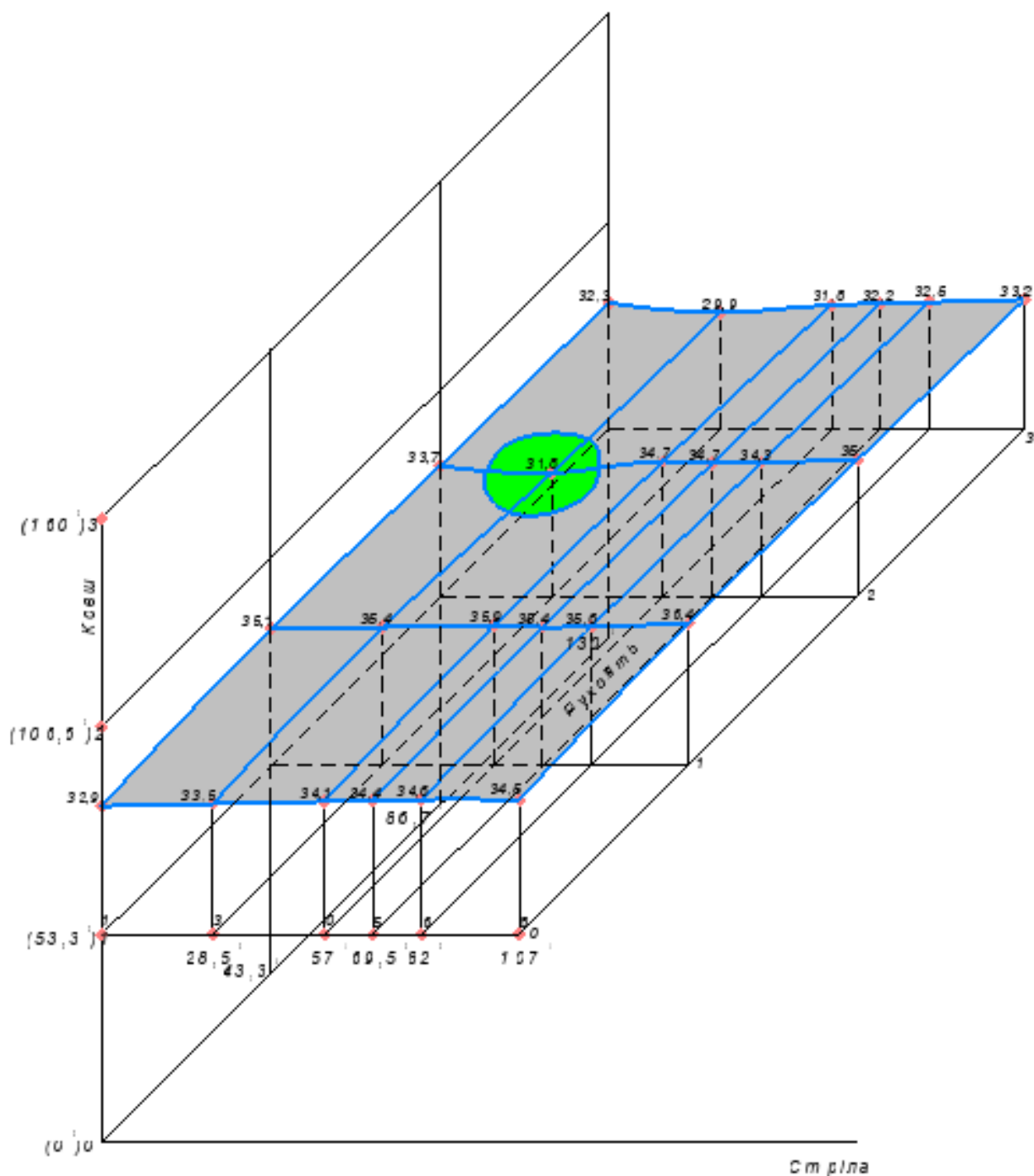


Рис. 1.17. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 2, 2-й рівень)

Для варіанту 2 і 2-го рівня реакції в шарнірах розподілені рівномірно і знаходяться в межах 30...37 кН.

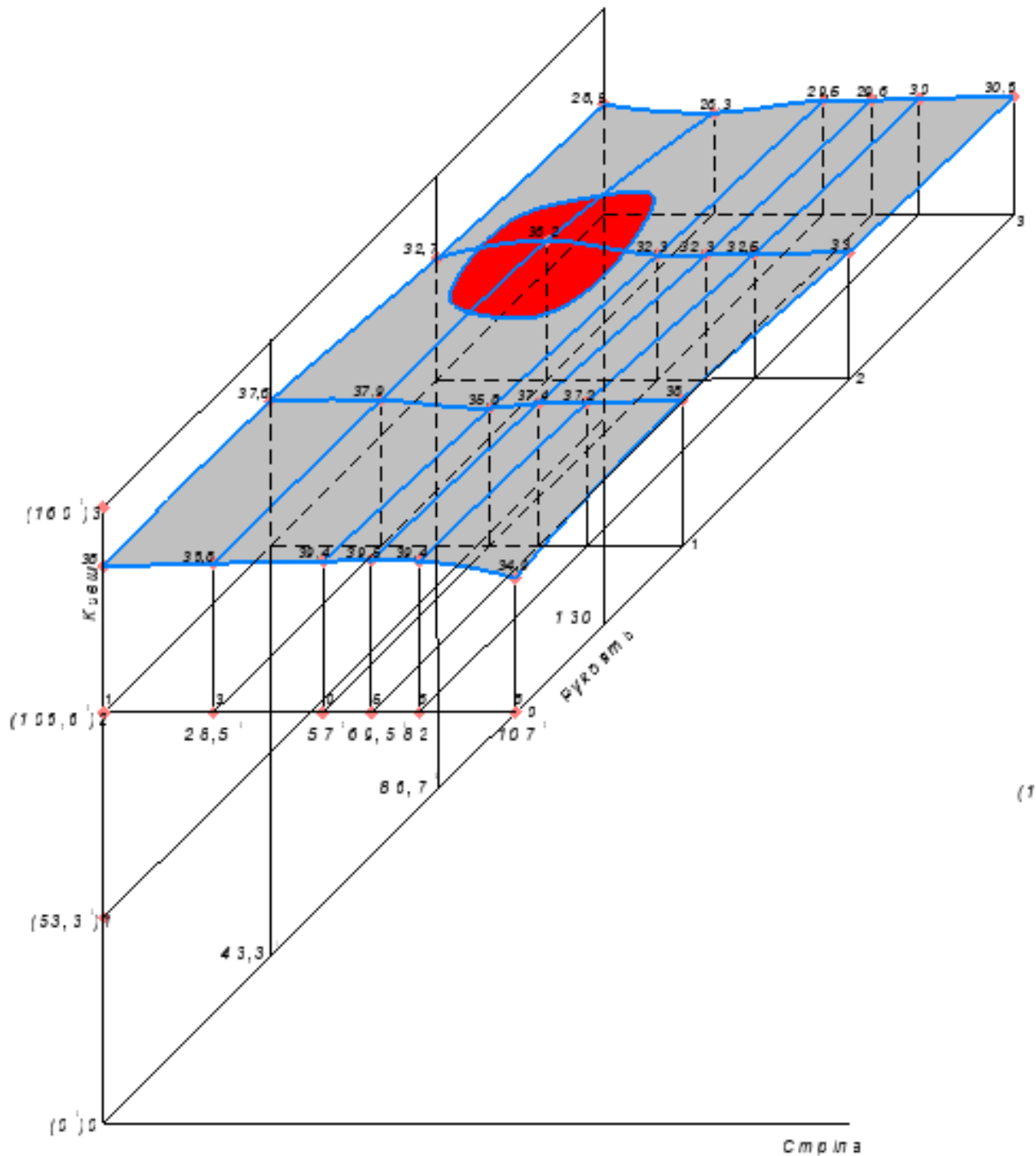


Рис. 1.18. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 2, 3-й рівень)

Для варіанту 2 і 3-го рівня реакції в шарнірах розподілені рівномірно і знаходяться в межах 30...40 кН.

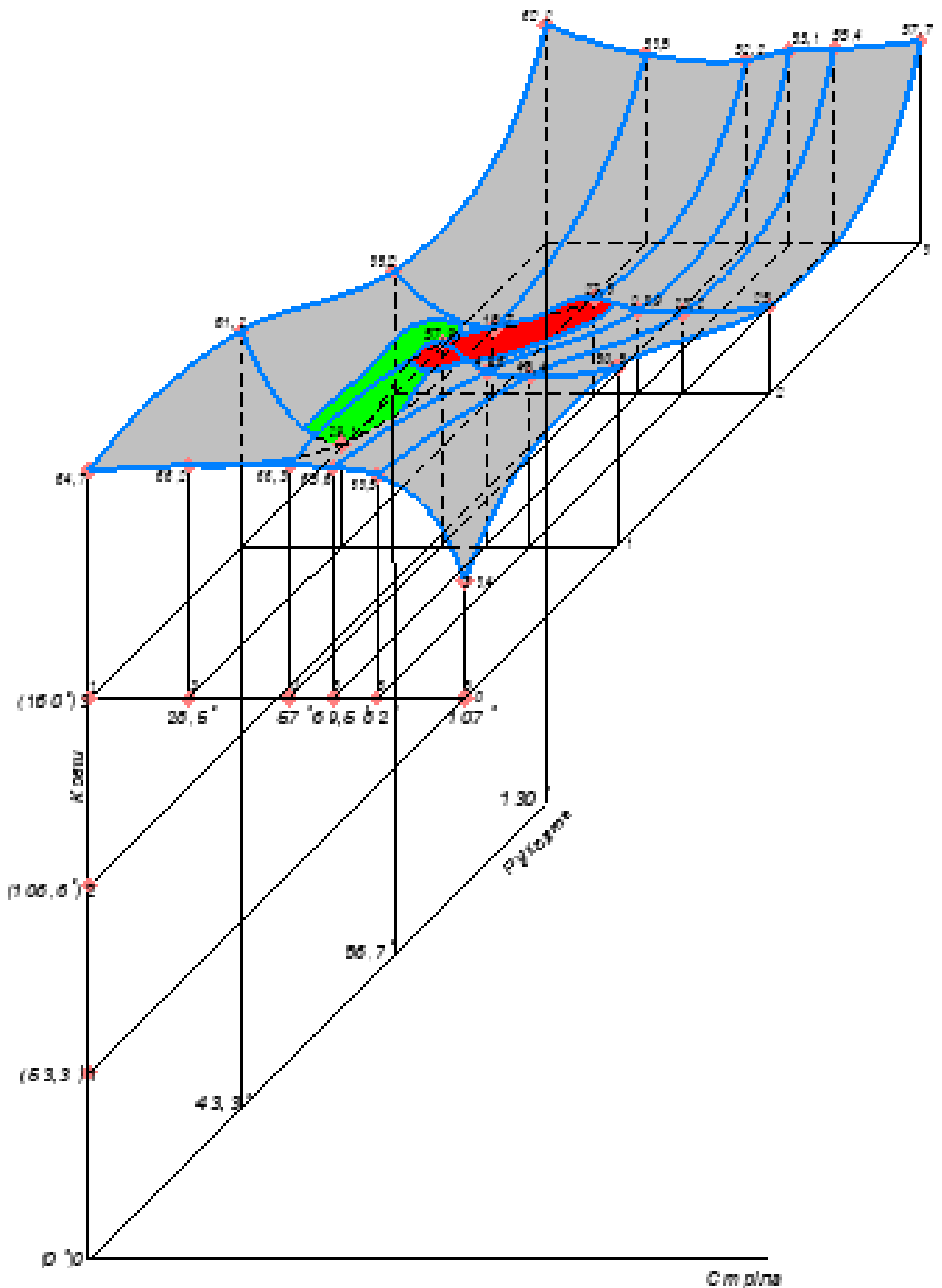


Рис. 1.19. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 2, 4-й рівень)

Для варіанту 2 і 4-го рівня найбільше значення реакції 58 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 70° від свого початкового положення, рукоять – на кут 57° , а ковш – на кут 150° , а найменше значення реакції 29 кН при повороті стріли на кут 70° , рукояті – на 43° , а ковша – на 160° .

На рисунках 1.20 – 1.23 показані результати визначених реакцій в шарнірах робочого обладнання по третьому варіанту його розташування.

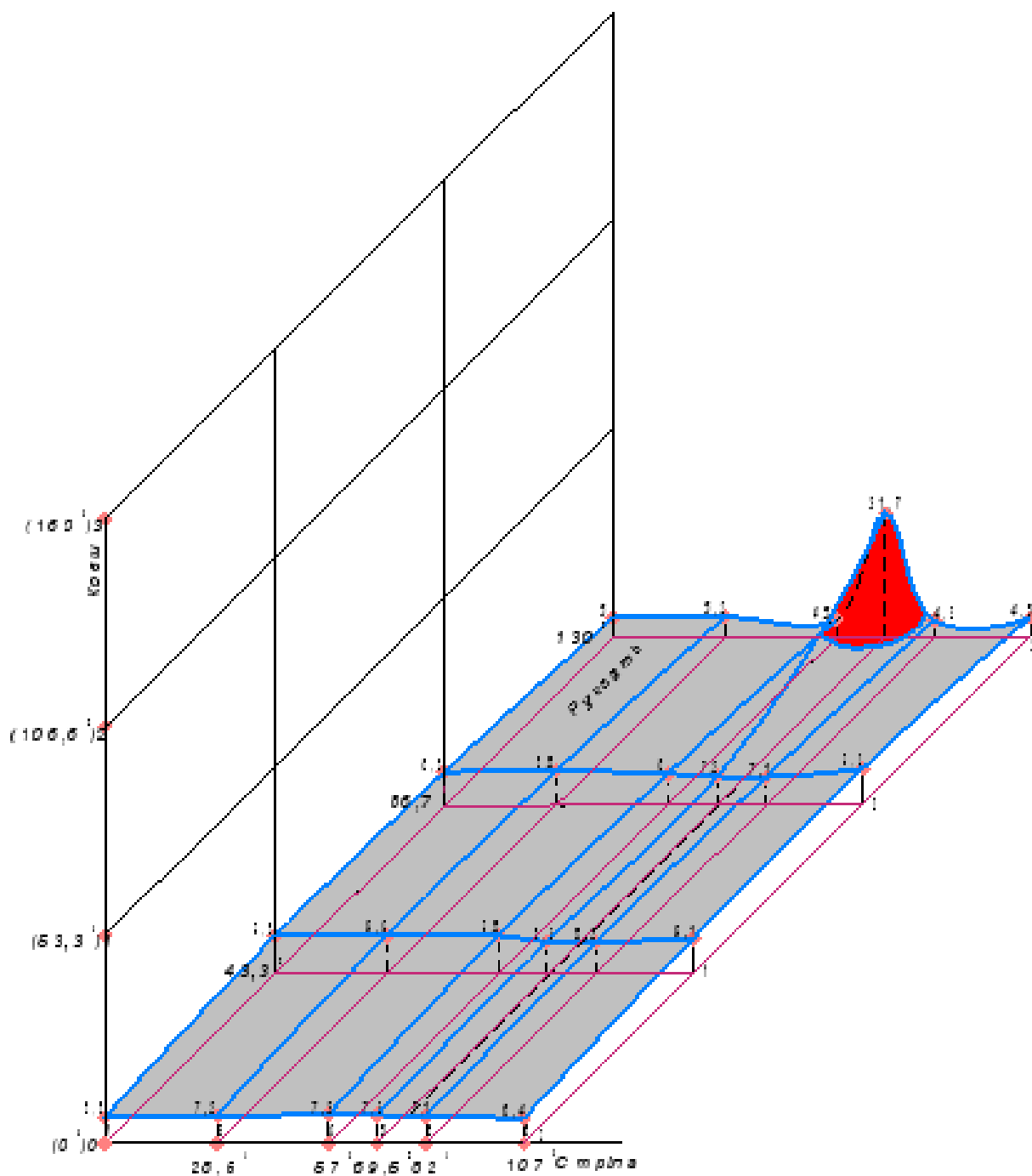


Рис. 1.20. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 3, 1-й рівень)

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Для варіанту 3 і 2-го рівня найбільше значення реакції 31 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 70° від свого початкового положення, рукоять – на кут 130° , а ковш – на кут 63° .

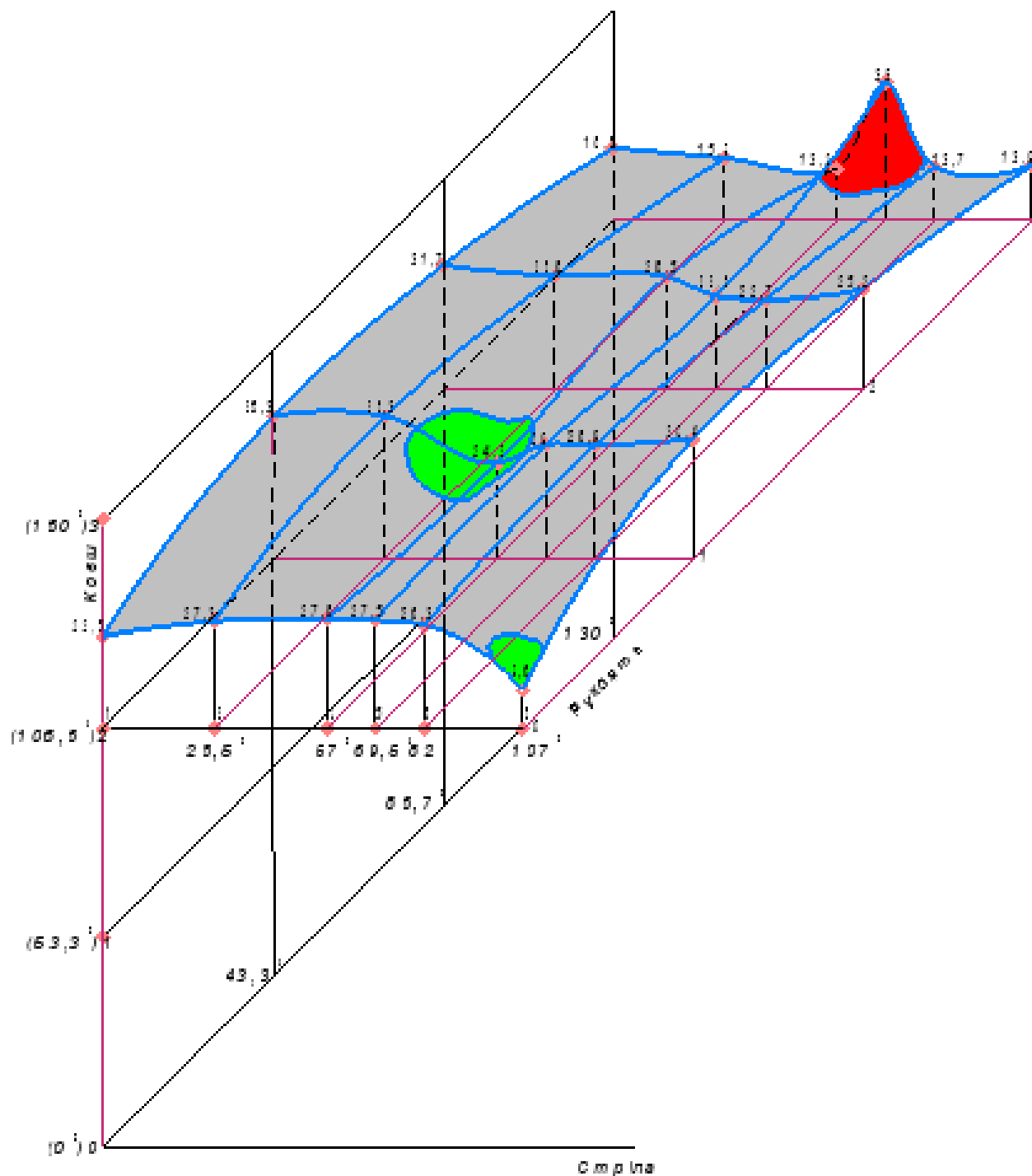


Рис. 1.22. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 3, 3-й рівень)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для варіанту 3 і 3-го рівня найбільше значення реакції 31 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 70° від свого початкового положення, рукоять – на кут 130° , а ковш – на кут 107° .

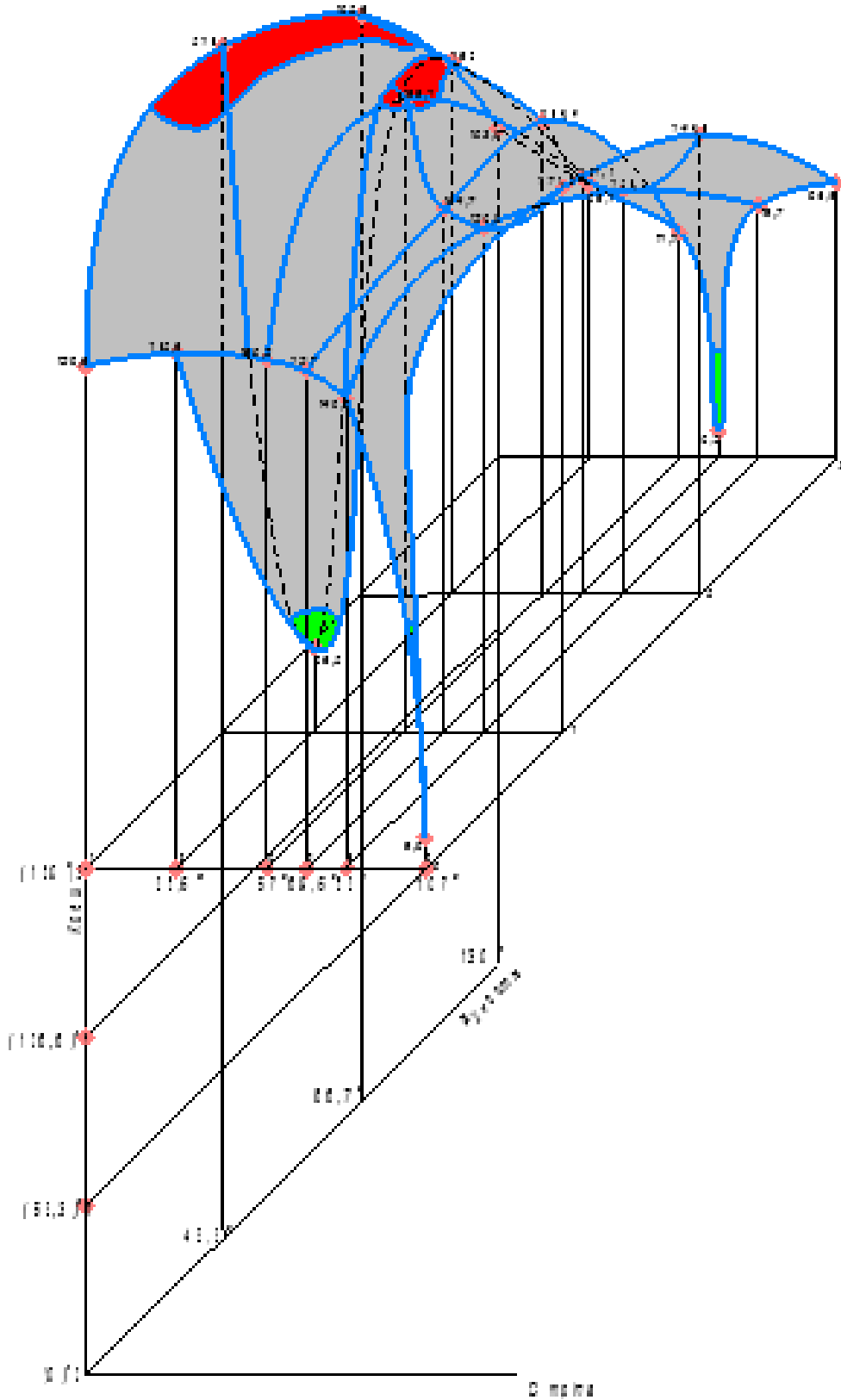


Рис. 1.23. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 3, 4-й рівень)

Для варіанту 3 і 4-го рівня найбільше значення реакції 57 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 0° від свого початкового положення, рукоять – на кут 43° , а ковш – на кут 150° .

На рисунках 1.24 – 1.27 показані результати визначених реакцій в шарнірах робочого обладнання по четвертому варіанту його розташування.

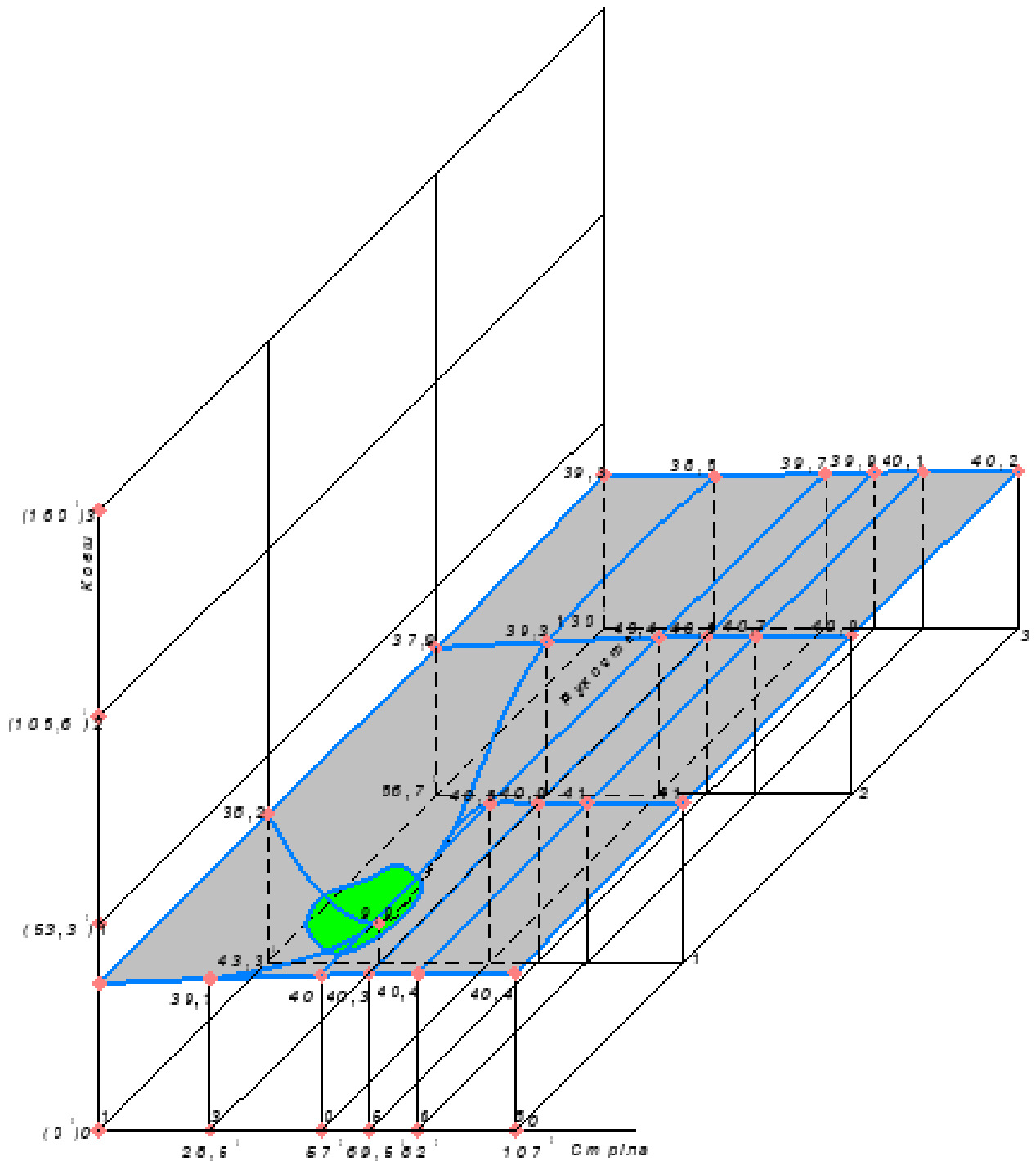


Рис. 1.24. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 4, 1-й рівень)

Для варіанту 4 і 1-го рівня найменше значення реакції 10 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 70° від свого початкового положення, рукоять – на кут 43° , а ковш – на кут 63° , а інші реакції в межах 38...40 кН.

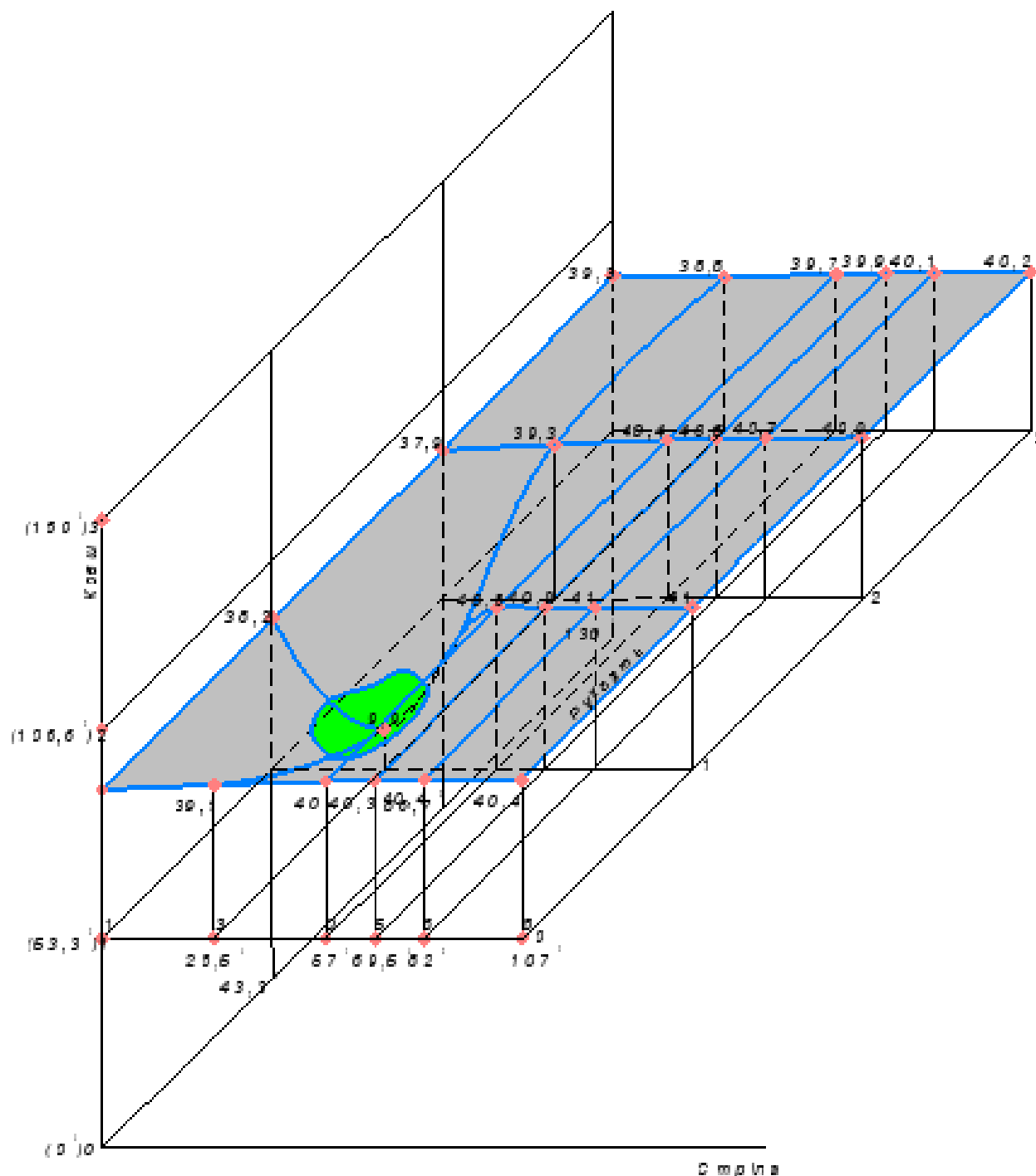


Рис. 1.25. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 4, 2-й рівень)

Для варіанту 4 і 2-го рівня найменше значення реакції 10 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 70° від свого початкового положення, рукоять – на кут 43° , а ковш – на кут 63° , а інші реакції в межах 38...40 кН.

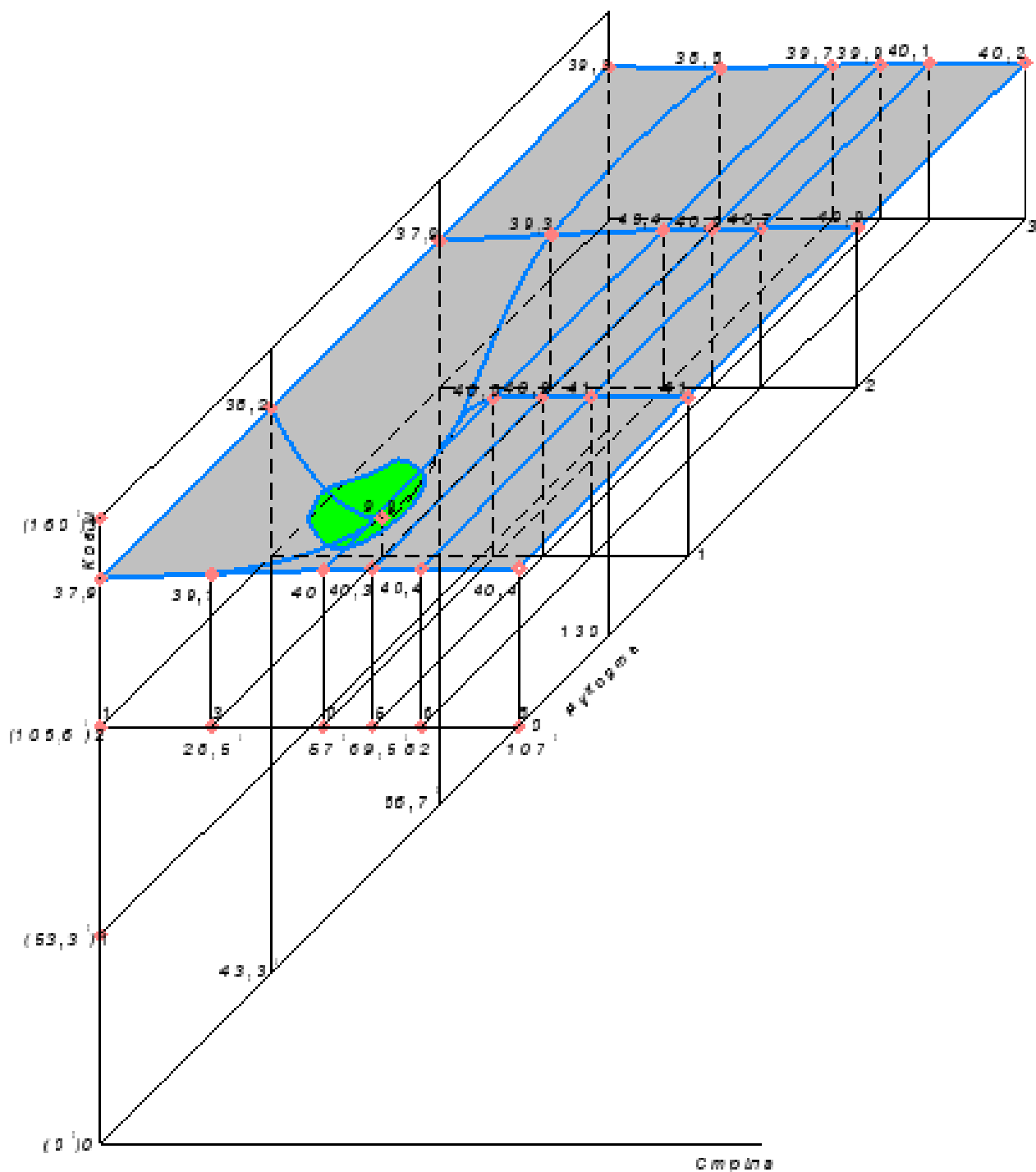


Рис. 1.26. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 4, 3-й рівень)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для варіанту 4 і 4-го рівня найменше значення реакції 10 кН відповідає такому взаємном розміщенню робочого обладнання, при якому стріла повернута на кут 0^0 від свого початкового положення, рукоять – на кут 43^0 , а ковш – на кут 160^0 , а інші реакції в межах 38...40 кН.

На рисунках 1.28 – 1.31 показані результати визначених реакцій в шарнірах робочого обладнання по п'ятому варіанту його розташування.

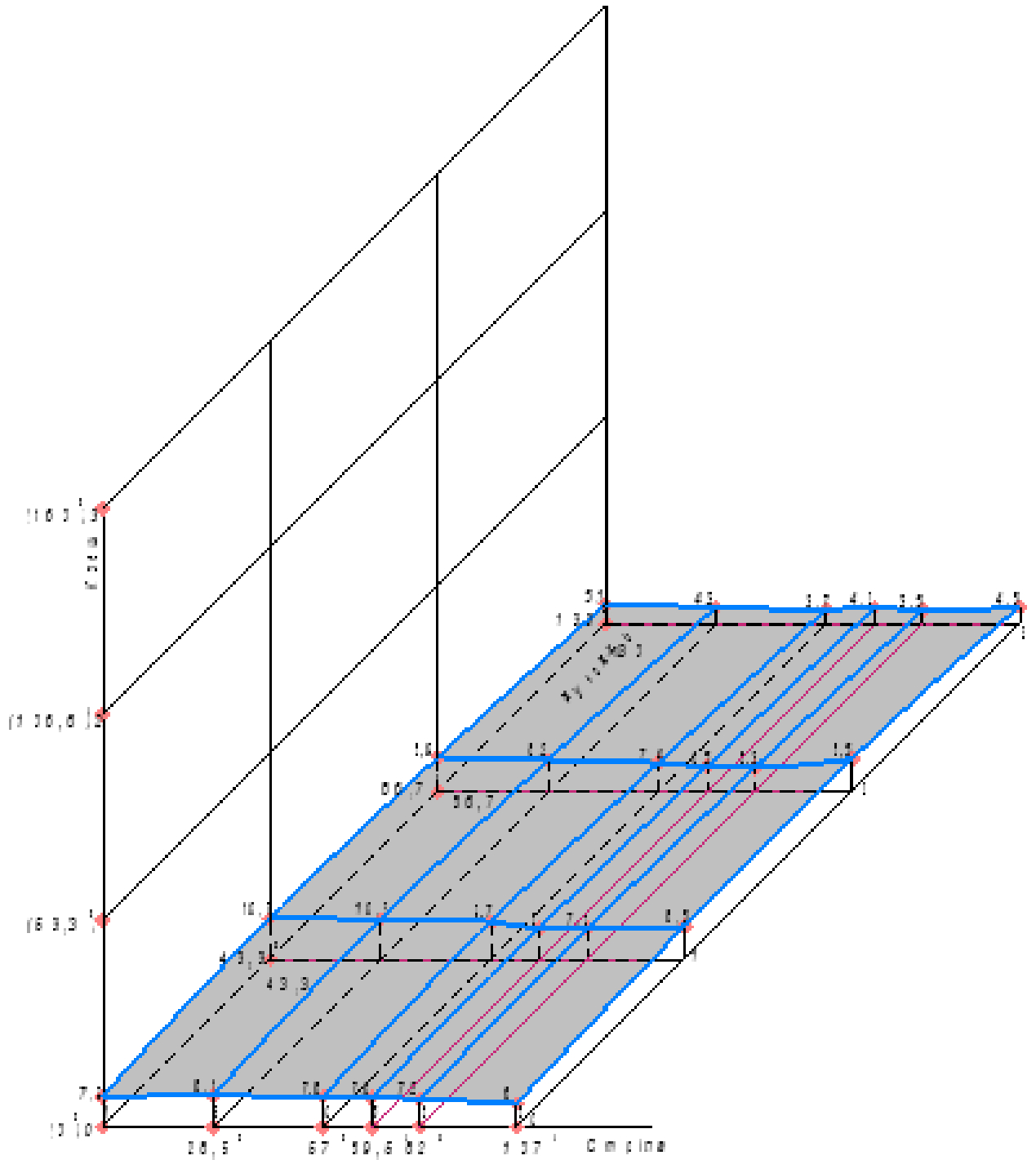


Рис. 1.28. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 5, 1-й рівень)

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Для варіанту 5 і 1-го рівня значення реакцій в межах 4...8 кН.

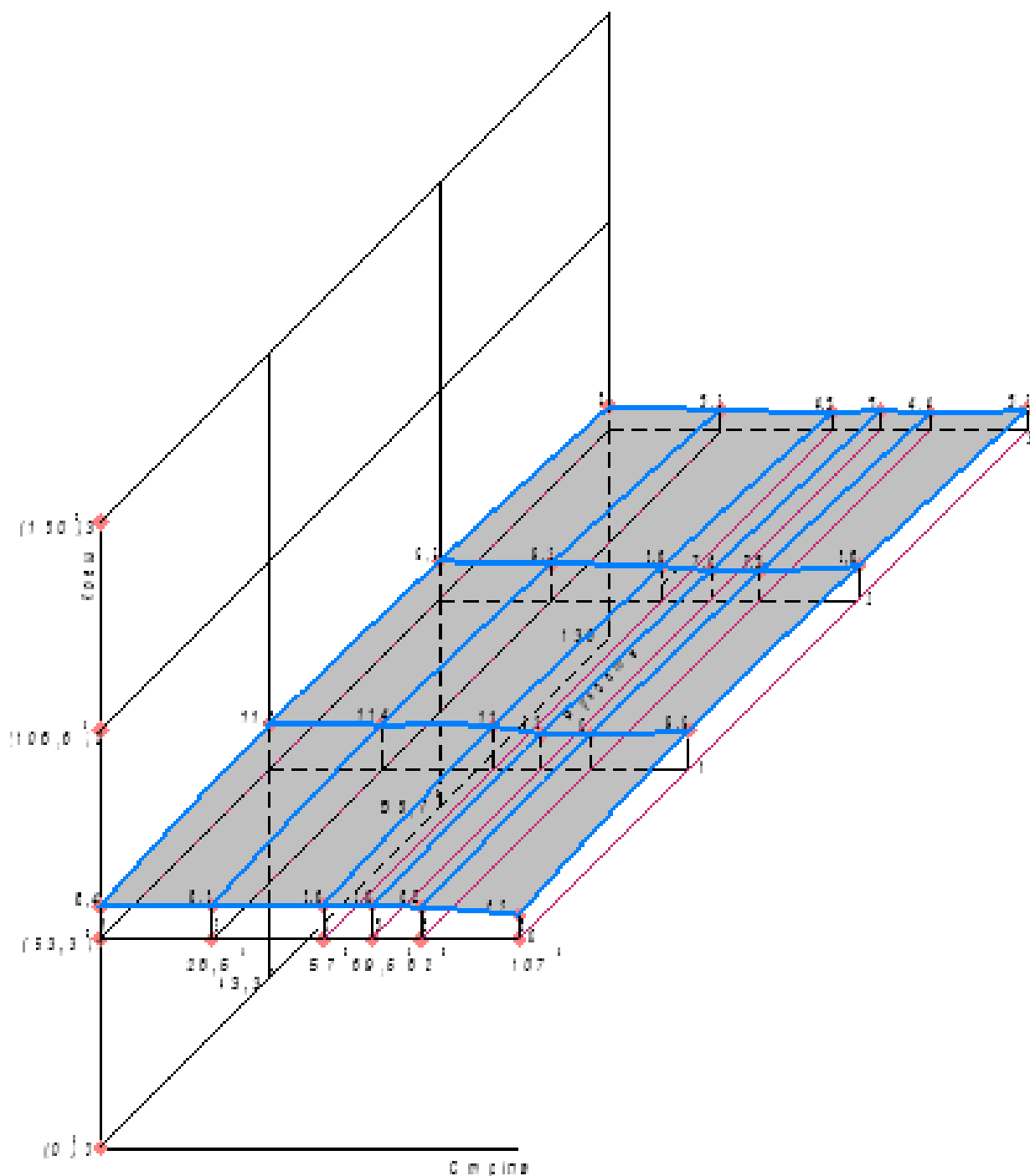


Рис. 1.29. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 5, 2-й рівень)

Для варіанту 5 і 2-го рівня значення реакцій також в межах 4...8 кН.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

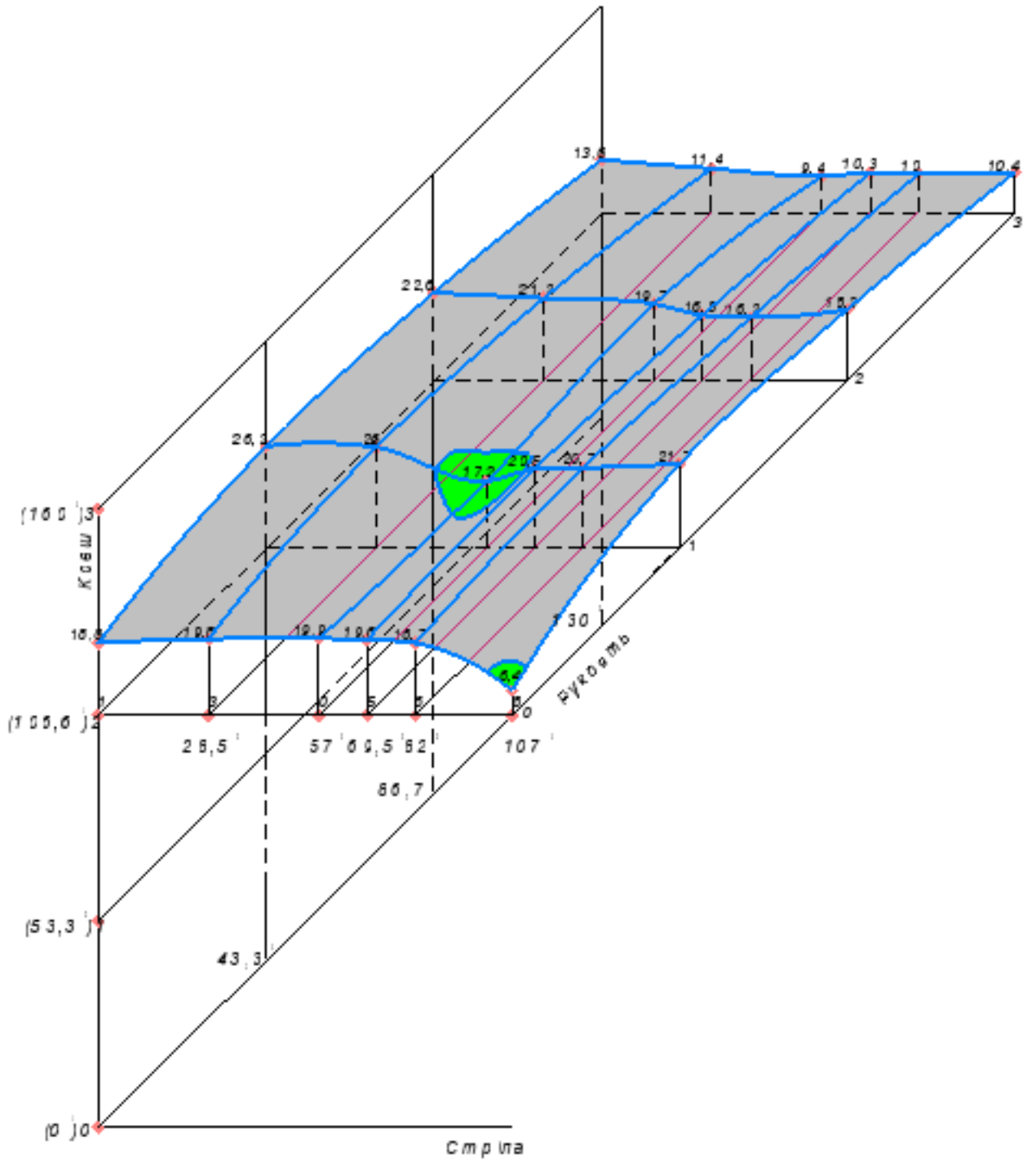


Рис. 1.30. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 5, 3-й рівень)

Для варіанту 5 і 3-го рівня значення реакцій в межах 10...20 кН.

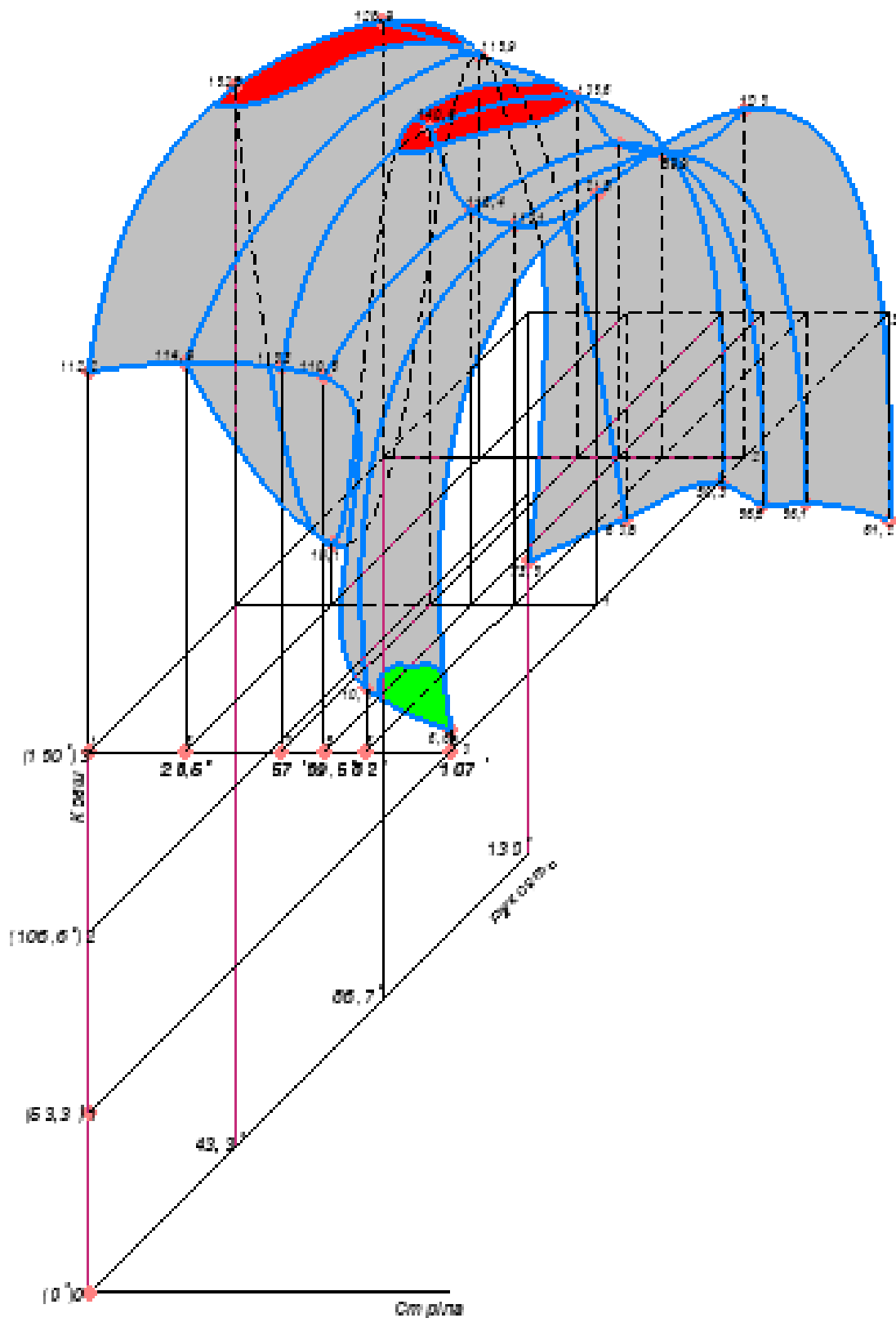


Рис. 1.31. Реакції в шарнірах робочого обладнання (варіант 5, 4-й рівень)

Для варіанту 5 і 4-го рівня найбільше значення реакції 152 кН при куті повороту стріли 0° , рукояті – 43° , ковша – 150° .

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

1.5. Висновки за розділом

В результаті проведених побудов отримані графіки (рис. 1.12 – 1.31) для отримання поверхні, що ілюструє характер розподілу залежності реакцій в шарнірах робочого обладнання від положення його елементів.

Для побудови графіків прийнятий тривимірний простір. Із усіх положень стріли, рукояті і ковша вибрані декілька найбільш характерних для спрощення розрахунку і побудови. Тобто, для стріли – положення $0...107^{\circ}$, для рукояті – $0...130^{\circ}$, і для ковша – $0...160^{\circ}$.

Для побудови графіків використані попередньо отримані реакції. Для зручності сприйняття інформації при побудові графіків скористалися принципом підйому сітки рівня початкового відліку до відповідного положення, наприклад, ковша.

На графіках максимум та мінімум значень реакцій відмічені в основній координатній сітці відповідно червоними та чорними точками.

Отримані графіки показують загальний характер розподілу відповідних реакцій по поверхнях і на них, можна вказати зони впливу максимальних (червоний колір) та мінімальних (зелений) реакцій на елементи робочого обладнання.

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

2. ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ

2.1. Визначення навантажень металоконструкції стріли

Скориставшись даними попередніх розрахунків щодо визначення залежності сили P_{01} від кута повороту ковша (рис. 2.1) визначимо реакцію в тязі механізму керування ковшем, як початкову і необхідну для визначення інших реакцій в металоконструкції стріли.

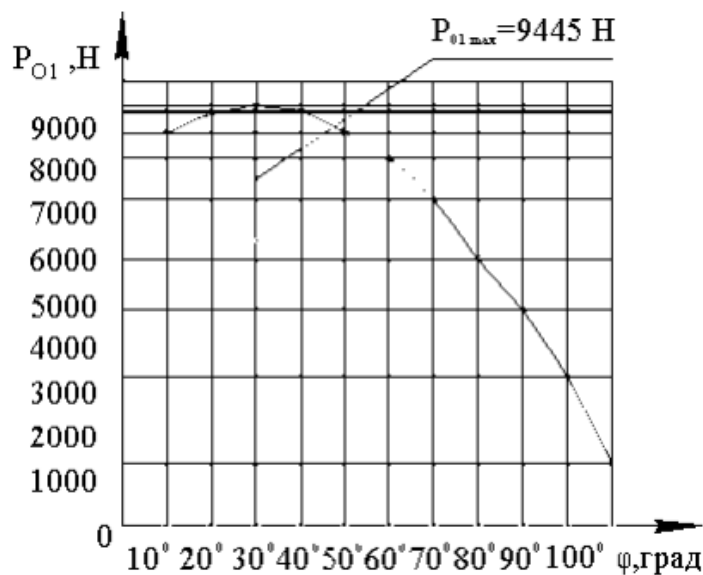


Рис. 2.1. Графік залежності сили P_{01} від кута повороту ковша

За сумою моментів відносно точки O_1 знаходимо зусилля вздовж тяги:

$$\sum M_{01} = 0. \quad (2.1)$$

Після підстановки пліч і зусиль в буквенному вигляді, отримуємо:

$$\sum M_{01} = G_{KT} \cdot l_{G_{KT}} + P_{01} \cdot R - R_T \cdot l_{R_T} = 0;$$

Виразивши із рівняння (2.1) реакцію в тязі R_T , отримуємо її значення:

$$R_T = \frac{9445 \cdot 0,7 - 900 \cdot 0,1122}{0,2837} \approx 22950 \text{ Н.}$$

Реакції R_{O1} , R_B , R_O , R_C в шарнірах робочого обладнання по величині та напрямку визначаємо графічним методом.

Отримуємо: $R_{O1} = 27885 \text{ Н}$; $R_B = 54325 \text{ Н}$; $R_O = 50165 \text{ Н}$; $R_C = 31610 \text{ Н}$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

2.2. Розрахунок на міцність елементів робочого обладнання

Вихідними даними є раніше виконані розрахунки по визначенню геометричних параметрів і навантажень в шарнірах робочого обладнання.

2.2.1. Розрахунок металоконструкції стріли

Стріла знаходиться в крайньому нижньому положенні (див. рис. 1.2).

На стрілу діють такі навантаження:

$R_C = 31610 H$ - реакція у шарнірі стійки платформи і п'яти стріли;

$R_O = 50165 H$ - реакція у шарнірі з'єднання;

$F_{шт}^{HC} = 70650 H$ - штокове зусилля у гідроциліндрі стріли;

$G_C = 1220 H$ - вага стріли; $G_{HC} = 267 H$ - вага гідроциліндра стріли;

$G_{цр} = 182,4 H$ - вага гідроциліндра рукояті.

Для розрахунку поперечних сил і моментів складаю рівняння:

$$\underline{0 \leq x_1 \leq 0,3477 \text{ м;}}$$

$$Q(x) = -R_C \cdot \cos 83^\circ 45';$$

$$M(x) = -R_C \cdot \cos 83^\circ 45' \cdot x_1.$$

$$Q(0) = Q(0,3477) = -31650 \cdot \cos 83^\circ 45' = -15095 H;$$

$$M(0) = 0;$$

$$M(0,3477) = -31610 \cdot \cos 83^\circ 45' \cdot 0,3477 = 5250 \text{ Нм.}$$

$$\underline{0,3477 \text{ м} \leq x_2 \leq 0,9595 \text{ м;}}$$

$$Q(x) = -R_C \cdot \cos 83^\circ 45' - G_{HC} \cdot \cos 38^\circ 49';$$

$$M(x) = -R_C \cdot \cos 83^\circ 45' \cdot x_2 - G_{HC} \cdot \cos 38^\circ 49' \cdot (x_2 - 0,3477) + M_1,$$

де $M_1 = G_{HC} \cdot \sin 38^\circ 49' \cdot l_5 = 267 \cdot \sin 38^\circ 49' \cdot 0,1386 = 33,3 \text{ Нм.}$

$$Q(0,3477) = Q(0,9595) = -31610 \cdot \cos 83^\circ 45' - 267 \cdot \cos 38^\circ 49' = 14980 H;$$

$$M(0,3477) = -31610 \cdot \cos 83^\circ 45' \cdot 0,3477 + 33,3 = 5280 \text{ Нм;}$$

$$M(0,9595) = -31610 \cdot \cos 83^\circ 45' \cdot 0,9595 - 267 \cdot \cos 38^\circ 49' \cdot (0,9595 - 0,3477) + 33,3 = 14445 \text{ Нм.}$$

$$\underline{0,9595 \text{ м} \leq x_3 \leq 1,3969 \text{ м;}}$$

					ДІП.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$Q(x) = -R_C \cdot \cos 83^{\circ} 45' - G_{\text{ЦС}} \cdot \cos 38^{\circ} 49' - F_{\text{ШТ}}^{\text{ЦС}} \cdot \cos 87^{\circ} 3' - G_C \cdot \cos 38^{\circ} 49';$$

$$Q(0,9595) = Q(1,3969) = -31610 \cdot \cos 83^{\circ} 45' - 267 \cdot \cos 38^{\circ} 49' - 70650 \cdot \cos 87^{\circ} 3' - \\ - 1220 \cdot \cos 38^{\circ} 49' = -28660 \text{ Н};$$

$$M(x) = -R_C \cdot \cos 83^{\circ} 45' \cdot x_3 - G_{\text{ЦС}} \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (x_3 - 0,3477) + M_1 + M_2 - F_{\text{ШТ}}^{\text{ЦС}} \cdot \cos 87^{\circ} 3' \cdot (x_3 - 0,9595) - \\ - G_C \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (x_3 - 0,9595),$$

де $M_2 = F_{\text{ШТ}}^{\text{ЦС}} \cdot \sin 87^{\circ} 3' \cdot l_6 = 70650 \cdot \sin 87^{\circ} 3' \cdot 0,11 = -6160 \text{ Нм}$.

$$M(0,9595) = -31610 \cdot \cos 83^{\circ} 45' \cdot 0,9595 - 267 \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (0,9595 - 0,3477) + 33,3 + (-6160) = 8285 \text{ Нм};$$

$$M(1,3969) = -31610 \cdot \cos 83^{\circ} 45' \cdot 1,3969 - 267 \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (1,3969 - 0,3477) + 33,3 + (-6160) - \\ - 70650 \cdot \cos 87^{\circ} 3' \cdot (1,3969 - 0,9595) - 1220 \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (1,3969 - 0,9595) = -4250 \text{ Нм}.$$

$$\underline{1,3969 \text{ м} \leq x_4 \leq 1,875 \text{ м};}$$

$$Q(x) = -R_C \cdot \cos 83^{\circ} 45' - G_{\text{ЦС}} \cdot \cos 38^{\circ} 49' - F_{\text{ШТ}}^{\text{ЦС}} \cdot \cos 87^{\circ} 3' - G_C \cdot \cos 38^{\circ} 49' - G_{\text{ЦР}} \cdot \cos 38^{\circ} 50';$$

$$Q(1,3969) = Q(1,875) = -31610 \cdot \cos 83^{\circ} 45' - 267 \cdot \cos 38^{\circ} 49' - 70650 \cdot \cos 87^{\circ} 3' - 1220 \cdot \cos 38^{\circ} 49' - \\ - 182,4 \cdot \cos 38^{\circ} 50' = 28740 \text{ Н};$$

$$M(x) = -R_C \cdot \cos 83^{\circ} 45' \cdot x_4 - G_{\text{ЦС}} \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (x_4 - 0,3477) + M_1 + M_2 - F_{\text{ШТ}}^{\text{ЦС}} \cdot \cos 87^{\circ} 3' \cdot (x_4 - 0,9595) - \\ - G_C \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (x_4 - 0,9595) + M_3 - G_{\text{ЦР}} \cdot \cos 38^{\circ} 50' \cdot (x_4 - 1,3969);$$

де $M_3 = G_{\text{ЦР}} \cdot \sin 38^{\circ} 50' \cdot l_7 = 182,4 \cdot \sin 38^{\circ} 50' \cdot 0,1512 = 25 \text{ Нм}$.

$$M(1,3969) = -31610 \cdot \cos 83^{\circ} 45' \cdot 1,3969 - 267 \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (1,3969 - 0,3477) + 33,3 + (-6160) -$$

$$- 70650 \cdot \cos 87^{\circ} 3' \cdot (1,3969 - 0,9595) - 1220 \cdot \cos 38^{\circ} 49' \cdot (1,3969 - 0,9595) + 25 = -4225 \text{ Нм};$$

$$M(1,875) = 0.$$

За визначеними величинами поперечних сил і моментів будуємо епюри (рис. 2.2). Найбільший згинальний момент складає $M_{\text{зг}} = 14445 \text{ Нм}$.

Для визначення геометричних характеристик перерізу необхідно розробити його конструкцію.

Стріла буде виконана зварною із листової сталі 40. Приймаю для стріли форму поперечного перерізу – тонкостінний квадрат.

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

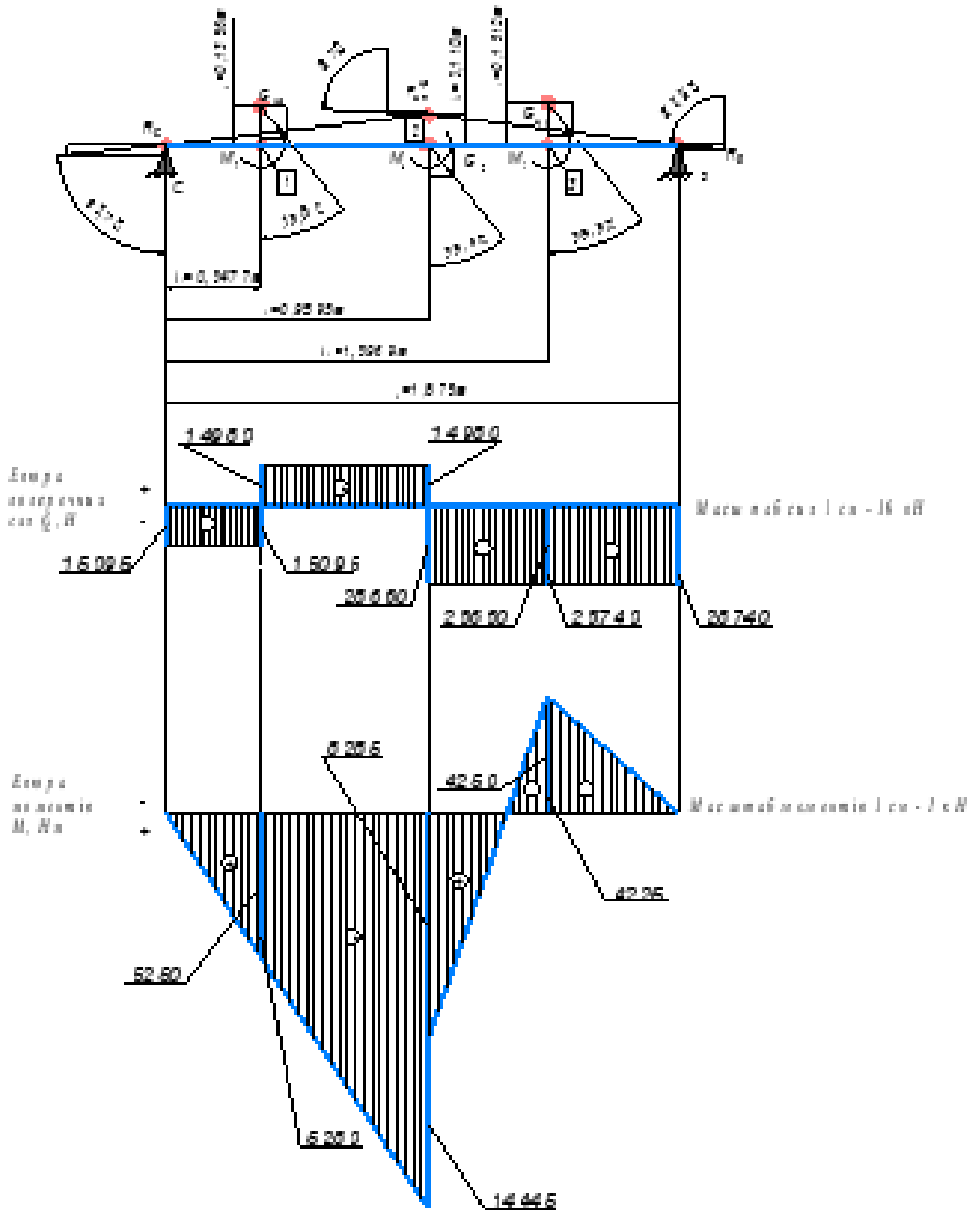


Рис. 2.2. Розрахункова схема стріли

Також поперечний переріз може бути виготовлений із стандартних елементів – сортамента – швелер, кутник. Оскільки форма поперечного перерізу –

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

тонкостінний квадрат, то сторона квадрата дорівнює B , товщина стінки S , причому розмір B включає в себе розмір S .

Можна також прийняти форму поперечного перерізу стріли – стрижень перемінного перерізу, відповідно до того в якому перерізі буде найбільше навантаження, там будуть і більші геометричні розміри.

Вид і форма поперечного перерізу буде впливати тільки на тривалість часу збирання робочого обладнання (стріли), а не на висоту стінки або товщину.

Приймаю товщину стінки $s = 5$ мм.

Основні характеристики сталі - $[\sigma_T] \geq 460$ МПа, $[\sigma_B] = 650..800$ МПа.

Так як виробничий процес копання ґрунту супроводжується значними коливаннями навантаження – ривок (наприклад, якщо на шляху зуба ковша з'являється перешкода), тобто характер процесу – динамічний, то для підбору поперечних перерізів робочих органів необхідно задатися динамічним коефіцієнтом запасу $k_{дин}$, який повинен знаходитися в межах $k_{дин} = 2..3$.

Призначаємо динамічний коефіцієнт запасу міцності $k_{дин} = 2$.

Тоді робоче напруження дорівнює:

$$\sigma_{роб} = \frac{[\sigma_T]}{k_{дин}} = \frac{460}{2} = 230 \text{ МПа.} \quad (2.1)$$

З іншої сторони $\sigma_{роб} = \frac{M_{зг}}{W}$. (2.2)

Із формули (2.2): $W_{потр} = \frac{14445}{0,23 \cdot 10^9} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$.

З іншого боку для тонкостінного квадрата момент опору дорівнює:

$$W_x = W_y = \frac{4}{3} \cdot B^2 \cdot s. \quad (2.3)$$

Виражаю із формули (2.3) B :

$$B = \sqrt{\frac{3 \cdot 6,3 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} = 0,097 \text{ м.}$$

Приймаю $B = 100$ мм.

Уточнюю значення:

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{PEAL} = \frac{4}{3} \cdot 0,1^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

$$\sigma_{PEAL} = \frac{14445}{6,7 \cdot 10^{-5}} = 215597015 \frac{H}{\text{м}^2} = 215 \text{ МПа} < [\sigma_T];$$

Динамічний коефіцієнт запасу міцності:

$$k_{дин} = \frac{[\sigma_T]}{\sigma_{PEAL}} = \frac{460}{215} = 2,14. \quad (2.4)$$

2.2.2. Розрахунок металоконструкції рукояті

Рукоять знаходиться в положенні, при якому дотичні зусилля максимальні.

На рукоять діють такі навантаження:

$R_{01} = 22885 \text{ Н}$ - реакція у шарнірі кріплення ковша до рукояті;

$R_o = 50165 \text{ Н}$ - реакція у шарнірі кріплення рукояті до стріли;

$F_{шт}^{HP} = 31400 \text{ Н}$ - штокове зусилля гідроциліндра рукояті;

$G_{цк} = 1824 \text{ Н}$ - вага гідроциліндра ковша;

$R_B = 54325 \text{ Н}$ - реакція у шарнірі кріплення важеля;

$G_p = 350 \text{ Н}$ - вага рукояті.

Для розрахунку поперечних сил і моментів складаю рівняння:

$$\underline{0 \leq x_1 \leq 0,2 \text{ м};}$$

$$Q(x) = F_{шт}^{HP}; \quad Q(0) = Q(0,2) = 31400 = 31400 \text{ Н};$$

$$M(x) = F_{шт}^{HP} \cdot x_1. \quad M(0) = 0; \quad M(0,2) = 31400 \cdot 0,2 = 6280 \text{ Нм}.$$

$$\underline{0,2 \text{ м} \leq x_2 \leq 0,3715 \text{ м};}$$

$$Q(x) = F_{шт}^{HP} - R_o \cdot \sin 54^{\circ}16'; \quad Q(0) = Q(0,3715) = 31400 - 50164 \cdot \sin 54^{\circ}16' = -9320 \text{ Н};$$

$$M(x) = M_1 + F_{шт}^{HP} \cdot x_2 - R_o \cdot \sin 54^{\circ}16' \cdot x_2,$$

$$\text{де } M_1 = F_{шт}^{HP} \cdot l_1 = 31400 \cdot 0,2 = 6280 \text{ Нм}.$$

$$M(0,2) = 31400 \cdot 0,2 = 6280 \text{ Нм};$$

$$M(0,3715) = 6280 + 31400 \cdot 0,3715 - 50164 \cdot \sin 54^{\circ}16' \cdot 0,3715 = 2820 \text{ Нм}.$$

$$\underline{0,3715 \text{ м} \leq x_3 \leq 0,5087 \text{ м};}$$

						ДІПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
							58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$Q(x) = F_{III}^{IP} - R_0 \cdot \sin 54^0 16' + G_{IIK} \cdot \cos 80^0 7';$$

$$Q(0,3715) = Q(0,5087) = 31400 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' + 182,4 \cdot \cos 80^0 7' = -9290 \text{ H};$$

$$M(x) = M_1 + F_{III}^{IP} \cdot x_3 - R_0 \cdot \sin 54^0 16' \cdot x_3 + M_2 + G_{IIK} \cdot \cos 80^0 7' \cdot (x_3 - 0,3715),$$

де $M_2 = G_{IIK} \cdot l_2 = 182,4 \cdot 0,1388 = 25,3 \text{ Hм.}$

$$M(0,3715) = 6280 + 314000 \cdot 0,3715 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' \cdot 0,3715 = 2820 \text{ Hм.}$$

$$M(0,5087) = 6280 + 314000 \cdot 0,5087 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' \cdot 0,5087 + \\ + 25,3 \cdot \cos 80^0 7' \cdot (0,5087 - 0,3715) = 1540 \text{ Hм.}$$

$$\underline{0,5087 \text{ м} \leq x_4 \leq 0,8326 \text{ м};}$$

$$Q(x) = F_{III}^{IP} - R_0 \cdot \sin 54^0 16' + G_{IIK} \cdot \cos 80^0 7' + G_p \cdot \cos 80^0 7';$$

$$Q(0,5087) = Q(0,8326) = 31400 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' + 182,4 \cdot \cos 80^0 7' + 350 \cdot \cos 80^0 7' = -9160 \text{ H};$$

$$M(x) = M_1 + F_{III}^{IP} \cdot x_4 - R_0 \cdot \sin 54^0 16' \cdot x_4 + M_2 + G_{IIK} \cdot \cos 80^0 7' \cdot (x_4 - 0,3715) + \\ + G_p \cdot \cos 80^0 7' \cdot (x_4 - 0,5087);$$

$$M(0,5087) = 6280 + 314000 \cdot 0,5087 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' \cdot 0,5087 + \\ + 25,3 \cdot \cos 80^0 7' \cdot (0,5087 - 0,3715) = 1540 \text{ Hм.}$$

$$M(0,8326) = 6280 + 314000 \cdot 0,5087 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' \cdot 0,5087 + 25,3 \cdot \cos 80^0 7' \cdot (0,5087 - 0,3715) + \\ + 350 \cdot \cos 80^0 7' \cdot (0,8326 - 0,5087) = 1560 \text{ Hм.}$$

$$\underline{0,8326 \text{ м} \leq x_5 \leq 1,02 \text{ м};}$$

$$Q(x) = F_{III}^{IP} - R_0 \cdot \sin 54^0 16' + G_{IIK} \cdot \cos 80^0 7' + G_p \cdot \cos 80^0 7' - R_B \cdot \cos 83^0 6';$$

$$Q(0,8326) = Q(1,02) = 31400 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' + 182,4 \cdot \cos 80^0 7' + 350 \cdot \cos 80^0 7' - \\ - 54325 \cdot \cos 83^0 6' = -15685 \text{ H};$$

$$M(x) = M_1 + F_{III}^{IP} \cdot x_5 - R_0 \cdot \sin 54^0 16' \cdot x_5 + M_2 + G_{IIK} \cdot \cos 80^0 7' \cdot (x_5 - 0,3715) + \\ + G_p \cdot \cos 80^0 7' \cdot (x_5 - 0,5087) - R_B \cdot \cos 83^0 6' \cdot (x_5 - 0,8326);$$

$$M(0,8326) = 6280 + 314000 \cdot 0,5087 - 50164 \cdot \sin 54^0 16' \cdot 0,5087 + 25,3 \cdot \cos 80^0 7' \cdot (0,5087 - 0,3715) + \\ + 350 \cdot \cos 80^0 7' \cdot (0,8326 - 0,5087) = 1560 \text{ Hм.}$$

$$M(1,020) = 0.$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

За визначеними величинами поперечних сил і моментів будуюмо епюри (рис. 2.3). Найбільший згинальний момент складає $M_{зг} = 6280 \text{ Нм}$.

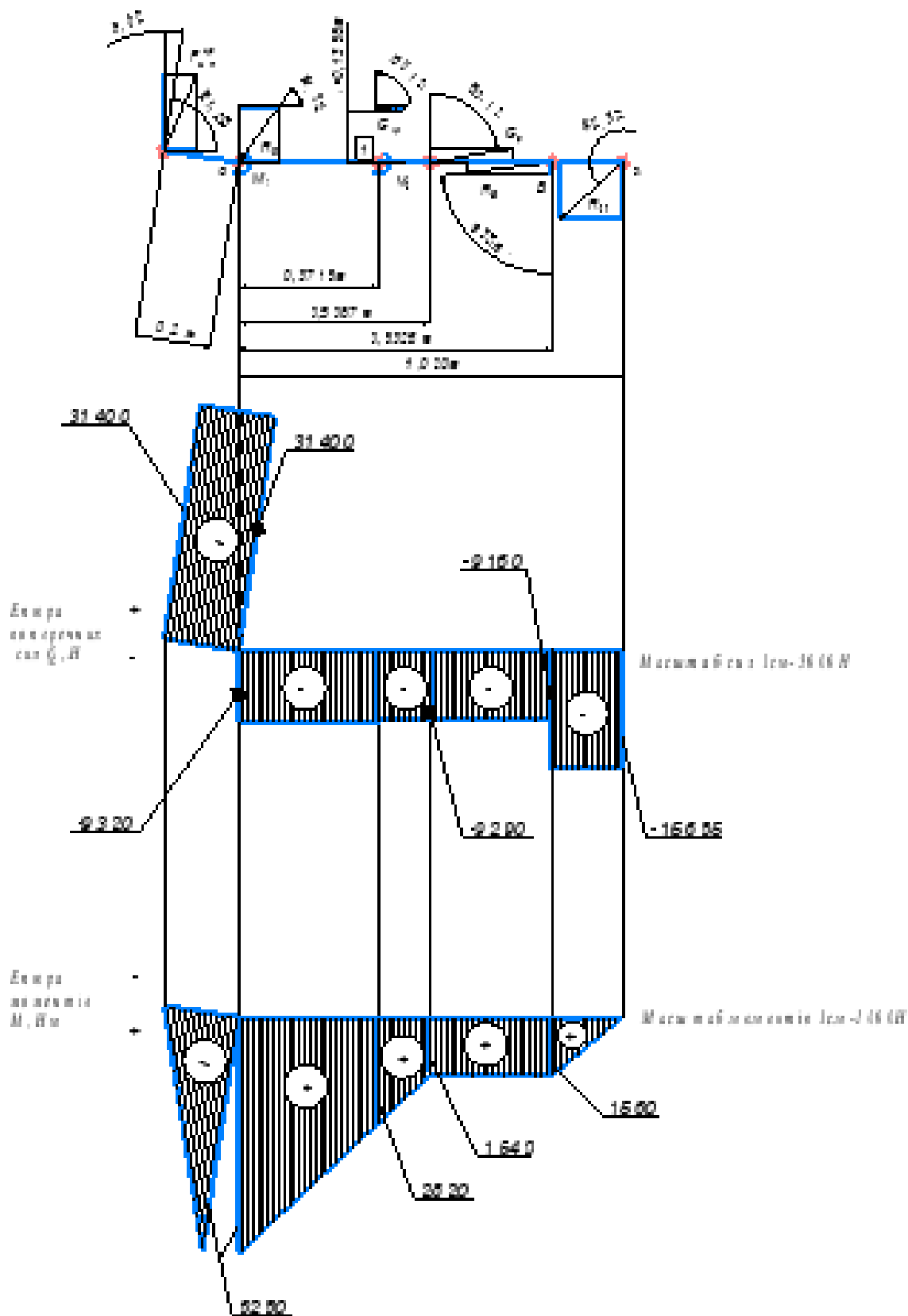


Рис. 2.3. Розрахункова схема стріли

					ДІП.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Рукоять буде виконана зварною із листової сталі 40. Приймаємо для рукояті форму поперечного перерізу – тонкостінний квадрат.

Призначаємо товщину стінки $s = 5$ мм.

Основні характеристики сталі – $[\sigma_T] \geq 460$ МПа, $[\sigma_B] = 650..800$ МПа.

Робоче навантаження із врахуванням динамічного коефіцієнта запасу за формулою (2.1):

$$\sigma_{РОБ} = \frac{460}{2} = 230 \text{ МПа.}$$

Із формули (2.2):

$$W_{ПОТР} = \frac{6280}{0,23 \cdot 10^9} = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Із формули (2.3):

$$B = \sqrt{\frac{3 \cdot 2,7 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} = 0,064 \text{ м.}$$

Приймаю $B = 65$ мм.

Реальні значення моменту опору та робочого напруження:

$$W_{РЕАЛ} = \frac{4}{3} \cdot 0,065^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

$$\sigma_{РЕАЛ} = \frac{6280}{2,8 \cdot 10^{-5}} = 224285714 \frac{Н}{\text{м}^2} = 224 \text{ МПа};$$

За формулою (2.4):

$$k_{ДИН} = \frac{460}{224} = 2,05.$$

2.2.3. Розрахунок металоконструкції ковша

Сили, що враховуються при розрахунку металоконструкції ковша:

$R_T = 22950$ Н - реакція у тязі ковша;

$P_{01} = 9445$ Н - дотичне зусилля при копанні поворотом ковша.

Складаємо рівняння:

$$0 \leq x_1 \leq 0,7 \text{ м;}$$

$$Q(x) = P_{01}; \quad Q(0) = Q(0,700) = 9445 \text{ Н;}$$

						ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			61

2.2.4. Розрахунок на міцність пальців шарнірів кріплення стріли, рукояті

та ковша

На початку розрахунку приймаємо матеріал для пальців – сталь 45, термообробка – нормалізація, допустиме напруження на зрізання $[\tau_{зр}] = 85 \text{ МПа}$.

Вид навантаження – змінне, що діє від нуля до максимуму і від максимуму до нуля (пульсуюче). Для такого випадку приймаємо динамічний коефіцієнт запасу міцності $k_{дин} = 2..$ Конструктивна схема шарнірного з'єднання на рисунку 2.4.

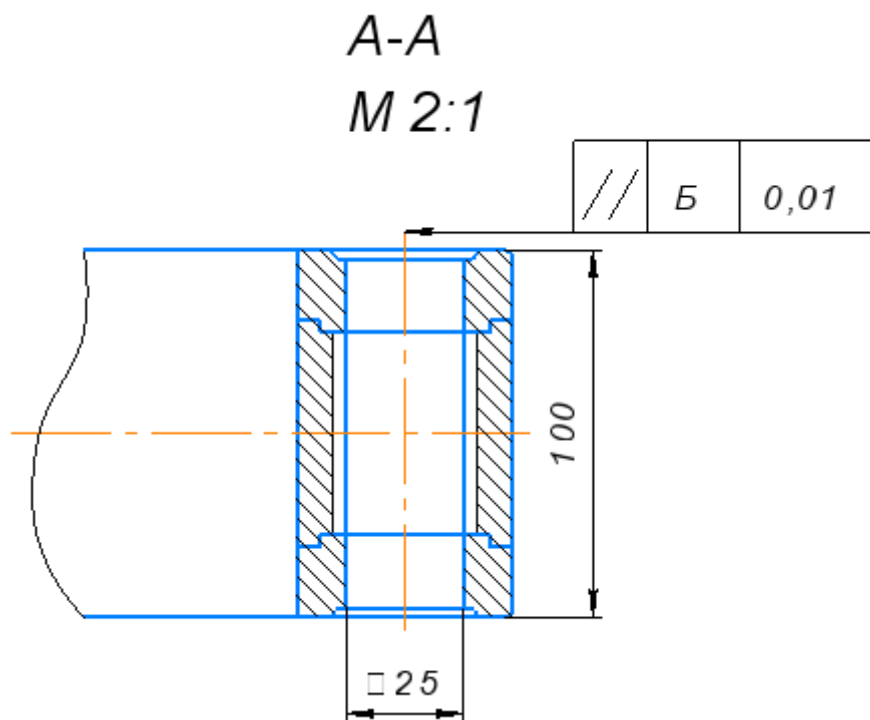


Рис. 2.4. Конструктивна схема шарніра стріли

Дана конструкція шарніру використовується у всіх вузлах з'єднання.

Матеріал для втулок – бронза БрО4Ц4С17, у якої напруження $[\sigma_p] = 180 \text{ МПа}$. Тому пальці виконують функцію деталей спеціального зношення, і будуть потребувати частішої заміни (ремонт).

Оскільки зазори $z = 1 \text{ мм}$ невеликі, то пальці шарнірів кріплення будуть працювати на зрізання. Крім того, при розрахунку на зрізання будемо перестраховуватись, тому що матеріал працює на зрізання гірше, ніж на зминання.

Вихідні дані для розрахунку на міцність шарніру кріплення ковша до рукояті:

$$R_{o_1} = 22890 \text{ Н}.$$

За формулою (2.6): $d_{o_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot 22890}{3,14 \cdot 0,0425 \cdot 10^9}} = 0,0185 \text{ м}.$

Приймаємо $d_{o_1} = 0,02 \text{ м}.$

Реакція в шарнірі кріплення тяги двоплечого важеля до ковша становить $R_T = 22950 \text{ Н}.$

Діаметр пальця за формулою (2.6): $d_T = \sqrt{\frac{2 \cdot 22950}{3,14 \cdot 0,0425 \cdot 10^9}} = 0,0185 \text{ м}.$

Приймаємо $d_T = 0,02 \text{ м}.$

2.2.5. Розрахунок на міцність провущин стріли, рукояті та ковша

Розрахунок на міцність провущин розпочинаю із підбору матеріалу. Рекомендований матеріал – сталь 35 з припустимим напруженням при розтягу $[\sigma_p] = 490 \text{ МПа}$, товщина пластини $\delta = 4 \text{ мм}.$

Оскільки робота екскаватора супроводжується динамічними навантаженнями, то приймаємо коефіцієнт запасу міцності $K_{дин} = 2.$

Тоді робоче напруження буде дорівнювати:

$$\sigma_{роб} = \frac{[\sigma_p]}{k_{дин}} = \frac{490}{2} = 245 \text{ МПа}. \quad (2.9)$$

Ковш кріпиться до робочого обладнання екскаватора за провущини, в яких знаходяться небезпечні перерізи А-А, Б-Б, В-В і Г-Г (рис. 2.5). Тому необхідно знайти їх ширину та перевірити на міцність при деформаціях розриву.

Лінії, вздовж яких діють сили R_{o_1} та R_T , і відповідно їх реакції, направлені під кутом до розрахункових перерізів. Тому для спрощення розрахунків напрямки дії сил залишаємо у початковому (вихідному) положенні та приймаємо товщини стінок провущин однаковими для перерізів А-А, Б-Б, Д-Д та В-В, Г-Г, Причому, знайдені товщини стінок по вище вказаним перерізам будуть забезпечувати запас міцності для товщин на заокругленнях провущин.

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

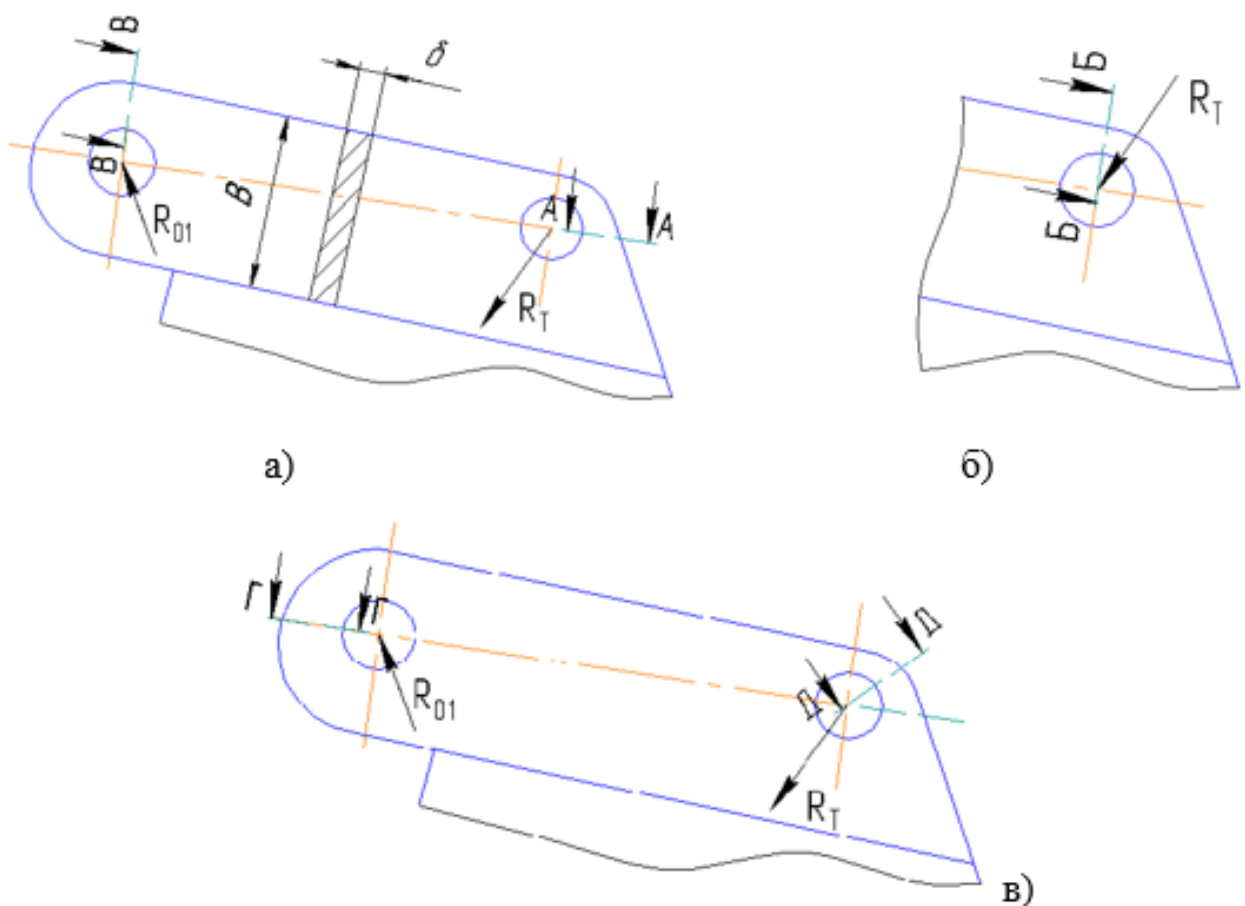
Перший небезпечний переріз знаходиться в місці кріплення тяги двоплечого важеля до ковша. Прикладене навантаження діє уздовж тяги і дорівнює $R_T = 22950 \text{ Н}$.

Розраховуємо небезпечний переріз А-А (рис. 2.5, а), а також перевіряємо на міцність провущину в перерізі Б-Б (рис. 2.5, б) та Д-Д (рис. 2.5, в).

Ширина провущини:

$$B_T = (2 \dots 2,5) \cdot d_T = (2 \dots 2,5) \cdot 0,02 = 0,04 \dots 0,05 \text{ м.} \quad (2.10)$$

Виходячи із необхідності забезпечення достатньої ширини провущини та виконання умови міцності матеріалу на розрив приймаємо ширину провущини $B_T = 0,05 \text{ м}$.



а) перерізи А-А, В-В; б) переріз Б-Б; в) перерізи Г-Г, Д-Д;

Рис. 2.5. Небезпечні перерізи провущини ковша

Напруження в перерізі А-А дорівнює напруженню в перерізі Б-Б:

$$\sigma_A = \sigma_B = \frac{R_T}{2 \cdot (B_T - d_T) \cdot \delta} = \frac{22950}{2 \cdot (0,05 - 0,02) \cdot 0,004} \approx 95 \text{ МПа}, \quad (2.11)$$

де δ - товщина пластини, $\delta = 0,004 \text{ м}$.

Наступний переріз (рис. 2.5) знаходиться у місці кріплення ковша до рукояті – точка O_1 на кресленні по визначенню максимальних навантажень на робоче обладнання. Розрахунок міцності проводимо у перерізах В-В і Г-Г. Реакція в шарнірі складає $R_{O_1} = 22890 \text{ Н}$.

Ширина провухини B_{O_1} за формулою (2.9):

$$B_{O_1} = (2 \dots 2,5) \cdot d_{O_1} = (2 \dots 2,5) \cdot 0,02 = 0,04 \dots 0,05 \text{ м}.$$

Приймаємо $B_{O_1} = 0,05 \text{ м}$.

За (2.10) напруження в перерізі В-В:

$$\sigma_B = \frac{R_{O_1}}{2 \cdot (B_{O_1} - d_{O_1}) \cdot \delta} = \frac{22890}{2 \cdot (0,05 - 0,02) \cdot 0,004} \approx 95 \text{ МПа}.$$

Провухина розглядається як товстостінний циліндр, який навантажений зсередини тиском:

$$p_\Gamma = \frac{R_{O_1}}{2 \cdot \delta \cdot d_{O_1}} = \frac{22890}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,02} \approx 143 \text{ МПа}. \quad (2.12)$$

В такому разі найбільші напруження мають бути на внутрішніх поверхнях провухини і розраховуються за формулою:

$$\sigma_\Gamma = p_\Gamma \frac{B_{O_1}^2 + d_{O_1}^2}{B_{O_1}^2 - d_{O_1}^2} = 143 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,05^2 + 0,02^2}{0,05^2 - 0,02^2} = 197 \text{ МПа}. \quad (2.13)$$

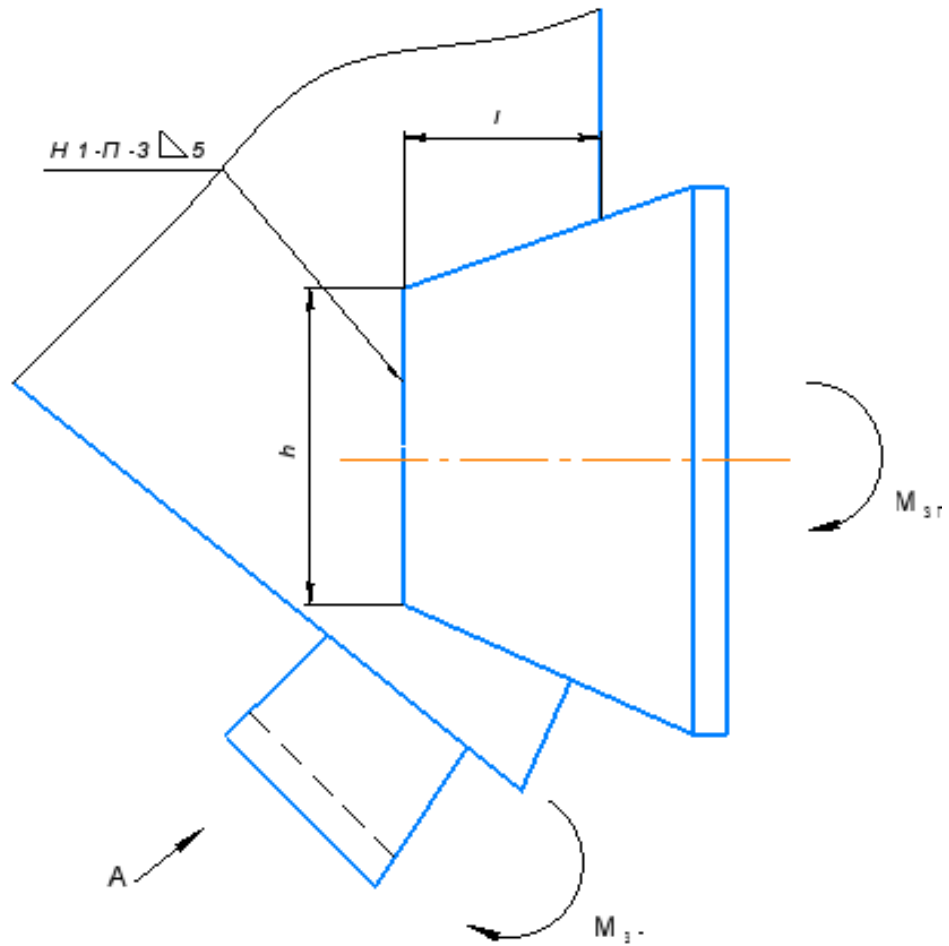
Порівнюючи із знайденим за формулою (2.9) $\sigma_{\text{роб}}$ можна зробити висновок, що умова міцності виконується.

2.2.6. Розрахунок зварних з'єднань

Розраховую зварні з'єднання металоконструкцій на зрізання. Перше – з'єднання бокових ножів із боковими листами ковша, а друге з'єднання – між ріжучими зубцями і задньою стінкою ковша (рис. 2.6).

Вихідні дані: матеріал – сталь 15, (загартований листовий прокат). Товщина листів $S = 6 \text{ мм}$. Допустиме напруження на розтягування $[\sigma_p] = 440 \text{ МПа}$. Для зварювання використовуються електроди марки Е42А.

					ДІПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67



Вид А повернуто

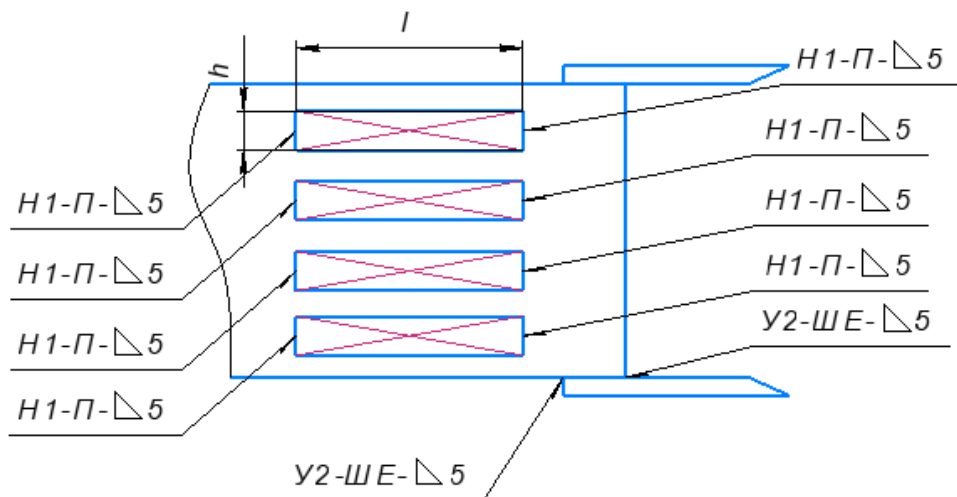


Рис. 2.6. Виконання зварних з'єднань бокових ножів та кронштейнів

Розраховуємо перше зварне з'єднання.

Вихідні дані: ширина сторони пластини $h = 0,11\text{ м}$, довжина $l = 0,07\text{ м}$.

Перевіряємо з'єднання на зрізання.

Визначаємо катет шва:

$$\kappa \leq 1,2 \cdot S = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (2.14)$$

Приймаємо величину катета шва $\kappa = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Найбільший згинальний момент на ріжучому краю ковша за попередніми розрахунками становить $M_{3Г} = 6610 \text{ Нм.}$

Визначаємо довжину кутових швів l , за допомогою яких кріпляться бокові ножі ковша.

При розрахунку міцності з'єднань, які складаються із декількох швів і працюють на згинання, згинальний момент $M_{3Г}$ врівноважується парою сил в горизонтальних швах і моментом защемлення вертикального шва:

$$M_{3Г} = \tau_{3Р} \cdot 0,7 \cdot \kappa \cdot l \cdot (h + \kappa) + \frac{0,7 \cdot \tau_{3Р} \cdot \kappa \cdot h^2}{6}. \quad (2.15)$$

Значення моменту, що діє на бокові ножі $M'_{3Г}$, знаходиться в межах 10...20% від основного $M_{3Г}$. Тому $M'_{3Г} = 0,2 \cdot 6610 \approx 1325 \text{ Нм.}$

Крім того, момент $M'_{3Г}$ розподіляється між двома бічними ножами. Отже, на кожен ніж припадає $\frac{1}{2} \cdot M'_{3Г} = \frac{1}{2} \cdot 1325 = 665 \text{ Нм.}$

Дотичне припустиме напруження:

$$[\tau_{3Р}] \approx 0,65 \cdot [\sigma_P] = 0,65 \cdot 440 = 286 \text{ МПа.} \quad (2.16)$$

Виразивши із формули (2.14) дотичне напруження, отримаємо:

$$\tau = \frac{M_{3Г}}{0,7 \cdot \kappa \cdot l \cdot (h + \kappa) + \frac{0,7 \cdot \kappa \cdot h^2}{6}} \leq [\tau_{3Р}]. \quad (2.17)$$

$$\text{Звідки } \tau = \frac{665}{0,7 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,07 \cdot (0,11 + 5 \cdot 10^{-3}) + \frac{0,7 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,11^2}{6}} \approx 189 \text{ МПа} < 286 \text{ МПа.}$$

Наступне зварне з'єднання – між ріжучими зубцями і задньою стінкою ковша.

Вихідні дані для розрахунку: ширина зубця $h = 0,035 \text{ м}$; величина катета шва $\kappa = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Згинальний момент від дотичного зусилля на різучому краю ковша складає 80% від основного $M_{зг} = 6610 \text{ Нм}$.

Тому для такого випадку: $M'_{зг} = 0,8 \cdot 6610 \approx 5288 \text{ Нм}$.

2.3. Розрахунок стійкості екскаватора при обладнанні зворотною лопатою

Стійкість екскаватора перевіряю за трьома розрахунковими положеннями.

Теоретична точка перекидання екскаватора A' знаходиться на середині лінії, яка проходить через зовнішню торцьову частину колеса і горизонтальну вісь опорної лапи. При розрахунку за точку перекидання призначаємо наближено точку A , яка знаходиться на торцьовій частині колеса. Проте дана розрахункова схема не буде помилковою, тому що точка A знаходиться на найменшій відстані від центру мас екскаватора, ніж точки A' чи A'' , і перекидний момент відносно неї буде найбільший, оскільки буде найбільшим плече його дії.

Тому, якщо в результаті розрахунку для точки A отримаємо, що коефіцієнт стійкості $k \geq 1,2$, то для точок A' та A'' значення коефіцієнта стійкості буде складати $k > 1,2$.

2.3.1. Перше розрахункове положення

Екскаватор знаходиться на горизонтальній площадці, платформа поперек ходової рами, стріла на повному вильоті, виконується копання на рівні стоянки циліндром повороту рукояті (рис. 2.7).

Момент сил, утримуючих екскаватор від перекидання, відносно точки A

$$M_{УТР} = G_{ПШ} \cdot l_{ПШ} + G_{ХЧ} \cdot l_{ХЧ} + G_{ЦС} \cdot l_{ЦС} + G_{ПРОТ} \cdot l_{ПРОТ}, \quad (2.18)$$

де $G_{ПШ}$, $G_{ХЧ}$, $G_{ПРОТ}$ - вага відповідно поворотної платформи з механізмами, ходової частини та противаги, H .

За формулою (2.18):

$$M_{УТР} = 357 \cdot 0,96 \cdot 10 + 120 \cdot 0,96 \cdot 10 + 26,7 \cdot 10 \cdot 0,195 + 46 \cdot 10 \cdot 3 \approx 6010 \text{ Нм}.$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

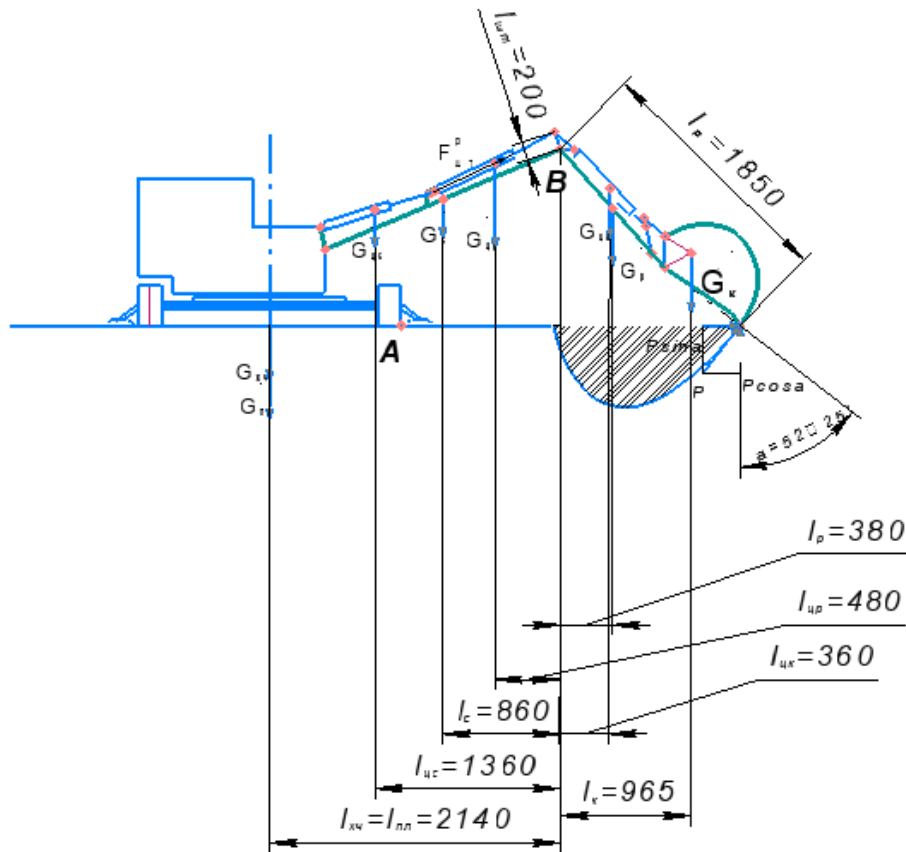


Рис. 2.7. Перше розрахункове положення для розрахунку стійкості

Перекидний момент:

$$M_{\text{ПЕР}} = G_C \cdot l_C + G_{\text{ЦР}} \cdot l_{\text{ЦР}} + G_{\text{ЦК}} \cdot l_{\text{ЦК}} + G_P \cdot l_P + G_K \cdot l_K - P \cdot \cos \alpha \cdot l_0. \quad (2.19)$$

Плечі сил та кут α вибираємо із розрахункової схеми, викресленої в масштабі. Зусилля P визначаємо із рівняння рівноваги моментів відносно шарніру В – шарніру кріплення рукояті до стріли при копанні поворотом рукояті з номінальним тиском у системі.

Момент сил відносно точки В:

$$\begin{aligned} \sum M_B = & -F_{\text{ШТ}}^P \cdot \rho + G_{\text{ХЧ}} \cdot l_{\text{ХЧ}} + G_{\text{ПЛ}} \cdot l_{\text{ПЛ}} + G_{\text{ЦС}} \cdot l_{\text{ЦС}} + G_{\text{ПРОТ}} \cdot l_{\text{ПРОТ}} + G_C \cdot l_C + G_{\text{ЦР}} \cdot l_{\text{ЦР}} - G_{\text{ЦК}} \cdot l_{\text{ЦК}} - \\ & - G_P \cdot l_P - G_K \cdot l_K + P \cdot l_{P+R}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Після підстановки чисельних значень параметрів у формулу (2.20):

$$\begin{aligned} \sum M_B = & -314000,2 + 120 \cdot 2,14 \cdot 10 + 357 \cdot 2,14 \cdot 10 + 26,7 \cdot 1,36 \cdot 10 + 46 \cdot 4,14 \cdot 10 + 122 \cdot 0,86 \cdot 10 + 18,24 \cdot 0,48 \cdot 10 - \\ & - 18,24 \cdot 0,36 \cdot 10 - 35 \cdot 0,38 \cdot 10 - 39 \cdot 0,965 \cdot 10 + P \cdot 1,85 = 0. \end{aligned}$$

$$P \approx 3650 \text{ Н}.$$

						ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			71

За формулою (2.19):

$$M_{\text{ПЕР}} = 122 \cdot 0,305 \cdot 10 + 18,24 \cdot 0,69 \cdot 10 + 26,7 \cdot 1,535 \cdot 10 + 35 \cdot 1,55 \cdot 10 + 39 \cdot 2,13 \cdot 10 - 3650 \cdot \cos 52^{\circ} 25' \cdot 2,465 \approx 3690 \text{ Нм}.$$

Коефіцієнт стійкості:

$$k = \frac{M_{\text{УТР}}}{M_{\text{ПЕР}}} = \frac{6010}{3690} = 1,63. \quad (2.21)$$

Отриманий коефіцієнт стійкості задовольняє умові стійкості, так як $k > 1,2$.

2.3.2. Друге розрахункове положення

Дане положення відповідає повороту платформи екскаватора, що знаходиться поперек рами, на вивантаження, ковш знаходиться на вильоті найбільшого радіуса вивантаження, підвернутий під рукоять (рис. 2.8). Ухил площадки та інерційні сили не враховуємо.

Момент сил, утримуючих екскаватор від перекидання, відносно точки А:

$$M_{\text{УТР}} = G_{\text{ПП}} \cdot l_{\text{ПП}} + G_{\text{ХЧ}} \cdot l_{\text{ХЧ}} + G_{\text{ЦС}} \cdot l_{\text{ЦС}} + G_{\text{ПРОТ}} \cdot l_{\text{ПРОТ}} = 250 \cdot 0,96 \cdot 10 + 120 \cdot 0,96 \cdot 10 + 26,7 \cdot 0,175 \cdot 10 + 46 \cdot 3 \cdot 10 \approx 6010 \text{ Нм}.$$

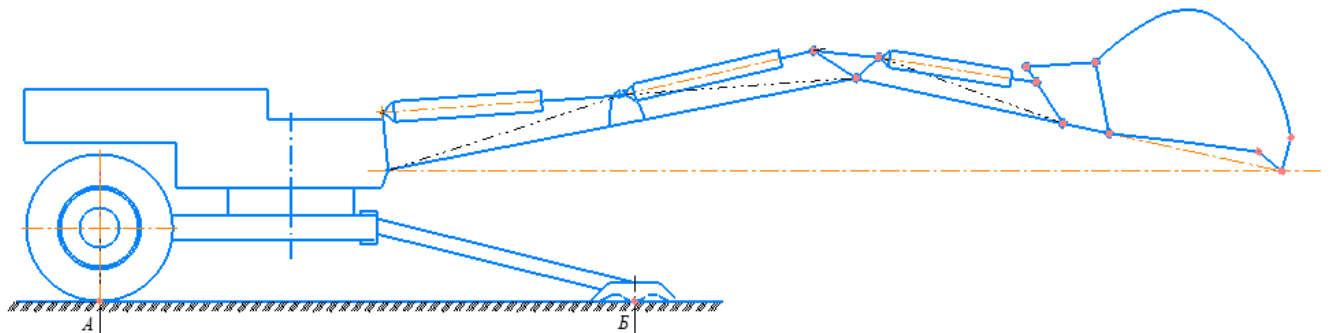


Рис. 2.8. Друге розрахункове положення для розрахунку стійкості

Перекидний момент:

$$M_{\text{ПЕР}} = G_C \cdot l_C + G_{\text{ЦР}} \cdot l_{\text{ЦР}} + G_{\text{ЦК}} \cdot l_{\text{ЦК}} + G_P \cdot l_P + G_{\text{КГ}} \cdot l_K = 122 \cdot 0,34 \cdot 10 + 18,24 \cdot 0,705 \cdot 10 + 35 \cdot 1,795 \cdot 10 + 26,7 \cdot 1,875 \cdot 10 + (50 + 39) \cdot 2,350 \cdot 10 \approx 6260 \text{ Нм}.$$

За формулою (2.21): $k = \frac{6010}{6260} = 0,96.$

Висновок – умова стійкості не виконується ($k < 1,2$), тому необхідно прийняти рішення по забезпеченню стійкого положення екскаватора. По-перше, для забезпечення мінімального значення коефіцієнта стійкості можна збільшити противагу (додаванням зйомних металевих пластин) або збільшити плече (виліт) її встановлення.

Для цього знайдемо необхідний утримуючий момент, підставляючи мінімальне значення коефіцієнта стійкості $k = 1,2$.

Виразивши із формули (2.81) утримуючий момент, маємо:

$$M'_{УТР} = k \cdot M_{ПЕР} = 1,2 \cdot 3765 = 4518 \text{ Н.}$$

Різниця між знайденим моментом утримуючих сил $M'_{УТР}$ і реальним становить:

$$\Delta M = M'_{УТР} - M_{УТР} = 4518 - 3600 = 918 \text{ Нм.} \quad (2.22)$$

Виліт дорівнює радіусу хвостової частини $l_{ПРОТ} = R_x = 2 \text{ м}$. Необхідна вага:

$$G_{ПРОТ} = \frac{\Delta M}{l_{ПРОТ}} = \frac{918}{2} \approx 460 \text{ Н.} \quad (2.23)$$

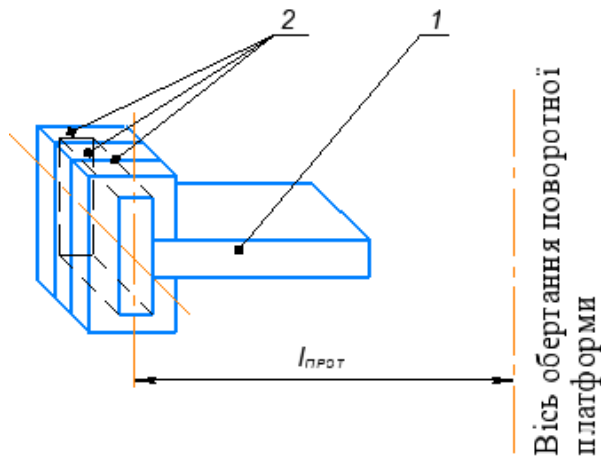
Переведемо отримане значення в кілограми:

$$m_{ПРОТ} = \frac{G_{ПРОТ}}{g} = \frac{460}{10} = 46 \text{ кг.} \quad (2.24)$$

Знайдену масу противаги для зручності обслуговування оператором екскаватора можна розбити на 3 частини – кожна приблизно по 15 кг, що буде задовольняти нормам праці. Ці зйомні частини будуть навішуватися на балку (як показано на рис. 2.9 – 2.10). Вони можуть бути одного розміру або різного. Крім того, пластини можуть бути пустотілими всередині і при необхідності заповнюватись рідиною (водою). І таким чином не буде витрачатись енергія двигуна тягача при транспортуванні екскаватора.

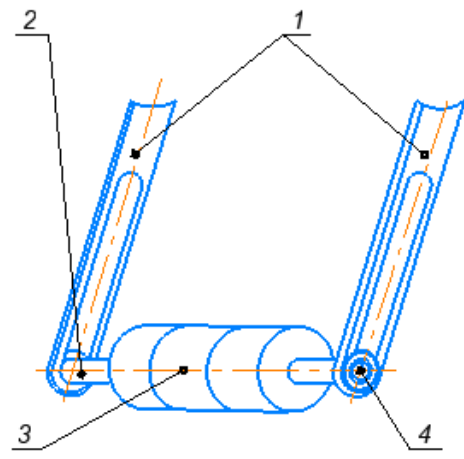
Ще один напрямок по збільшенню стійкості екскаватора при копанні ґрунту – загвинчення опорних лап в ґрунт за допомогою ходових гвинтів, на прикладі тих, що використовуються в конструкціях самохідних кранів.

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – висувна балка противаги; 2 – металеві пластини;

Рис. 2.9. Монолітна противага



1 - напрямні кронштейни; 2 – вісь;
3 – противага; 4 – гвинт;

Рис. 2.10. Противага зі змінним вильотом

Другий варіант рішення – висувна противага, виліт якої буде збільшуватись по мірі необхідності. Можливе також самостійне збільшення вильоту противаги під час роботи екскаватора, якщо передбачити гідравлічний привід балки із противагою або електромеханічний, та зв'язати його із приладами безпечної роботи екскаватора. Заздалегідь, до виникнення нестійкого положення і можливого перекидання екскаватора, автоматично спрацює датчик, який увімкне привід зміни вильоту противаги.

Переміщення противаги становитиме $\Delta l = 0,5 \text{ м}$, тобто в межах 2...2,5 м.

Коефіцієнт стійкості в такому випадку:

$$k_{CT} = \frac{M_{УТР} + G_{ПРОТ} \cdot (l \dots (l + \Delta l))}{M_{ПЕР}} = \frac{3600 + 460 \cdot (2 \dots 2,5)}{3765} = 1,2 \dots 1,26.$$

Одержані числові значення коефіцієнта задовольняють умові стійкості.

2.3.3. Третє розрахункове положення

Екскаватор рухається під ухил ($\alpha = 22^\circ$), стріла піднята до кінцевого положення, рукоять підвернута під стрілу, ковш пустий, тиск вітру в бік ухилу

$P_B = 250 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$. Перекидання можливе у бік робочого обладнання відносно точки А.

Утримуючий момент:

$$M_{УТР} = G_{ПШ} \cdot l_{ПШ} + G_{ХЧ} \cdot l_{ХЧ} + G_{m02} \cdot l_{m02} + G_{m01} \cdot l_{m01}, \quad (2.22)$$

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

де G_{m01} - вага машини, що припадає на передню вісь (60%) ($G_{m01} = 840 \text{ кз}$); G_{m02} - вага машини, що припадає на задню вісь (40%) ($G_{m02} = 560 \text{ кз}$).

За формулою (2.22):

$$M_{yTP} = 250 \cdot 0,825 \cdot 10 + 120 \cdot 0,825 \cdot 10 + 840 \cdot 10 \cdot 6,275 + 560 \cdot 10 \cdot 4,03 = 78335 \text{ Нм.}$$

$$M_{ПЕР} = G_C \cdot l_C + G_{ЦП} \cdot l_{ЦП} + G_{ЦК} \cdot l_{ЦК} + G_P \cdot l_P + G_K \cdot l_K + M_B, \quad (2.23)$$

де M_B - момент від сил вітру, Нм :

$$M_B = P_B (F_K \cdot \rho_K + F_{КАБ} \cdot \rho_{КАБ} + F_X \cdot \rho_X + F_C \cdot \rho_C), \quad (2.24)$$

де $F_K, F_{КАБ}, F_X, F_B$ - підвітрова площа нето відповідно кузова, кабіни, ходової та виступаючої частини стріли, м^2 ; ρ_i - висота прикладання сили вітру, м (дорівнює $\frac{2}{3}$ висоти кузова, кабіни, ходової та виступаючої частини стріли).

За формулою (2.24):

$$M_B = 2,5 \cdot 10^{-4} ((0,73 \cdot 1,5) \cdot 0,62 + (1,5 \cdot 1,5) \cdot 1,14 + (0,175 \cdot 0,55) \cdot 0,33 + (1,4 \cdot 0,19) \cdot 1,125) = 8,94 \cdot 10^{-4} \text{ Нм.}$$

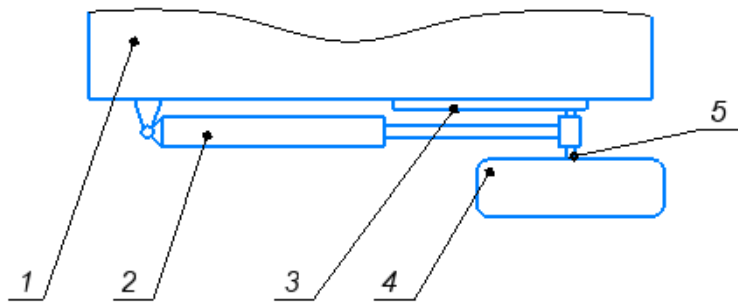
За формулою (2.23):

$$M_{ПЕР} = 122 \cdot 10 \cdot 0,385 + 18,24 \cdot 10 \cdot 0,59 + 18,24 \cdot 10 \cdot 1,46 + 35 \cdot 10 \cdot 1,36 + 39 \cdot 10 \cdot 1,565 + 8,94 \cdot 10^{-4} = 1930 \text{ Нм.}$$

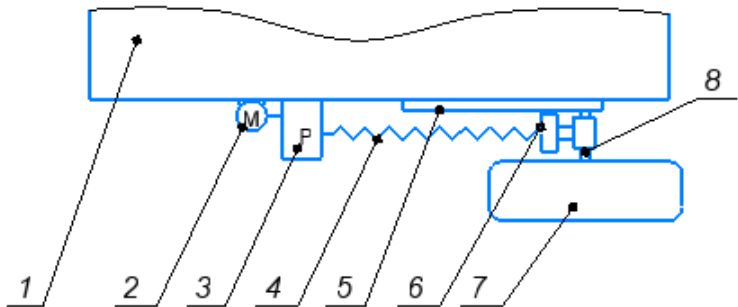
За формулою (2.21):
$$k = \frac{78335}{1930} \approx 41.$$

Одержане значення коефіцієнта стійкості перевищує допустиме у декілька порядків $k \gg 1,2$. Це означає, що $M_{ПЕР} \rightarrow 0$, тому відношення $\frac{M_{ПЕР}}{M_{yTP}} \rightarrow \infty$. Все це призводить до перенавантаження зчпного пристрою тягача. Тому можливе таке конструктивне рішення – при транспортуванні переміщувати колеса по напрямним рами екскаватора (принципові конструктивні схеми зображені на рис. 2.11 – 2.12). Таким чином, у випадку збільшення навантаження на зчпний пристрій, колеса будуть переміщуватись у переднє положення, а при недостатній зчпній вазі тягача можна, переміщуючи колеса в крайнє заднє положення збільшувати її шляхом сили довантаження $F_{ДВ}$ задньої осі від маси екскаватора.

					ДІПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75



1 – рама; 2 – гідроциліндр пересування коліс; 3 – напрямна; 4 – колесо; 5 – піввісь;
Рис. 2.11. Гідропривод коліс екскаватора



1 – рама екскаватора; 2 – електродвигун; 3 – редуктор; 4 – ходовий гвинт; 5 – напрямна; 6 – передача «гвинт-гайка»; 7 – колесо; 8 – піввісь;
Рис. 2.12. Електромеханічний привод коліс екскаватора

2.4. Висновки за розділом

У результаті проведених розрахунків визначені навантаження на металоконструкції стріли і рукояті.

Далі проведений розрахунок металоконструкцій, наведені розрахункові схеми стріли і рукояті та їх геометричні характеристики. Розраховані на міцність пальці шарнірів кріплення робочих органів, провущини та зварні з'єднання металоконструкції.

Методика розрахунку провущин дещо спрощена, що призвело до збільшення висоти стінки провущини і відповідно більших витрат матеріалу. Так, наприклад, при розрахунку провущини в місці кріплення ковша до рукояті (рис. 2.13) зусилля R_o , що діє на площадку 3 є для неї розриваючим.

Причому дана площадка повністю сприймає його. Тобто цей переріз буде небезпечним. Тоді як по розрізу А-А площа площадок 1 і 5 перевищує площу 3-ї площадки, тобто питомий тиск на кожен з них менший і висота перерізу може бути прийнята меншою. Тому переріз А-А не є небезпечним.

При розрахунку ж перерізу В-В силу R_o треба проектувати, по черзі, на горизонтальну і вертикальну осі для визначення відповідно розмірів площадок 4 та 6. При цьому горизонтальна складова сили R_o діє на площу меншу за сумарну

площу площадок 2 і 6, тому її лінійні розміри (і площа) будуть більшими. В результаті чого отримаємо таку форму провушини (рис. 2.14).

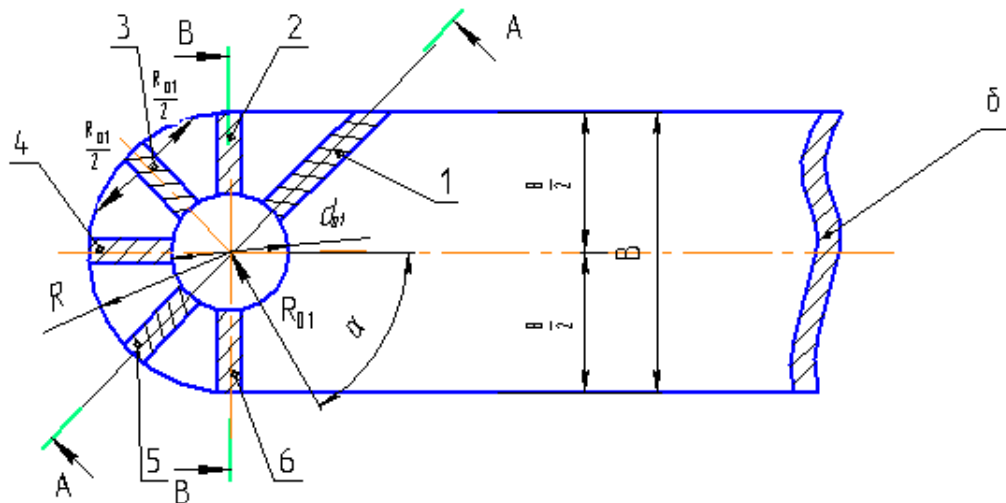


Рис. 2.13. Розрахункові перерізи провушини

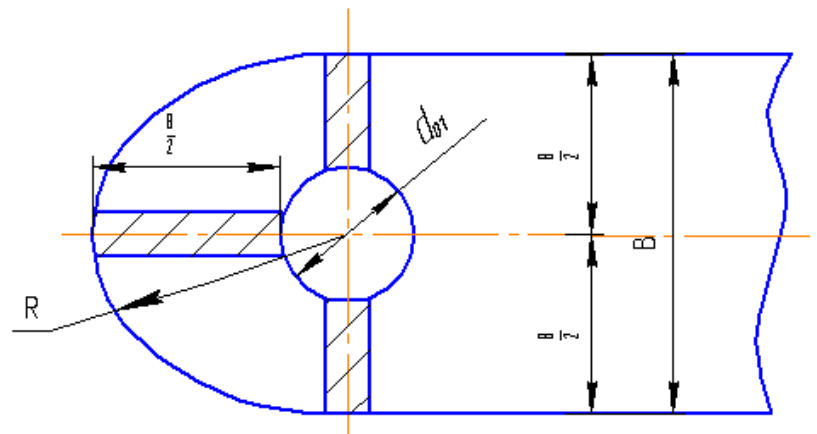


Рис. 2.14. Варіант виконання провушини

Проведений розрахунок провушини дає чотирикратний запас міцності по висоті стінки провушини, що призводить до не досить раціонального використання та збільшення витрат матеріалу.

Все вище згадане дозволило вести подальший розрахунок стійкості екскаватора, надало вихідні дані для конструювання. Розрахований коефіцієнт стійкості знаходиться в проміжку 1,2...1,63. Подальше його зростання призводить до збільшення металоємкості конструкції, збільшення її вартості, що є негативним фактором. Тому необхідно домагатись, щоб коефіцієнт стійкості був у межах $k_{CT} = 1,2...2$. Деякі напрямки по модернізації екскаватора наведені у вигляді схематичних рисунків.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ У МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Постановка задачі

Для оцінки напружень у металоконструкціях стріли та рукояті використані їх розрахункові схеми (рис. 3.1 – 3.2), що містять вихідні дані для проведення моделювання та дослідження напружено-деформованого стану методом кінцевих елементів.

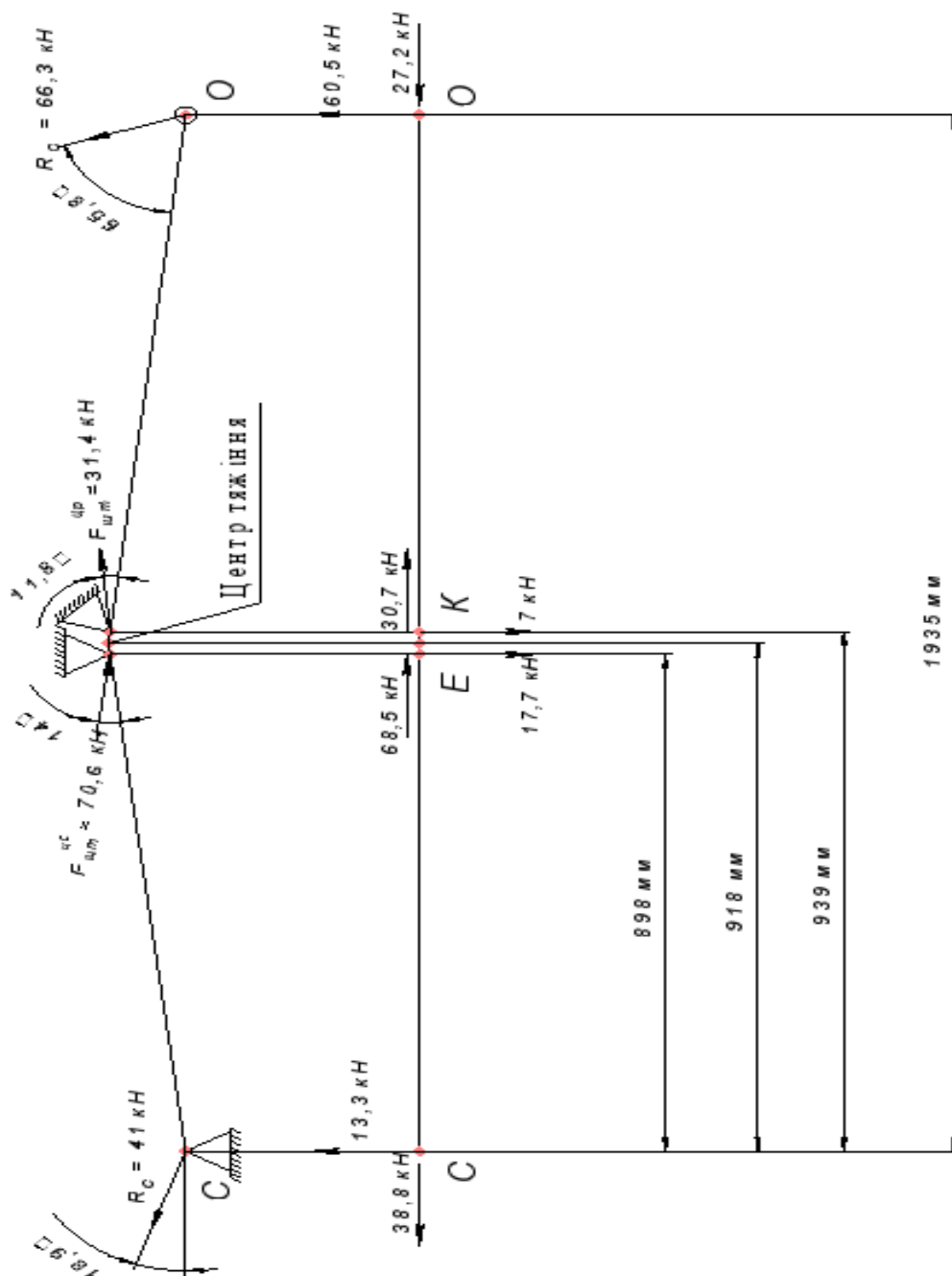


Рис. 3.1. Розрахункова схема стріли

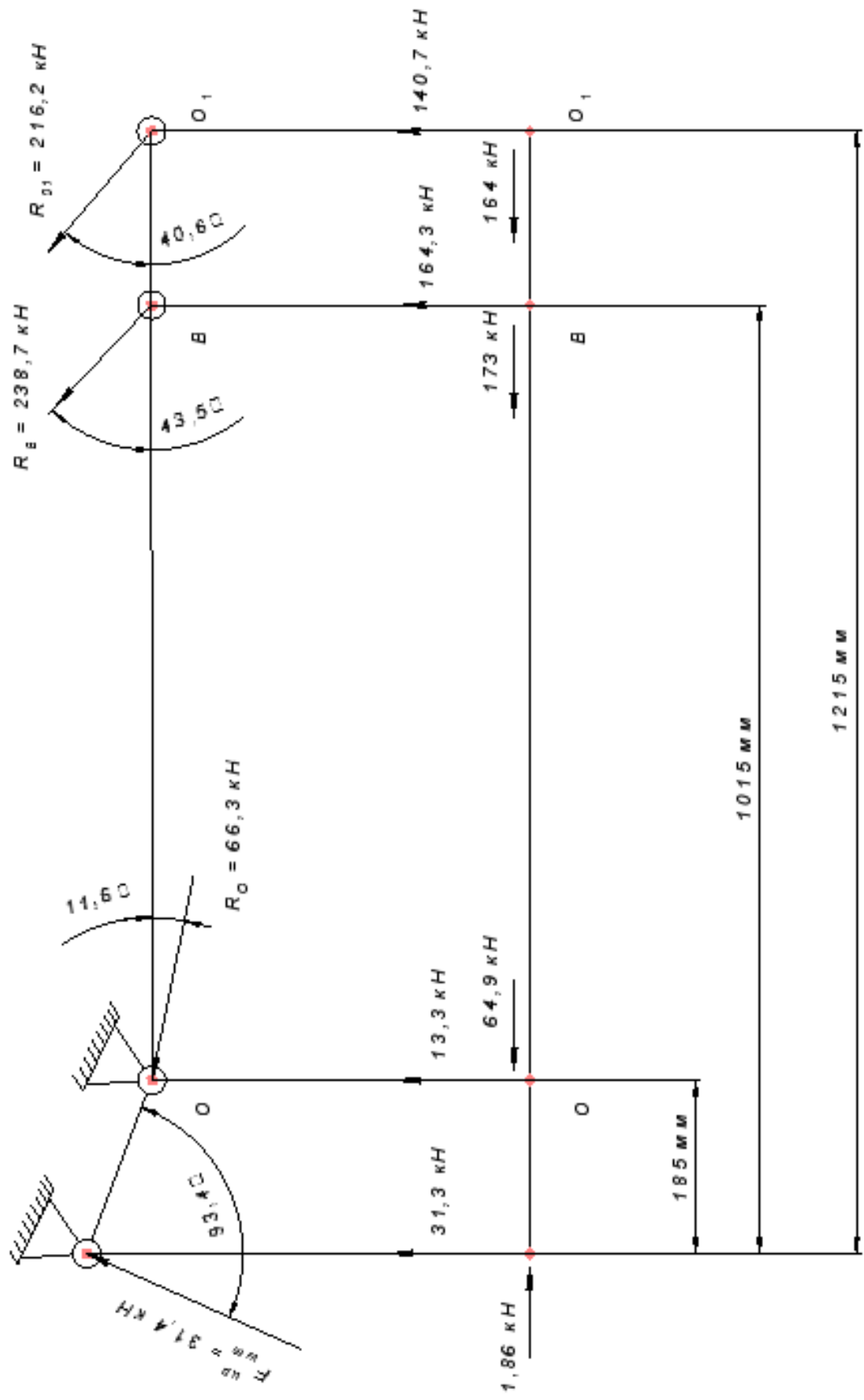


Рис. 3.2. Розрахункова схема рукояті

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2. Результати досліджень напружено-деформованого стану

Початкові дослідження виконані для тривимірної розрахункової моделі стріли (рис. 3.3) з товщиною стінки 10 мм.

Зі схеми розподілу напружень при статичному навантаженні стріли (рис. 3.4) очевидно, що максимальні напруження у елементах її металоконструкції складають близько 220 МПа у кронштейні шарніра провушини гідроциліндра гідромеханізму керування стрілою.

У зоні, прилеглій до цього кронштейна, напруження складає близько 110 МПа, а в решті елементів її металоконструкції воно значно менше і складає порядка 55 МПа у середній частині верхньої та нижньої пластини, та близько 27 МПа у решті металоконструкції.

Розглядаючи стрілу у навантаженому деформованому положенні (рис. 3.5) бачимо, що її максимальний прогин на краю стріли у місці приєднання до рукояті складає близько 6 мм на базовій довжині стріли 1935 мм.

Найменший прогин до 0,75 мм спостерігається на ділянці стріли між шарнірами її приєднання до рами та до штока гідроциліндра гідромеханізму керування стрілою, що пояснюється трикутною схемою виконання гідромеханізм, в який вказана частина стріли входить, як коромисло (важіль), на який тисне гідроциліндр керування стрілою.

Для порівняння результатів досліджень стріли з різною товщиною листового металу її конструкції в роботі також досліджена стріла, зварена основна конструкція якої виготовлена з металу, товщиною 5 мм, тобто стріла має майже вдвічі меншу масу, але високо навантажені її вузли у місці шарнірів підсилені з урахуванням результатів попередніх досліджень.

Тривимірні розрахункові моделі стріли з товщиною стінки 5 мм показана на рисунку 3.6.

Зі схеми розподілу напружень при статичному навантаженні стріли (рис. 3.7) очевидно, що максимальні напруження у елементах її металоконструкції складають

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

близько 206 МПа у кронштейні шарніра провушини гідроциліндра гідромеханізму керування стрілою.

У зоні, прилеглий до цього кронштейна, напруження складає близько 170 МПа, а в решті елементів її металокопструкції воно значно менше і складає порядка 96 МПа у середній частині верхньої та нижньої пластини, та близько 55...15 МПа у решті металокопструкції.

Розглядаючи стрілу у навантаженому деформованому положенні (рис. 3.8) бачимо, що її максимальний прогин на краю стріли у місці приєднання до рукояті складає близько 10 мм на базовій довжині стріли 1935 мм.

По аналогії з попередніми дослідженнями найменший прогин до 0,6 мм спостерігається на ділянці стріли між шарнірами її приєднання до рами та до штока гідроциліндра гідромеханізму керування стрілою, що пояснюється трикутною схемою виконання гідромеханізму, в який вказана частина стріли входить, як коромисло (важіль), на який тисне гідроциліндр керування стрілою.

Тривимірна розрахункова модель рукояті з товщиною стінки 10 мм показана на рисунку 3.9.

Зі схеми розподілу напружень при статичному навантаженні металокопструкції рукояті (рис. 3.10) очевидно, що максимальні напруження у елементах її металокопструкції складають близько 120 МПа у шарнірі приєднання до рукояті двоплечого важеля гідроциліндра гідромеханізму керування ковшем.

У зоні, прилеглий до цього вузла, напруження складає близько 100...75 МПа, а в решті елементів її металокопструкції воно значно менше і складає порядка 40 МПа у середній частині верхньої та нижньої пластини, та близько 25...8 МПа у решті металокопструкції.

Розглядаючи рукоять у навантаженому деформованому положенні (рис. 3.11) бачимо, що її максимальний прогин на краю рукояті у місці приєднання до ковша складає близько 45 мм на базовій довжині стріли 1215 мм.

Отримані результати задовольняють вимогам до металокопструкції стріли та рукояті з точки зору запасу міцності але можуть бути поліпшені у перспективі.

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

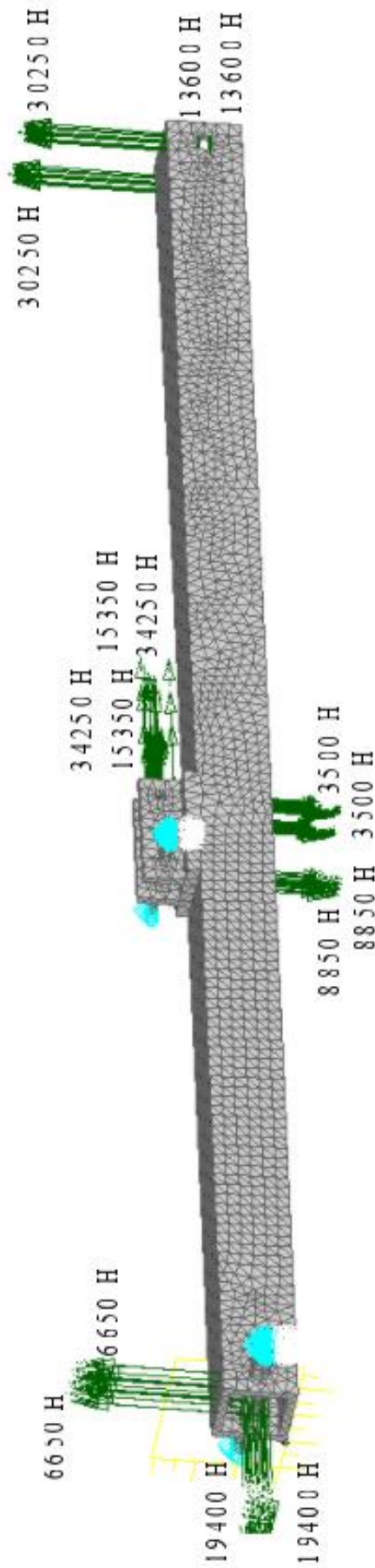


Рис. 3.3. Тривимірний розрахунковий модель стріли

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

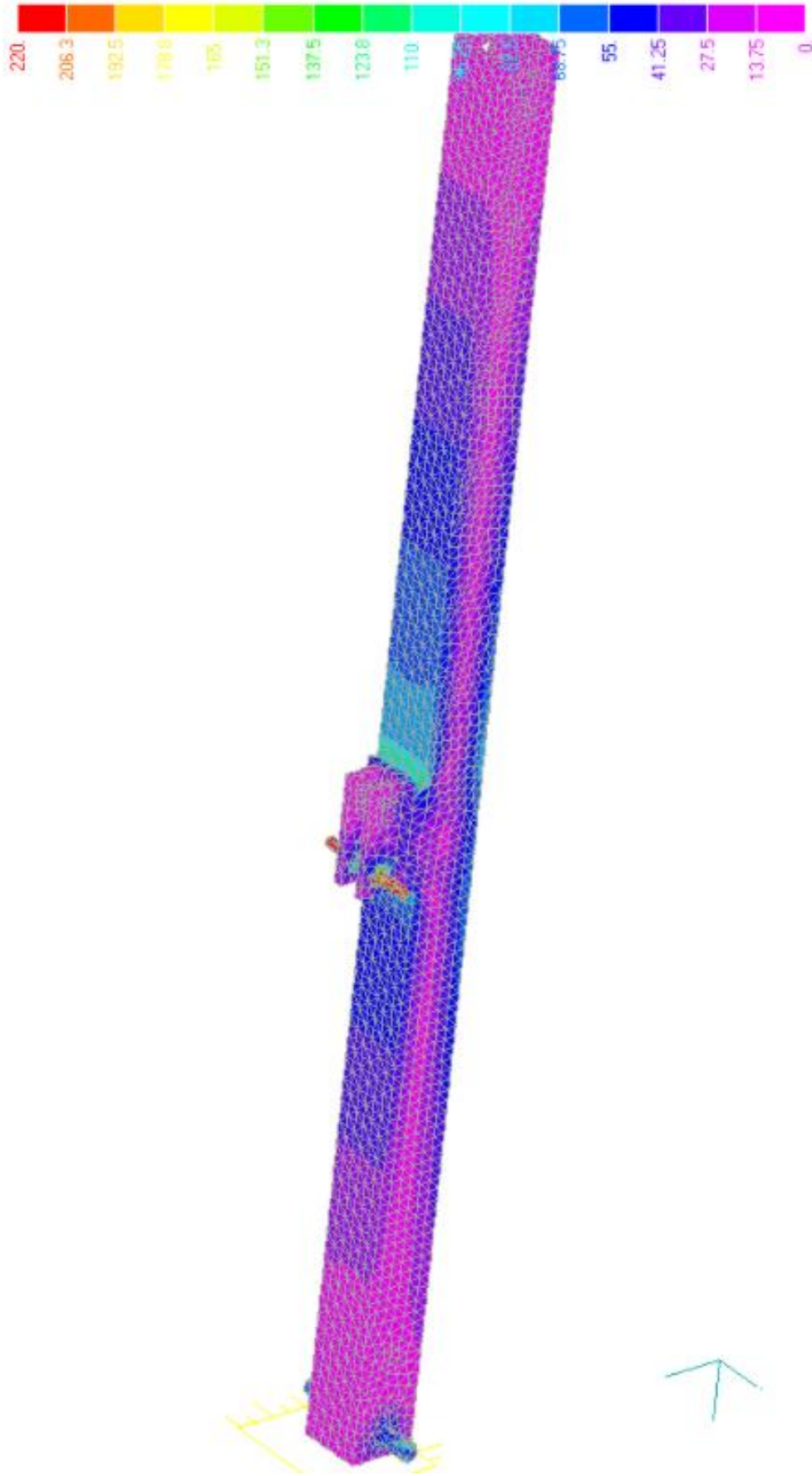


Рис. 3.4. Стріла у навантаженому статичному стані

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПТ.630000.302.МРПЗ

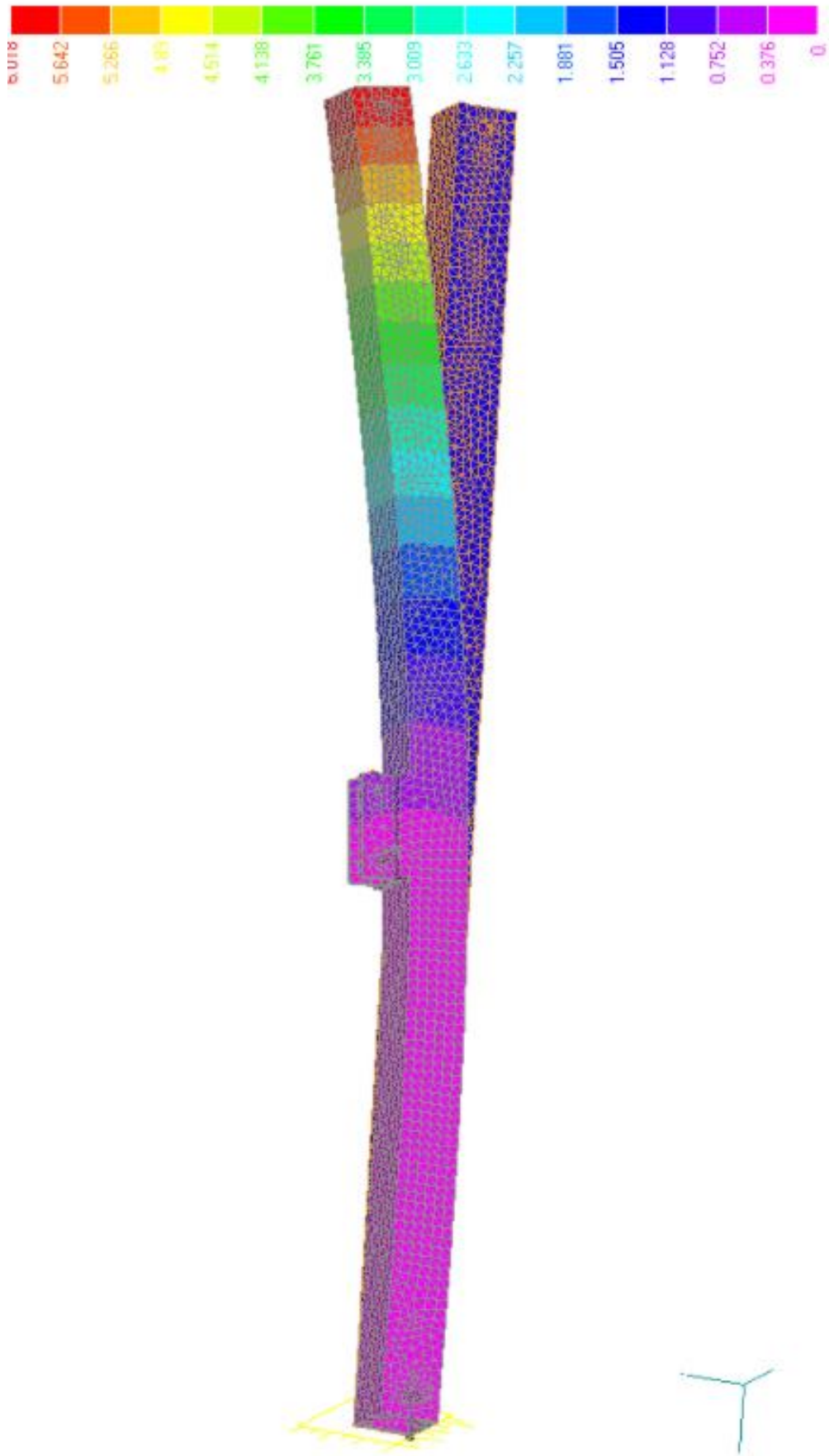


Рис. 3.5. Стріла у навантаженому деформованому положенні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

84

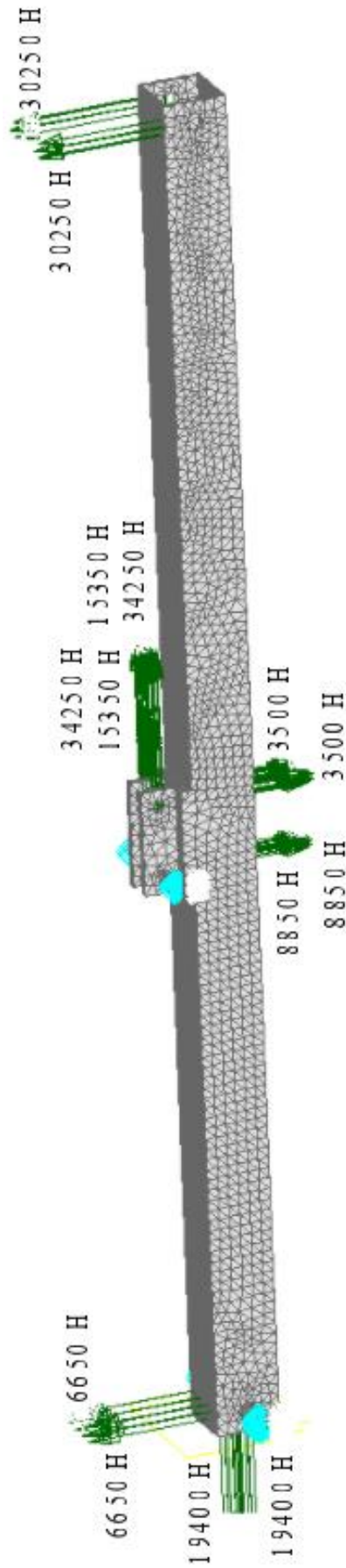


Рис. 3.6. Тривимірна розрахункова модель стріли зі зменшеною товщиною стінки $d = 5$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

85

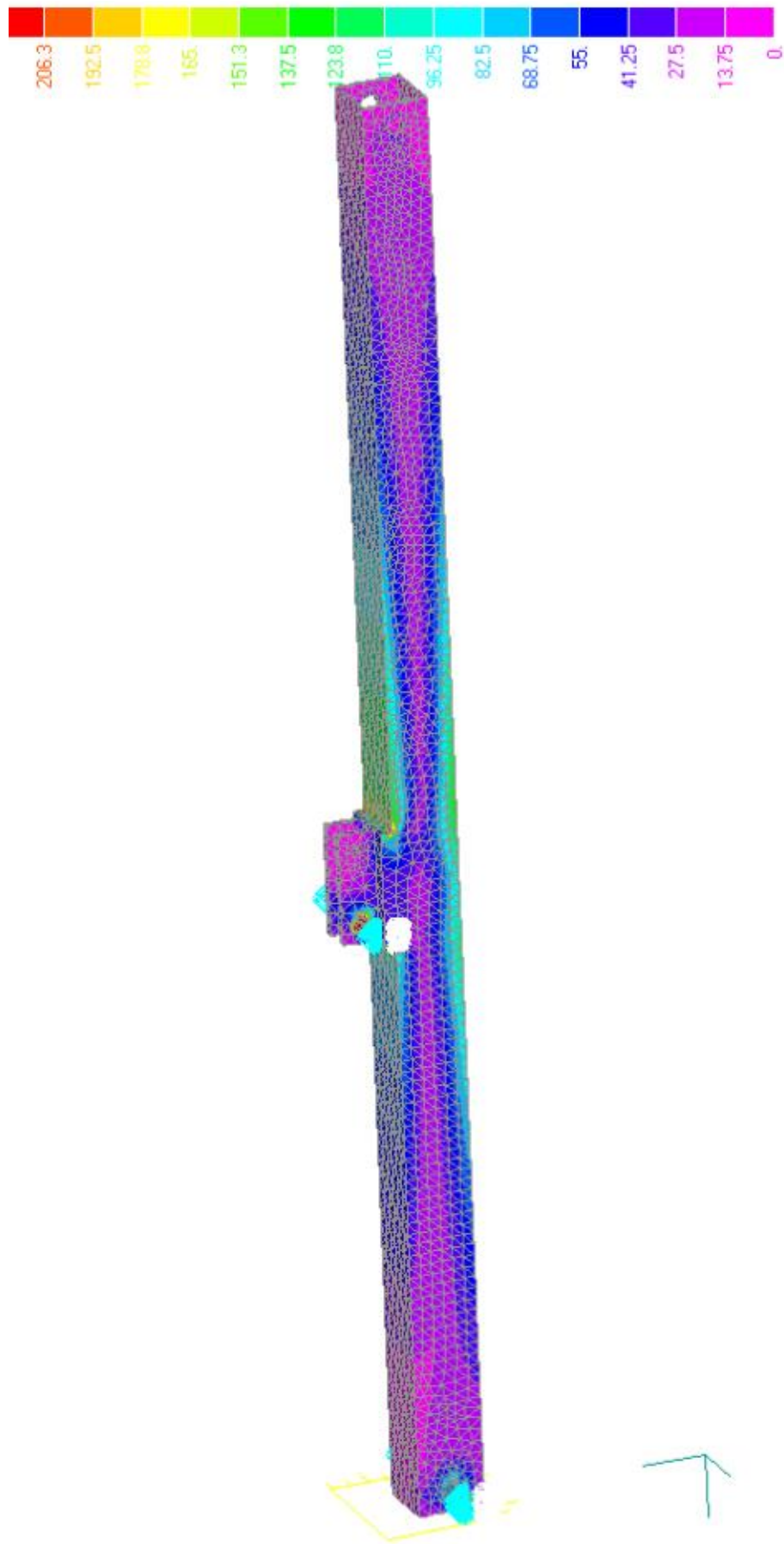


Рис. 3.7. Стріла зі зменшеною товщиною стінки $d = 5$ мм у навантаженому статичному стані

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

86

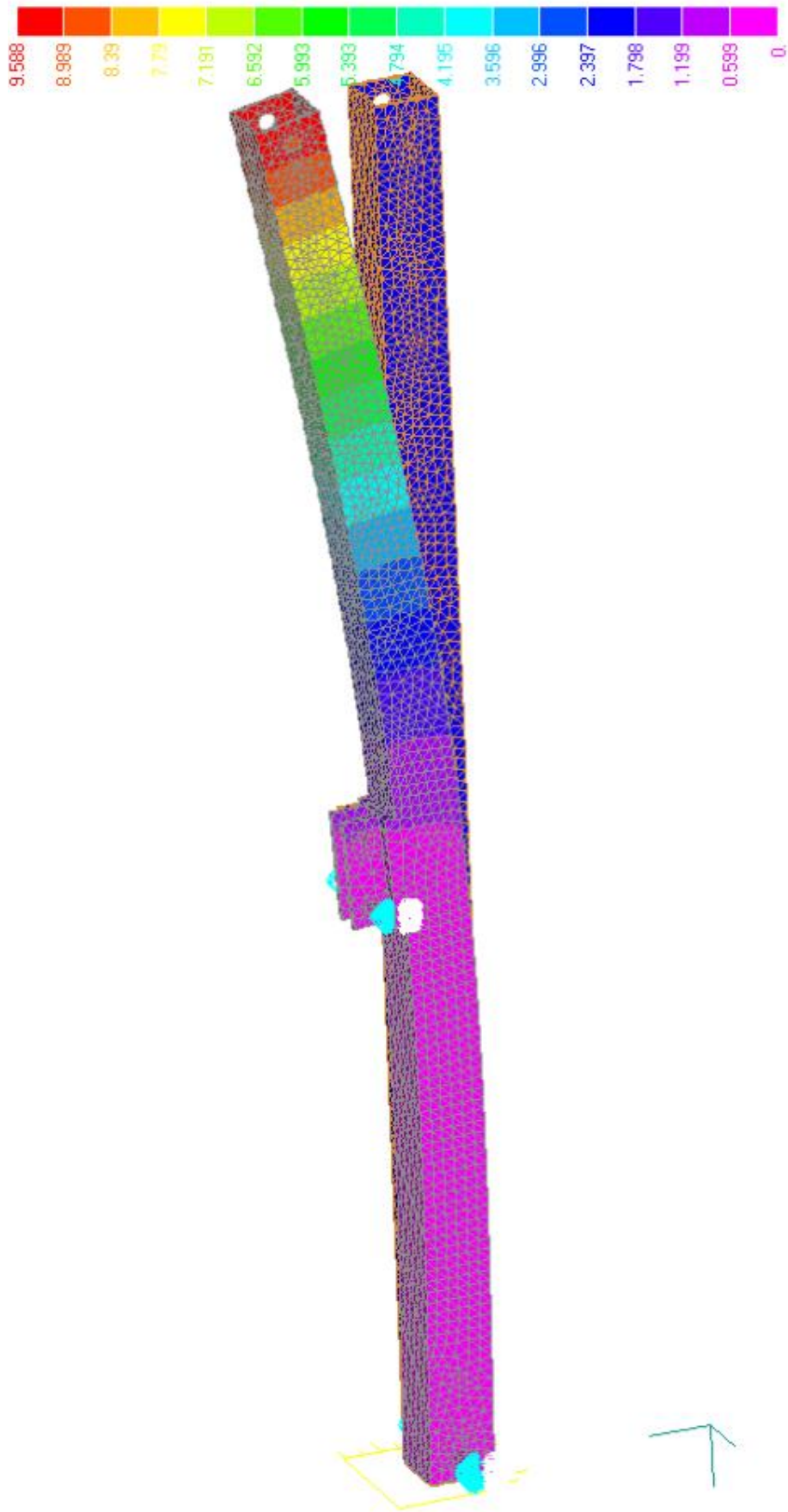


Рис. 3.8. Стріла зі зменшеною товщиною стінки $d = 5$ мм у навантаженому деформованому положенні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

87

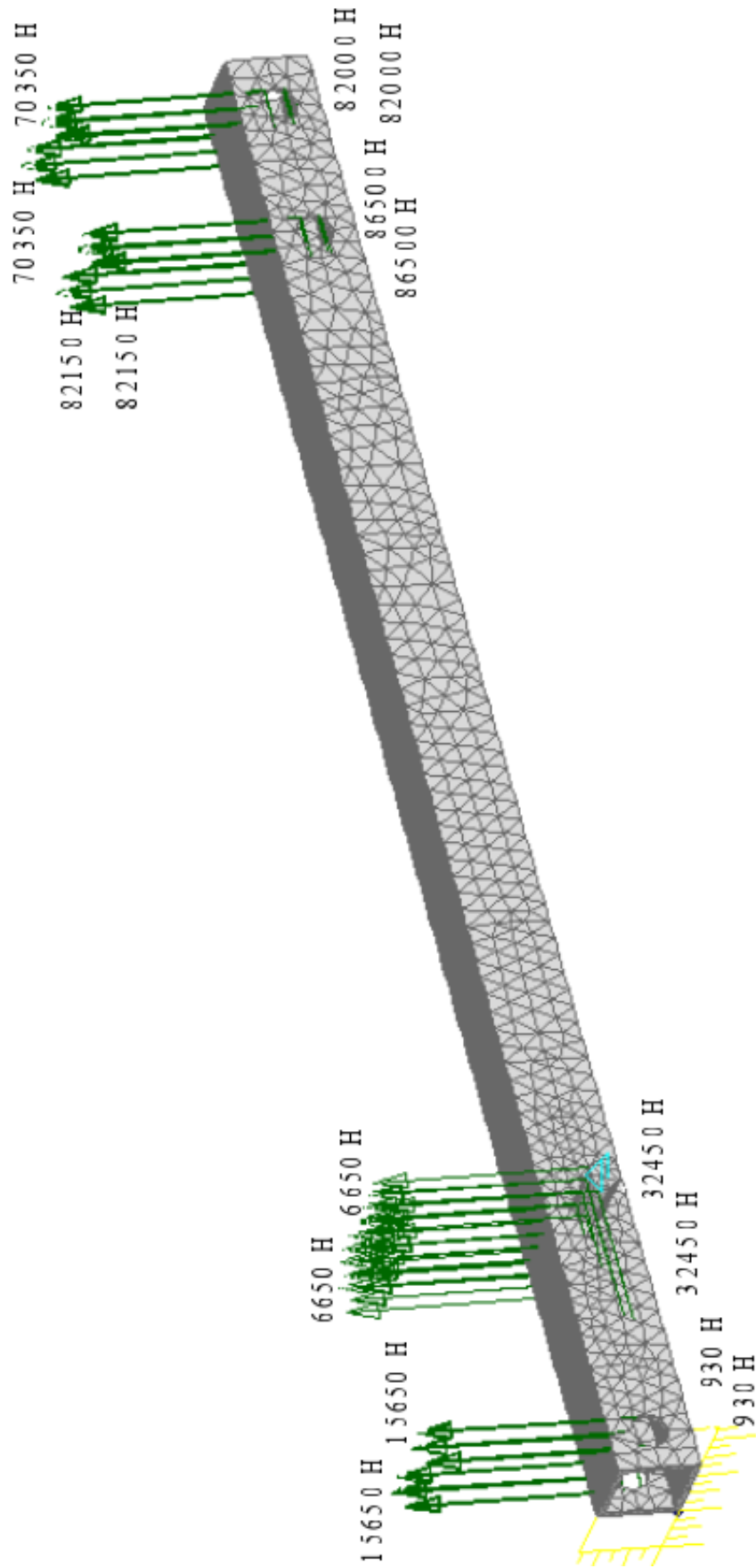


Рис. 3.9. Тривимірний розрахунковий модель ручки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

88

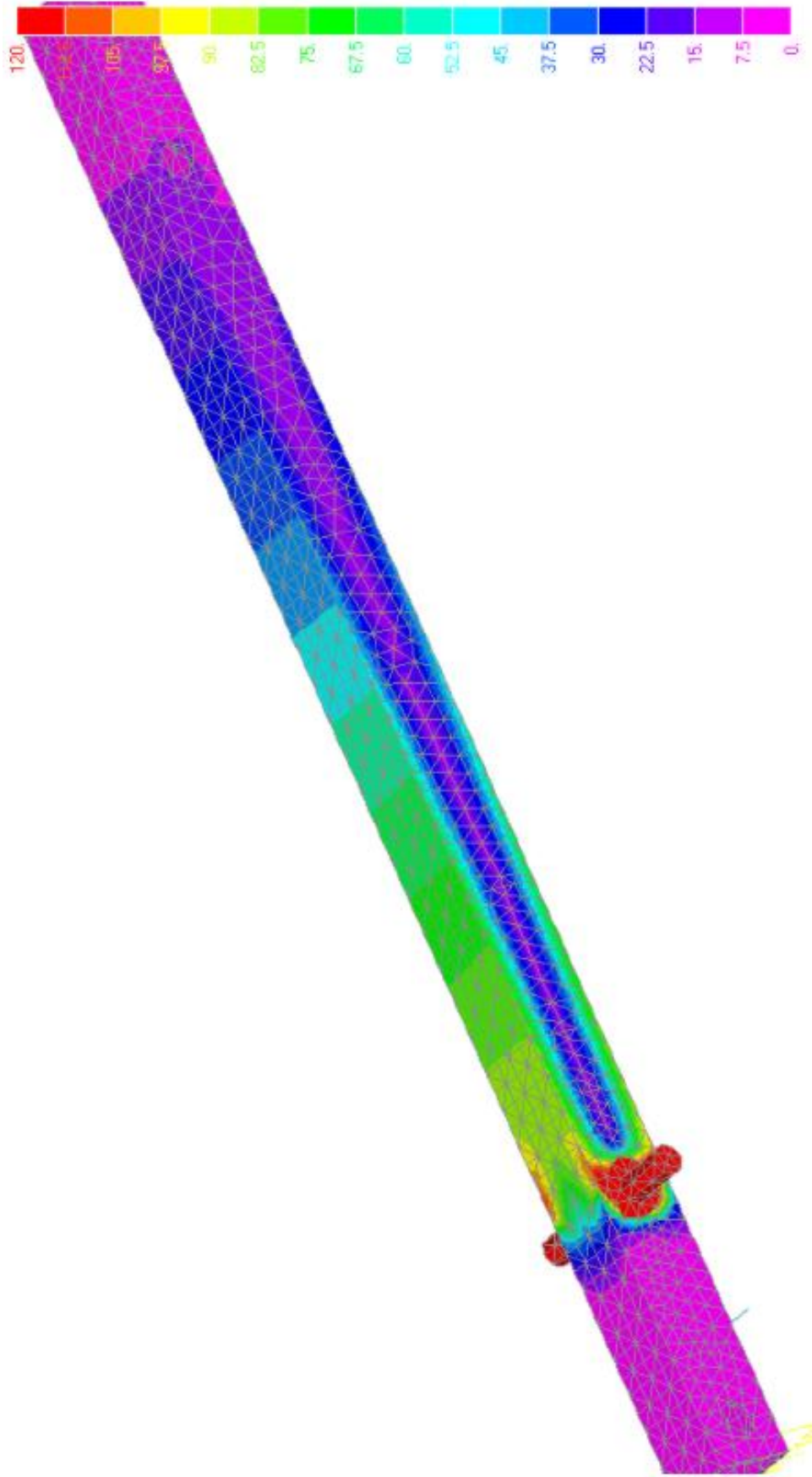


Рис. 3.10. Рукоять в навантаженому статичному положенні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

89

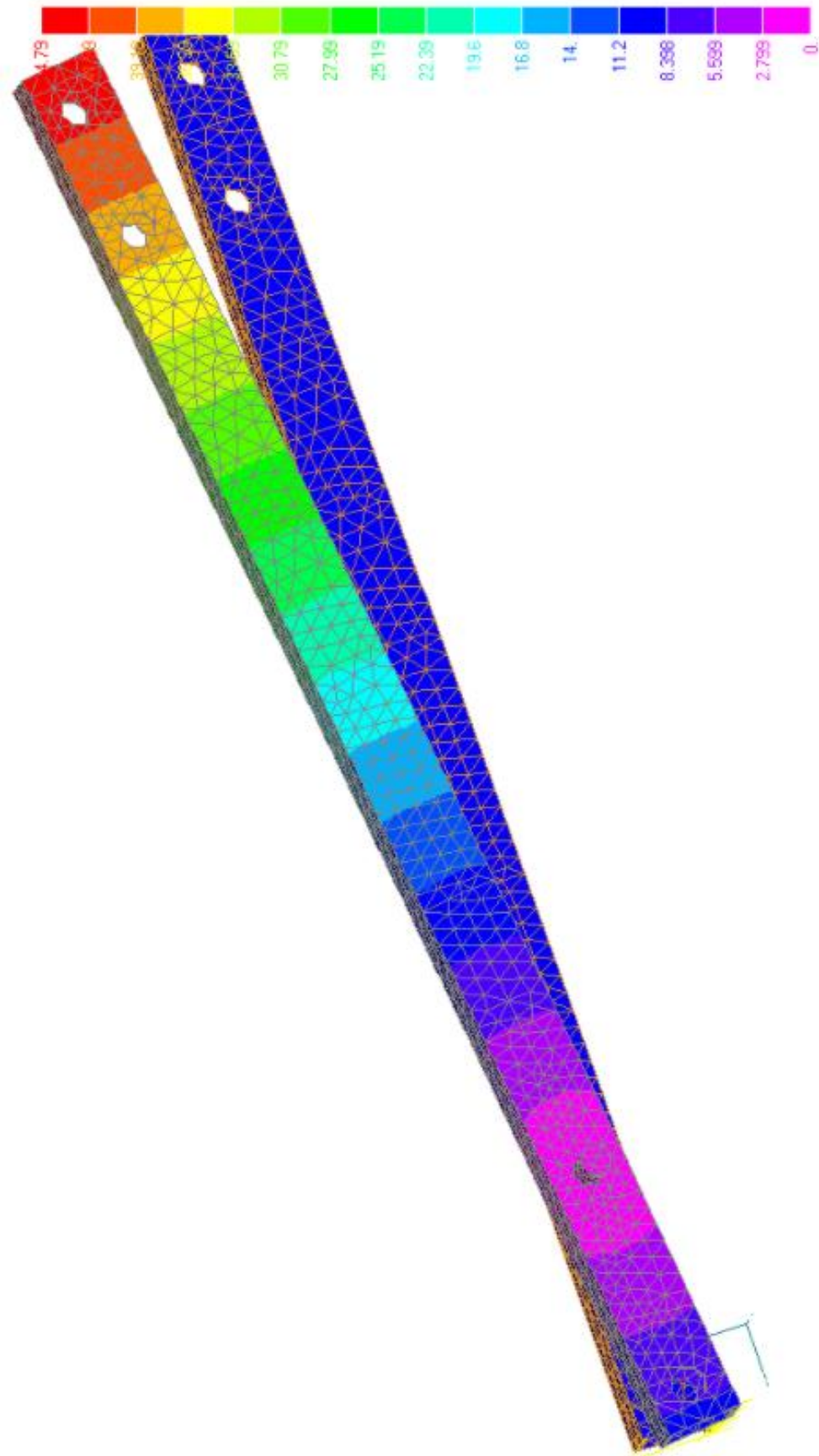


Рис. 3.11. Рукоять в навантаженому деформованому положенні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.302.МРПЗ

Арк.

90

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В результаті виконання магістерської роботи досягнута її мета – співставний аналіз металоконструкції робочого обладнання з точки зору рівномірності розподілу в них напружень близьких до максимальних.

В результаті проведених побудов отримані графіки для отримання поверхні, що ілюструє характер розподілу залежності реакцій в шарнірах робочого обладнання від положення його елементів.

Для побудови графіків прийнятий тривимірний простір. Із усіх положень стріли, рукояті і ковша вибрані декілька найбільш характерних для спрощення розрахунку і побудови. Тобто, для стріли – положення $0...107^{\circ}$, для рукояті – $0...130^{\circ}$, і для ковша – $0...160^{\circ}$.

Для побудови графіків використані попередньо отримані реакції. Для зручності сприйняття інформації при побудові графіків скористалися принципом підйому сітки рівня початкового відліку до відповідного положення, наприклад, ковша.

На графіках максимум та мінімум значень реакцій відмічені в основній координатній сітці відповідно червоними та чорними точками.

Отримані графіки показують загальний характер розподілу відповідних реакцій по поверхнях і на них, можна вказати зони впливу максимальних (червоний колір) та мінімальних (зелений) реакцій на елементи робочого обладнання.

У результаті проведених розрахунків визначені навантаження на металоконструкції стріли і рукояті.

Далі проведений розрахунок металоконструкцій, наведені розрахункові схеми стріли і рукояті та їх геометричні характеристики. Розраховані на міцність пальці шарнірів кріплення робочих органів, провусини та зварні з'єднання металоконструкції.

Методика розрахунку провусин дещо спрощена, що призвело до збільшення висоти стінки провусини і відповідно більших витрат матеріалу. Так, наприклад,

					ДПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при розрахунку провущини в місці кріплення ковша до рукояті зусилля, що діє на площадку 3, є для неї розриваючим.

Причому дана площадка повністю сприймає його. Тобто цей переріз буде небезпечним. Тоді як по розрізу А-А площа площадок 1 і 5 перевищує площу 3-ї площадки, тобто питомий тиск на кожен з них менший і висота перерізу може бути прийнята меншою. Тому переріз А-А не є небезпечним.

При розрахунку ж перерізу В-В силу R_{o_1} треба проектувати, по черзі, на горизонтальну і вертикальну осі для визначення відповідно розмірів площадок 4 та 6. При цьому горизонтальна складова сили R_{o_1} діє на площу меншу за сумарну площу площадок 2 і 6, тому її лінійні розміри (і площа) будуть більшими. В результаті чого отримуємо таку форму провущини (рис. 2.14).

Проведений розрахунок провущини дає чотирикратний запас міцності по висоті стінки провущини, що призводить до не досить раціонального використання та збільшення витрат матеріалу.

Все вище згадане дозволило вести подальший розрахунок стійкості екскаватора, надало вихідні дані для конструювання. Розрахований коефіцієнт стійкості знаходиться в проміжку 1,2...1,63. Подальше його зростання призводить до збільшення металоємкості конструкції, збільшення її вартості, що є негативним фактором. Тому необхідно домагатись, щоб коефіцієнт стійкості був у межах $k_{CT} = 1,2...2$. Деякі напрямки по модернізації екскаватора наведені у вигляді схематичних рисунків.

Отримані результати досліджень напружено-деформованого стану елементів робочого обладнання екскаватора задовольняють вимогам до металоконструкції стріли та рукояті з точки зору запасу міцності але можуть бути поліпшені у перспективі.

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мініекскаватори. Актуальність в Україні. Варіанти технічних рішень аналогів та їх технічні характеристики. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.google.com/search?q=%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%96%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8+%D0%B0%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C+%D0%B2+%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96&sca_esv=956dd3d9e5d35c29&sca_upv=1&rlz=1C1GCEA_enUA1010UA1015&source=univ&tbm=shop&tbo=u&ved=1t:6869&ictx=111&biw=1366&bih=607&dpr=1

2. Машини для земляних робіт: Навчальний посібник / Хмара Л. А, Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л. В, Скоблюк М. П., Нікітін В. Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та проф. Кравця С. В. [Текст]. Рівне - Дніпропетровськ - Харків. - 2010. 557 с.

3. Блохін В.С., Маліч М.Г. Основні параметри технологічних машин. Машини для земляних робіт: У 2 ч.: Навч. посіб. [Текст] – К.: Вища шк., 2006. – Ч. 1. – 407 с.: іл.

4. Блохін В.С., Маліч М.Г. Основні параметри технологічних машин. Машини для земляних робіт: У 2 ч.: Навч. посіб. [Текст] – К.: Вища шк., 2009. – Ч. 2. – 455 с.: іл.

5. Машини для земляних робіт /Під ред. Ю.А. Ветрова. [Текст] - К.: Вища шк., 1981. 384 с.

6. Тимошенко В.К., Хмара Л.А. Землерийні і землерийно-транспортні машини (основи теорії розрахунків і збірник задач). Навчальний посібник для студентів за спеціальністю Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини і обладнання: - Дніпропетровськ; ДІБІ, 1990. 238 с.

7. Визначення експлуатаційних характеристик машин для земляних робіт. // Главацький К.Ц. Проскурня В.М., Посмітюха О.П., Черкудінов В.Е. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Машини для земляних робіт» у двох

					ДІТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

частинах. Частина 1. Тиск гусеничного ходового обладнання на ґрунт. Статична стійкість машини проти перекидання. Тягові розрахунки машин. Трансмісії машин. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. імені В. Лазаряна. – Д., 2018.–47 с.

8. Визначення експлуатаційних характеристик машин для земляних робіт. // Главацький К.Ц. Проскурня В.М., Посмітюха О.П., Черкудінов В.Е. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Машини для земляних робіт» у двох частинах. Частина 2. Взаємодія робочих органів машин з ґрунтом. Тягові розрахунки. Особливості теорії робочих процесів багатоковшевих екскаваторів. Продуктивність екскаваторів, бульдозерів, скреперів. Трансмісії машин. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. імені В. Лазаряна. – Д., 2018. – 43 с.

9. Хмара Л.А. та ін. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин /Л. А. Хмара, М. П. Колесник, В. П. Станевський. - К.: Будівельник, 1992, 152 с.

10. Ветров Ю. А. Машини для спеціальних земляних робіт. К.: Вища школа, 1980.

11. Довідник до розрахунків механізмів вантажопідйомних кранів: Навчальний посібник [Текст]/ Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, Укл. С. В. Ракша. – 2005. – 132 с.

12. Дунаєв П.Ф., Леликов О.П. Деталі машин. Курсове проектування. [Текст] Навчальний посібник. Видання 5-е доповнене. К., 2004 – 566 с.

13. Куроп'ятник О.С. Деталі машин. Курсове проектування. [Текст] Навчальний посібник. Дніпро 2022 – 39 с.

14. Мініекскаватори. Варіанти технічних рішень аналогів та їх технічні характеристики. Електронний ресурс. Режим доступу: https://slavles.in.ua/ru/mini-ekskavator-berger-kraus-bk800b-z-kovshem-380-mm/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PM%20|%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw8diwBhAbEiwA7i_sJWsOBYh-v212bMDdI7Vs8Uud2HMxXL3kdthGzhFhdr1xlEbPrk1yRBoC28oQAvD_BwE

					ДІПТ.630000.302.МРПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		