

## **ЗАХИСНІ СИСТЕМИ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ З ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНИМИ БУФЕРНИМИ ПРИСТРОЯМИ. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОЕКТУВАННЯ**

### **1. Вступ**

Для безпечної експлуатації піднімально-транспортних машин рейковий шлях вантажопідіймальних кранів має бути обладнаний тупиковими упорами, а самі крани – пружними буферними пристроями [1]. Тупикові упори, у відповідності до нормативних документів, розраховуються на найбільше робоче навантаження, а їх конструкція має відповідати зазначеній в настанові з експлуатації.

### **2. Актуальність досліджень**

Практика експлуатації вантажопідіймальних кранів свідчить про те, що підприємства-виготовлювачі кранів свої виготовлені крани тупиковими упорами не комплектують. В проектно-технічній документації відсутні розрахунки максимально-можливих навантажень на захисну систему, які може створити кран даної конструкції з даними кінематичними характеристиками при виникненні позаштатної ситуації.

При проектуванні захисної системи вантажопідіймального крана необхідно мати на увазі, що надмірно жорсткі тупикові упори та неправильно розраховані буферні пристрої призводять до великих динамічних навантажень, руйнувань підкранових споруд і кранових металоконструкцій в результаті взаємодії металоконструкції крана з тупиковим упором.

Проектна організація не виконує й не надає розрахунок максимально-можливого навантаження при можливій відмові одного чи декількох пристроїв безпеки [2]. Доволі частими є випадки, коли підприємство-експлуатаційник купує кран, а, виконувати відповідні розрахунки та виготовляти тупикові упори вимушене самотійно чи шукати підрядника для виконання вищезгаданих робіт [3].

**3. Мета статті** полягає в створенні рекомендацій з проектування, розрахунку та вибору захисних систем вантажопідіймальних кранів з пневмогідравлічними буферними пристроями в залежності від типу та технічних характеристик крана.

### **4. Основний матеріал**

Традиційна захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках шляху (рис. 1) складається з вимикальних пристроїв (кінцевих вимикачів та відвідних лінійок) (поз. 1), буферних пристроїв (поз. 2) і тупикових упорів (поз. 3).

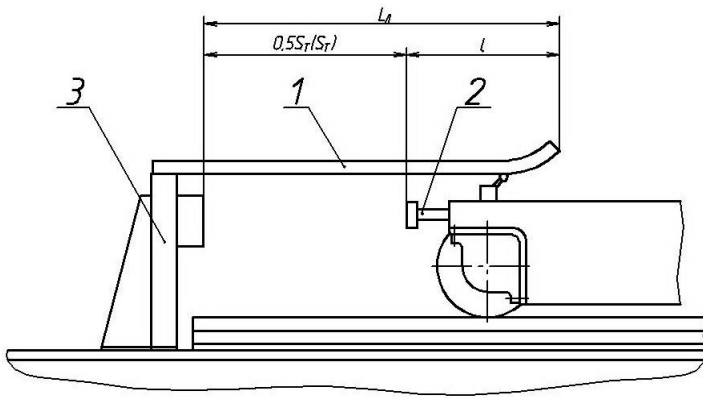


Рис. 1 – Традиційна захисна система вантажопідіймального крана

обмежують навантаження на будівельні конструкції, запобігають сходу крана з кінцевих ділянок кранового шляху в аварійних ситуаціях.

Робота традиційної захисної системи виглядає як послідовний ланцюг незалежних явищ. Якщо надійність захисної системи представити у вигляді

$$R_C = R_1 \cdot R_2 ,$$

де  $R_1$  – надійність вимикальних пристроїв;

$R_2$  – надійність гальм механізму пересування,

то можна зробити висновок, що кінцеві елементи захисної системи (буферні пристрої і тупикові упори) повинні спрацьовувати дуже рідко, лише в разі відмови вимикальних пристроїв і неспрацьовуванні гальм. Тому необхідно, щоб саме ці елементи могли запобігти тяжким наслідкам в результаті аварійної ситуації.

Пропонована захисна система вантажопідіймальних кранів [4], яка встановлена в кінцевих ділянках підкранового шляху, складається з пневмогідравлічного буферного пристрою та тупикового упора ударного типу (рис. 2) і призначена для гасіння кінетичної енергії крана, залишкової швидкості крана, для запобігання сходу крана з кранового шляху в аварійних ситуаціях при відмові вимикальних пристроїв або гальм механізму пересування крана. Захисна система вантажопідіймального крана зупиняє кран за рахунок поглинання кінетичної енергії пневмогідравлічним буфером (біля 95 %), встановленим на крані, та частково (біля 5 %) резиновим амортизатором, установленим на нерухомому упорі, прикріпленому до рейкового шляху.

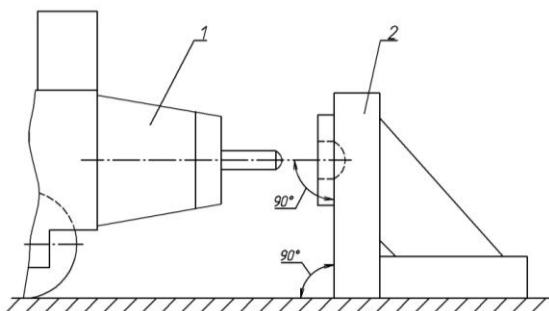
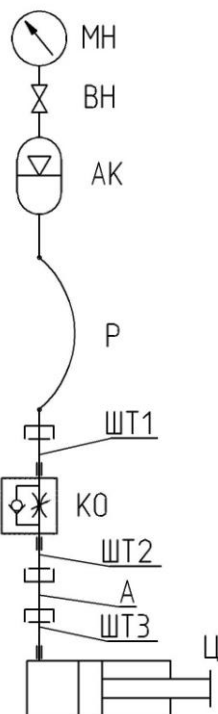


Рис. 2 – Захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих

Вимикальні пристрої повинні забезпечити знеструмлення двигунів механізму пересування, а також знеструмити гальмо, тим самим підготувавши гальма до роботи. Буфер крана має погасити кінетичну енергію крана та зменшити величину ударного навантаження в результаті наїзду крана на тупиковий упор. Тупикові упори, в свою чергу, сприймають навантаження від крана,

ділянках шляху Захисна система кранів складається з пневмогідролічного буферного пристрою 1, який кріпиться до крана, і тупикового упору 2, жорстко закріпленого на підкрановому шляху. Ударна площина стійки тупикового упору 2 розташована під кутом  $90^\circ$  до підкранового шляху, а отже, і до осі буферного пристрою 1.

Захисна система кранів на основі пневмогідролічного буферного пристрою працює таким чином. При підході крана до тупикового упору шток буферного пристрою контактує зі стійкою тупикового упору та проштовхує робочу рідину скрізь дросельний отвір до порожнини пневмогідроакумулятора, тим самим поглинаючи кінетичну енергію що призводить до зупинки крана. Принципова гідравлічна схема пневмогідролічного буферного пристрою показана на рис. 3. Схема складається з таких елементів: Ц – гідроциліндр; ШТ1...ШТ3 – штуцери; А – перехідник; КО – клапан зворотний з дроселем; Р – рукав високого тиску; АК – гідроакумулятор; ВН – вентиль для установки манометра; МН – манометр.



**Рис. 2** – Захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках шляху

При русі крана в зворотному напрямку навантаження на шток зникає, і шток під тиском повітря в пневмогідроакумуляторі повертається в первісне положення. Для того, щоб повернення штока не було різким і він не завдав удару крана, спричинивши динамічне навантаження, в гідравлічну схему введено дросель. Він регулюється таким чином, щоб повернення штока було плавним.

Як вже зазначалося вище, при проектуванні захисної системи вантажопідіймальних кранів потрібно дуже ретельно підходити до вибору геометричних параметрів пневмогідролічного буферного пристрою та тупикового упору в залежності від типорозміру крана. Для цього необхідно керуватись методиками, які викладено нижче.

### Методика розрахунку пневмогідролічного буферного пристрою

Розрахунок пневмогідролічного буферного пристрою полягає в визначенні його основних геометричних параметрів, а саме – діаметру поршня  $D$ , ходу поршня  $L$  та товщини стінки гідроциліндру  $\delta$ . Для визначення цих геометричних параметрів необхідно задатися максимально можливим навантаженням від крана, яке буде сприймати буферний пристрій, тобто ударну силу, з якою кран наїжджає на тупиковий упор.

Для визначення ударної сили, з якою кран наїжджає на тупиковий упор, необхідно задатися масою крана та вантажу, швидкістю крана і законом уповільнення крана. Причому швидкість крана розраховується як:

$$V_p = V_K \cdot k_1 \cdot k_2,$$

де  $V_K$  – номінальна швидкість крана, м/с;

$k_1$  – коефіцієнт, який враховує вітровий напір;

$k_2$  – коефіцієнт, який враховує ухил колій.

Закон уповільнення крана обирається таким чином, щоб уповільнення не перевищувало  $4 \text{ м/с}^2$  та було постійним на всьому гальмівному шляху крана. На уповільнення крана впливає гідравлічний опір робочої рідини в гідроциліндрі при проходженні через дроселювальний отвір і пневматичний опір, який створює пневмогідроакумулятор.

Гідравлічний опір розраховується як:

$$F_{\psi} = \alpha V_p^2,$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт демпфування [5]:

$$\alpha = \frac{128 \cdot \mu \cdot \rho \cdot l \cdot \pi \frac{D^2}{4}}{\pi d^4},$$

де  $\mu$  – кінематична в'язкість робочої рідини,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\rho$  – густина робочої рідини,  $\text{кг/м}^3$ ;

$l$  – довжина дроселювального каналу, м;

$D$  – передбачуваний діаметр гідроциліндра, м;

$d$  – діаметр дроселювального отвору, м.

Пневматичний опір знаходиться таким чином:

$$F_{pn} = p_k S_{отв},$$

де  $p_k$  – кінцевий тиск в пневмогідроакумуляторі, МПа;

$S_{отв}$  – площа перерізу дроселювального отвору,  $\text{м}^2$ .

Оскільки при роботі пневмогідравлічного буфера ми маємо ізотермічний процес, то формула для розрахунку кінцевого тиску в пневмогідроакумуляторі матиме вигляд:

$$p_k = \frac{p_0 V_0}{V_0 - \frac{\pi D^2}{4} L},$$

де  $p_0$  – початковий тиск в пневмогідроакумуляторі, МПа;

$V_0$  – початковий об'єм повітря в пневмогідроакумуляторі,  $\text{м}^3$ ;

$L$  – передбачуваний хід поршня, м.

В результаті розрахунків ми отримаємо значення ударної сили та необхідний хід поршня  $L$ , щоб погасити кінетичну енергію крана [6]. Знайшовши хід поршня  $L$ , можна визначити час спрацьовування пневмогідравлічного буфера (тобто час, за який кран зупиниться).

Після визначення ударної сили знаходимо тиск в гідравлічному циліндрі:

$$p = \frac{4F}{\pi D^2},$$

де  $F$  – ударне навантаження, з яким кран наїжджає на тупиковий упор, кН;

$D$  – діаметр поршня, м.

Якщо тиск не перевищує 10 МПа, то діаметр поршня обраний вірно, а попередні розрахунки є правильними.

Знаючи тиск в гідроциліндрі, можна знайти товщину стінки циліндра, що має витримувати навантаження від тиску [7]:

$$\delta = r_1 \left( \sqrt{\frac{\sigma + F \bar{\sigma}}{F \bar{\sigma}^2 - p r_1^2}} - 1 \right),$$

де  $p$  – тиск робочої рідини в гідроциліндрі, МПа;

$r_1$  – внутрішній радіус циліндру, м;

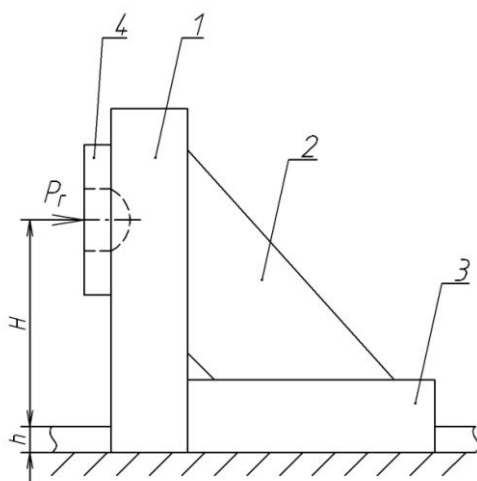
$\bar{\sigma}$  – напруження в матеріалі стінки циліндру, що допускаються, МПа.

Всі вихідні дані та знайдені величини для розрахунку пневмогідравлічного буферного пристрою можна звести до таблиці 1.

**Таблиця 1** – Розрахунок пневмогідравлічного буферного пристрою

Швидкість крана	Гідравлічний опір	Коефіцієнт демпфування	Пневматичний опір	Кінцевий тиск в гідроак-рі	Тиск в гідроциліндрі	Товщина стінки циліндру
$V_p$	$F_\psi$	$\alpha$	$F_{pn}$	$p_k$	$p$	$\delta$

### Методика розрахунку тупикового упору



**Рис. 4** – Тупиковий упор ударного типу

Головна вимога до тупикового упору ударного типу (рис. 3) – щоб він витримував навантаження від ударної сили, з якою кран наїжджає на тупиковий упор. Конструкція тупикового упору ударного типу складається з таких елементів: 1 – стійка; 2 – укосина; 3 – основа; 4 – резиновий амортизатор. Кожний з цих елементів має бути розрахованим на міцність. Крім того, розраховуються болти, що утримують тупиковий упор під дією перекидального моменту від ударної сили. Також розраховується резиновий амортизатор (площа його перерізу та товщина). Ударна сила приймається рівною тій, яка була обчислена при розрахунку пневмогідравлічного

буферного пристрою. В цілому, формули для розрахунку тупикового упору можуть бути зведені в таблицю [2].

**Таблиця 2** – Розрахункові формули для тупикового упору

Ударна сила	Розрахункове зусилля	Перевірка перерізу упору	Ребра жорсткості
-------------	----------------------	--------------------------	------------------

$P_{\Gamma}$	$M$	$Q$	$N$	$\sigma$	$\tau$	$t_p$	$b_p$
	$P_{\Gamma} (H + h)$	$P_{\Gamma}$	$\frac{P_{\Gamma} (H + h)}{l}$	$\frac{M}{W} \leq R_y$	$\frac{QS}{Id} \leq R_x$	$t_p = t$	$0,5b + 40$ мм

В таблиці 2 введені такі позначення:

$M$  – перекидальний момент від дії ударної сили, кН·м;

$Q$  – поперечна сила, кН;

$N$  – сила, що утримує тупиковий упор, кН;

$H$  – відстань від голівки рейки до лінії дії ударної сили, м;

$h$  – висота рейки, м;

$l$  – відстань по горизонталі від точки перекидання тупикового упору до точки прикладення вертикальних розтягувальних або стискальних сил, м;

$W$  – момент опору, м<sup>3</sup>;

$S$  – площа поперечного перерізу металоконструкції, м<sup>2</sup>;

$I$  – момент інерції матеріалу м<sup>4</sup>;

$d$  – відстань від центру ваги до точки перекидання тупикового упору, м;

$R_x$   $R_y$  – розрахункові опори сталі розтягненню, згину по межі плинності, МПа;

$t_p$  – товщина підсилювальних ребер, м;

$t$  – товщина полки стійки тупикового упору, м;

$b_p$  – ширина ребра підсилення, м;

$b$  – ширина полки стійки тупикового упору, м.

Крім вищесказаного, потрібно відзначити:

1) тупиковий упор має бути встановлений таким чином, щоб вісь штоку буферного пристрою та вісь резинового амортизатора тупикового упору знаходились на одній лінії;

2) площина резинового амортизатора (поверхня, з якою контактує шток буферного пристрою) має знаходитись строго перпендикулярно по відношенню до вісі штоку гідравлічного буфера. Це виконується для того, щоб удар здійснювався по нормалі, а не по дотичній;

3) болти та зварні шви, що утримують тупиковий упор мають бути розраховані на утримання тупикового упору при дії максимально можливого ударного навантаження.

## Висновки

Наведені рекомендації з проектування, розрахунку та вибору захисних систем вантажопідіймальних кранів з пневмогідравлічними буферними пристроями дозволять проектувати оптимальні та надійні захисні системи, зроблять експлуатацію кранів більш безпечною та в подальшому увійдуть до нормативних документів.

## Список використаних джерел:

1. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів : НПАОП 0.00-1.01-07 07 / Держ. департамент з нагляду за охороною праці України. – Х. : Форт, 2007. – 256 с.

2. Тупиковые упоры. Рекомендации к проектированию, изготовлению и эксплуатации / Г.М. Банных, А.Г. Банных, Л.Р. Кудряшов, В.Г. Жуков, А.В. Ширкевич, Д.А. Ведерников // РД 50:48:0075.02.05: Рекомендации утв. науч.-техн. сов. Науч.-произв. центра «Путь К». Рекомендации согласованы с Ростехнадзором письмом от 5.11.2005 № 09-03-58/2481. – М., 2005 – 84 с.

3. Дейнега В. И. Защита мостовых кранов от ударов при наездах на тупиковые упоры : дис. ... канд. техн. наук / В. И. Дейнега. – Новочеркасск, 1988. – 137 с.

4. Пат. 69229 UA, МПК<sup>9</sup> F 16 F 5/00. Захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках шляху / С. Л. Смоляков, І. І. Ісьєміні (UA); заявник Укр. інж.-пед. акад. – № u 2011 11415; заявл. 27.09.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. – 3 с.

5. Лойцянский Л. Г. Курс теоретической механики : В 2-х т. Т. 2. Динамика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1983. – 640 с.

6. Ісьєміні І. І. Дослідження динамічних процесів при гальмуванні мостових кранів пневмогідролічними буферними пристроями / І. І. Ісьєміні, Л. А. Родіонов // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2011 – Вип. 7/8. – С. 23–31.

7. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Наук. думка, 1988. – 734 с.

***Ісьєміні І.І., Смоляков С.Л.*** «Захисні системи вантажопідіймальних кранів з пневмогідролічними буферними пристроями. Рекомендації до проектування».

В статті наведено рекомендації щодо проектування, розрахунку та вибору захисних систем вантажопідіймальних кранів з пневмогідролічними буферними пристроями. Викладено методики розрахунку пневмогідролічного буферного пристрою та тупикового упору.

***Ключові слова:*** тупиковий упор, пневмогідролічний буферний пристрій, методика розрахунку, надійність, безпека, вантажопідіймальний кран.

***Исьемини И.И., Смоляков С.Л.*** «Защитные системы грузоподъемных кранов с пневмогидравлическими буферными устройствами. Рекомендации к проектированию».

В статье приведены рекомендации по проектированию, расчету и выбору защитных систем грузоподъемных кранов с пневмогидравлическими буферными устройствами. Изложены методики расчета пневмогидравлического буферного устройства и тупикового упора.

***Ключевые слова:*** тупиковый упор, пневмогидравлическое буферное устройство, методика расчета, надежность, безопасность, грузоподъемный кран.

*Isyemini I.I., Smolyakov S.L.* “The protective systems of hoist cranes with pneumohydraulic buffers. References to design”.

In the article the references of design, estimation and choice of protective systems of the hoist cranes with pneumohydraulic buffers are given. The design procedures of the pneumohydraulic buffer and an end stop are expounded.

**Key words:** end stop, pneumohydraulic buffer, design procedure, reliability, safety, hoist crane.

Стаття надійшла до редакції 15 травня 2013 р.