



УДК 621.87

**ALGORITHMS FOR CONTROL OF TOWER CRANE STABILITY IN
CONDITIONS OF AIR SHOCK WAVES****АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ СТІЙКІСТЮ БАШТОВОГО КРАНУ В УМОВАХ
ПОВІТРЯНИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ****Gorbatyuk Ie.V. / Горбатюк Є.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8148-5323

Terentyev O.O. / Терентьев О.О.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-6995-1419

Rashkivskiy V.P. / Рашківський В.П.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5369-6676

Bulavka O.O. / Булавка О.О.*Ph.D. degree / здобувач ступеня доктора філософії*

ORCID: 0000-0003-4119-174X

*Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitroflotsky Avenue, 31, 03037**Київський національний університет будівництва і архітектури,**Київ, Повітрофлотський проспект, 31, 03037*

Анотація. Робота баштових кранів на будівельних майданчиках залежить від дії динамічних навантажень. Однією складовою цих навантажень є швидкісний натиск повітряної ударної хвилі, що може призвести до зупинки кранів, а також можливі аварії або перекидання ведуть до простію та значних економічних витрат. В статті розроблений спосіб та реалізований в алгоритмах забезпечення стійкості баштового крану в умовах повітряних ударних хвиль, заснований на застосуванні методів нечіткої логіки. Наведена в роботі реалізація алгоритмів допоможе: контролювати і забезпечувати стійкість баштового крана в неробочому стані в умовах швидкісного натиску повітряної ударної хвилі; Контролювати стійкість вантажопідйомного крана при виконання розвантажувально-навантажувальних робіт у робочому стані в умовах повітряної ударної хвилі.

Ключові слова: баштовий кран, швидкісний натиск, повітряна ударна хвиля, алгоритм, метод нечіткої логіки, пакет нечіткого аналізу MATLAB Fuzzy Logic.

Вступ.

Одним із ключових механізмів на будівельних об'єктах є вантажопідіймальна техніка, зокрема, баштові крани. Баштові крани мають високу чутливість до вітрового натиску, тому безпека та продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт, виконуваних ними, значною мірою залежить від впливів на металоконструкцію зовнішніх факторів, що обумовлюють, пов'язаних зі зміною динаміки вітрового натиску.

Поява небажаних динамічних навантажень вибухової хвилі може вплинути на стійкість баштового крану, що в свою чергу, призведе до виникнення аварійних ситуацій. Тому запобігання перекиданню є однією з основних цілей забезпечення безпеки роботи вантажопідйомних машин.

Мета. Розробити спосіб підвищення стійкості баштових кранів в робочому та неробочому станах в умовах повітряних ударних хвиль.



Алгоритми управління стійкістю баштового крана.

Запобігання перекиданню є однією з основних цілей забезпечення безпеки роботи вантажопідіймних машин. Збереження стійкості в умовах повітряних ударних хвиль в робочому і не робочому станах крана обумовлюється цілим рядом параметрів [1-3].

Системи захисту, що забезпечують безпеку ведення робіт, розглядаються так само і як пристрої з підвищеними інформаційними властивостями, що дозволяють машиністу крана орієнтуватися в навколишній обстановці, уникнути аварії, пошкодження вантажу і конструкцій, розташованих поблизу об'єкту.

Всі системи захисту побудовані на принципі визначення ступеня наближення значення поточного параметру навантаження до деякого граничного значення, що призводить до перекидання. Реалізація визначення цього значення в більшості систем безпеки базується на класичних логічних принципах порівняння еталонної математичної моделі з моделлю, отриманою в результаті обчислень функцій з вхідними змінними, що виражають параметри вантажопідіймної машини.

Пристрій безпеки стаціонарного баштового крана в умовах повітряних ударних хвиль у неробочому стані побудовано на принципі коригування та підтримання заданого паралельного положення стрілового пристрою відносно швидкісного натиску, по засобах управління апаратурою забезпечує стійкість з можливістю зміни жорсткості, впровадженій в кінематичну схему повороту башти.

У робочому стані основна функція пристрою безпеки це прогнозування збільшення швидкісного натиску вибухової хвилі і виведення відповідної інформації на блок візуальної індикації. У критичних ситуаціях при перевищенні максимально допустимого натиску для робочого стану крана, пристрій виконує функцію автоматичного коригування стійкості.

Для опису алгоритмів автоматичного керування стаціонарним баштовим краном у робочому та неробочому стані в умовах повітряних ударних хвиль, необхідно створити математичну модель з багато змінних, які визначають поточні параметри машини (положення стріли, швидкісний натиск та його напрямок тощо), що в свою чергу, ускладнює програмну частину пристрою безпеки. Рішення функціональних залежностей для всіх вхідних змінних математичної моделі, що описує швидкісний натиск, вимагатиме велику обчислювальну потужність, що ускладнює апаратну частину пристрою.

У роботі пропонується використовувати для реалізації функцій автоматичного керування стаціонарним баштовим краном у період дії швидкісного натиску повітряної ударної хвилі, систему, побудовану на алгоритмах нечіткої логіки. Це пов'язано з тим, що реалізація функцій безпеки не потребує обчислення точних значень вхідних і вихідних параметрів.

Використання нечіткої логіки в системах керування дозволяє описувати нечіткі поняття, нечіткі функції і робити нечіткі висновки. Використання нечіткого керування виправдано, коли процеси є занадто складними для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів. Наявність математичних



засобів відображення нечіткості вихідної інформації дозволяє побудувати модель, адекватну реальності.

На підставі досліджень стійкості стаціонарного баштового крана і питань, розглянутих раніше, розробляється автоматизований комплекс, який повинен вирішувати такі завдання:

1. Контролювати і забезпечувати стійкість баштового крана в неробочому стані в умовах швидкісного натиску повітряної ударної хвилі;
2. Контролювати стійкість вантажопідйомного крана при виконання розвантажувально-навантажувальних робіт у робочому стані в умовах повітряної ударної хвилі.

Для проектування системи автоматичного керування стійкістю стаціонарного баштового крана скористаємося програмним комплексом MATLAB пакетом нечіткого аналізу Fuzzy Logic [4, 5].

При швидкісному натиску повітряної ударної хвилі дуже важлива швидкодія системи забезпечення стійкості, що забезпечується системою управління активним допоміжним приводом поворотної платформи крана. Для цього в апарат нечіткої логіки даної системи управління вводиться лінгвістична змінна «прискорення тиску», що виконує прогностичну функцію, що в умовах різкої зміни швидкісного натиску та дозволяє скоригувати положення стріли крана до того, як коефіцієнт запасу стійкості прийме критичне значення.

Впровадження допоміжного приводу поворотної платформи крана дозволяє забезпечити максимум швидкодії при виникненні небезпечних прискорень за рахунок того, що кран приймає стійке положення з максимально можливою швидкістю. Дослідження цього процесу проведено в програмному пакеті Simulink середовища MATLAB за допомогою синтезу системи автоматичного регулювання приводу поворотної платформи, а вхідні сигнали для моделюваної системи керування формуються за допомогою системи непарних правил [6, 7].

Вхідними лінгвістичними змінними для цієї системи є «прискорення швидкісного натиску», «швидкісний натиск», і «положення стріли», вихідними «команда управління допоміжним приводом», «стан гідромумфти». При активізації цієї системи на блок індикації кранівнику надходить попереджувальний сигнал про можливої небезпеки.

Лінгвістичною змінною «прискорення швидкісного натиску» будуть відповідати два терма - «norma», «danger» належать нечіткій множині «uskorenje» (рисунок 1), зі значеннями $[0,5 \ 1]$, $[0,5 \ 2,5]$ з координатами максимуму 1, 2,5 м/с і коефіцієнтами концентрації відповідно 0,8 і 1,7.

Лінгвістичною змінною «швидкісний натиск» будуть відповідати два терма - «norma», «danger» належать нечіткій множині «skorost» (рисунок 2), зі значеннями $[0,5 \ 5]$, $[0,5 \ 10]$ з координатами максимуму 5, 10 м/с і коефіцієнтами концентрації відповідно 1,5 і 5,2.

Лінгвістичною змінною «положення стріли» відповідають три терма - «0-10», «10-50», «50-90» належать безлічі «polojenje» з значеннями функціональної приналежності - $[10 \ 0]$; $[15 \ 45]$; $[15 \ 90]$ (рисунок 3), де 0, 45 і 90 - значення кута, виражене в градусах, а 10, 15 і 15 - коефіцієнти концентрації.

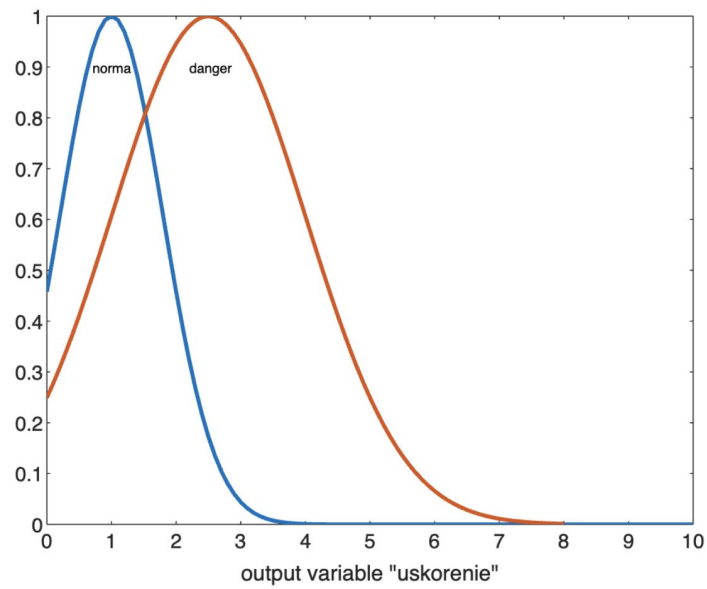


Рисунок 1 - Нечітка множина «uskorenie»

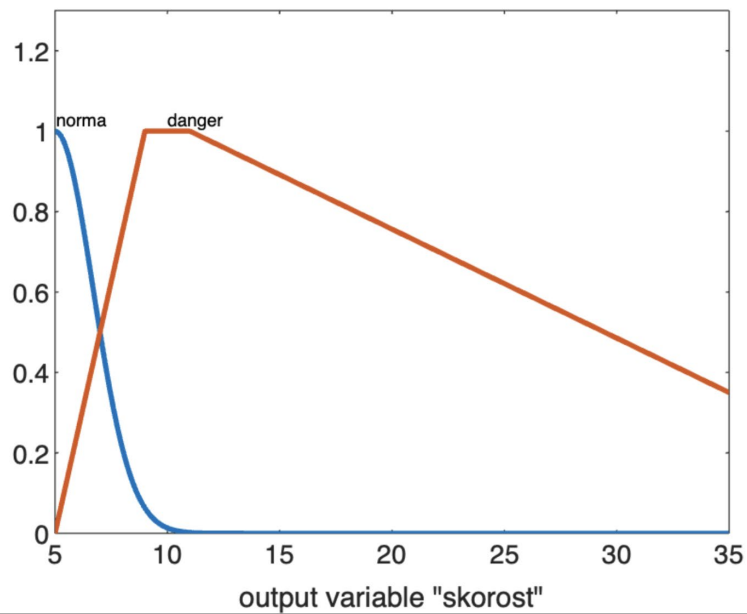


Рисунок 2 - Нечітка множина «skorost»

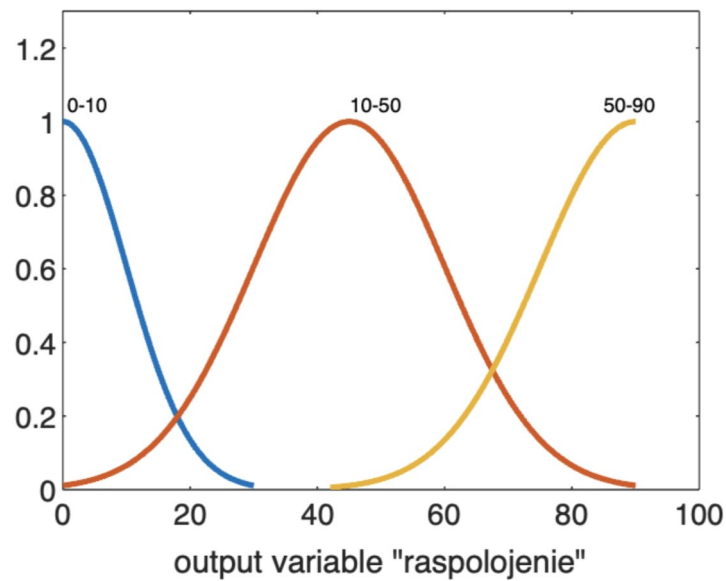


Рисунок 3 - Нечітка множина лінгвістичної змінної «положення стріли»



Вихідні лінгвістичні змінні формуватимуть виконуючі сигнали управління обладнанням допоміжного приводу поворотної платформи. Це вихідні лінгвістичні змінні «команда управління двигуном» і «команда управління гідромуфтою». Лінгвістична змінна «команда управління двигуном» відповідають терми «вкл» і «викл», а лінгвістичною змінною «команда управління гідромуфтою» - терми «відкрита», «закрита» (рисунок 4).

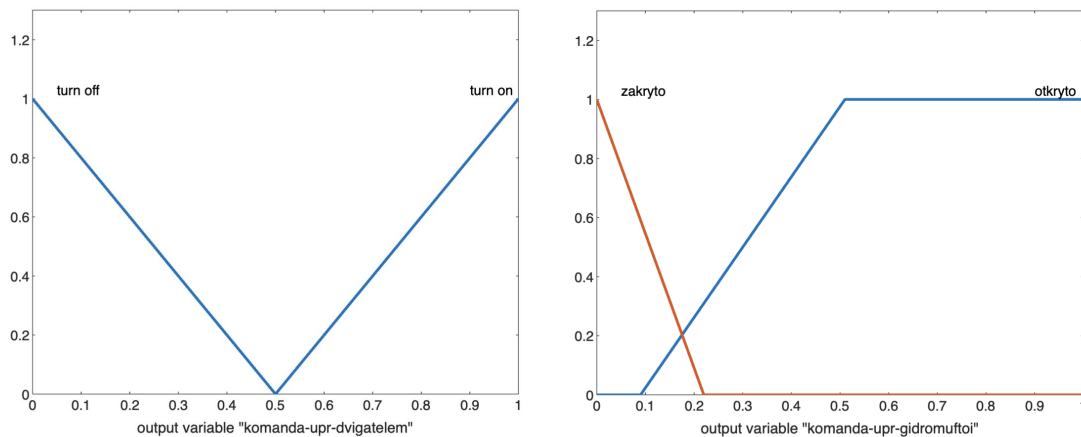


Рисунок 4 - Опис вихідних лінгвістичних змінних

Взаємодія між вхідними та вихідними змінними описується системою певних логічних правил, представлених на рисунку 5

- 1 If (uskorenie is danger) and (fskorost e danger) and (pokszhefs is 0-10) then (komanda-upr-dvigaieiem is vy)(komanda-upr-g>dromuftoi is otkryto) (1)
- 2 If (uskorenie is danger) and (fskorost e danger) and (pokszhefs is 10-50) then (komanda-upr-dvigaieiem is vy)(komanda-upr-g>dromuftoi is otkryto) (1)
- 3 If (uskoreme is danger) and (skorost is danger) and (polozheme is 50-90) then (komanda-upr-dvigatелеm s vkl)komanda-upr-gidromuftoi is otkryto) (1)
- 4 If (uskorenie is norma) and (skorost is norma) and (polozheme is £0-90) then (komanda-upr-dvigatелеm is vy)Kkomanda-upr-gidromuftoi is zakryto)(1)
- 5 If (uskorenie is danger) and (skorost is norma) and (polozhenie is 10-50) then (komanda-upr-dvigatелеm is vkl)(komanda-upr-gidromuftoi is zakryto) (1)

Рисунок 5 - Система логічного взаємозв'язку між вхідними та вихідними лінгвістичні змінні

Для візуалізації нечітких правил входів - виходів представимо поверхню нечіткої бази знань (рисунок 6).

Між системами керування на нечіткій логіці основним приводом поворотної платформи баштового крана і допоміжним приводом існує і чітке логічне правило - опис стану гідромуфти допоміжного приводу приймає значення керуючого сигналу «відкрита», тільки якщо стан гідромуфти основного приводу описано значенням «закрита». Пов'язано це з тим, що два приводи встановлені в системі паралельно і включення одного в роботу виключає включення іншого. Цей логічний взаємозв'язок реалізується за допомогою реле, працюючого як ключ, що вдосконалено у функціональній схемі системи керування, змодельоване в програмному комплексі «Simulink» як блок «Switch».

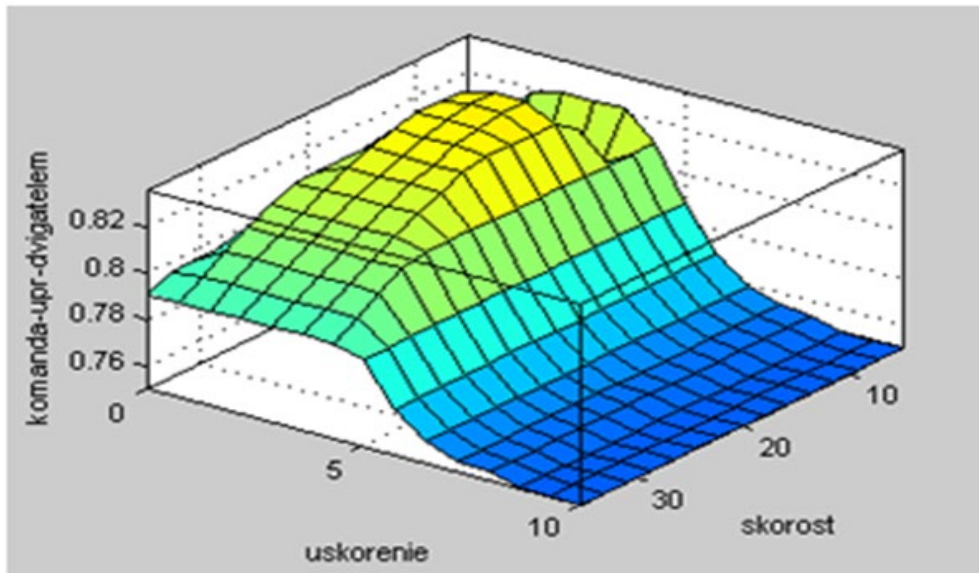


Рисунок 6 - Поверхня бази знань входи – виходи

Висновки

1. Спосіб забезпечення стійкості стаціонарного баштового крана в умовах повітряних ударних хвиль заснований на принципі активного коригування та підтримки заданого положення стріли крана щодо швидкісного натиску з попереджуючих керуючих сигналів механізми, що забезпечують поворот стріли крана та збереження стійкості до виникнення критичного моменту.

2. Розроблений спосіб реалізований у алгоритмах забезпечення стійкості стаціонарного баштового крана при швидкісному натиску повітряної ударної хвилі заснованих на застосування методів нечіткої логіки.

3. Між системами керування на нечіткій логіці основним приводом поворотної платформи баштового крана та допоміжним приводом існує чітке логічне правило - опис стану гідромуфти допоміжного приводу набуває значення керуючого сигналу “відкрито”, тільки якщо стан гідромуфти основного приводу описано значенням “закрито”.

Література:

1. Михайлов Є.П. Конспект лекцій «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин». Державний університет «Одеська Політехніка», Одеса 2021, 89с.

2. Волянюк В., Горбатюк Є., Міщук Д. Визначення динамічних навантажень в механізмі підймання кранів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2022. Вип. 100. С. 12–22. DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2022.100.0201>

3. Determination of dynamic loads in the crane lifting mechanism / Volianiuk V.O., Gorbatyuk Ie.V., Terentyev A.A., Bulavka O.O. Modern engineering and innovative technologies. Issue №22. Part 1. August 2022. P. 3-14. DOI: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-22-01-006>.

4. Нейромережеві технології в системах управління: підручник / Кузнецов Б.І., Василець Т.Ю., Нікітіна Т.Б., Коломиєць В.В., Варфоломійєв О.О.



Укр. інж.-пед. акад. Харків: УПА, 2014. 232 с.

5. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. Versions. The MathWorks, Inc, 1999. 235p.

6. Черній Д.І., Головенко А.Д. Технологія експрес-прогнозу нестационарних нелінійних аераційних та гідрологічних процесів // International Workshop "PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTIES" (PDMU2008), Abstracts, September 22-27, 2008. Crimea (Novy Svit), Ukraine, pp.127-128.

7. Черній Д.І., Довгий С.О., Головенко О.Д. Особливості моделювання аеродинаміки висотної забудови та будівельних конструкцій // Праці XII Міжнародного симпозіуму МДОЗМФ "2005. Херсон-2005. С. 375- 377.

***Abstract.** The operation of tower cranes on construction sites depends on the action of dynamic loads. One component of these loads is the speed pressure of the air shock wave, which can lead to the shutdown of cranes, as well as possible accidents or capsizing lead to downtime and significant economic costs. The article developed a method and implemented in algorithms to ensure the stability of the tower crane in conditions of air shock waves, based on the use of methods of fuzzy logic. The implementation of the algorithms given in the work will help: control and ensure the stability of the tower crane in a non-operating state in the conditions of the high-speed pressure of the air shock wave; Monitor the stability of the lifting crane during unloading and loading operations in working condition under air shock wave conditions.*

***Key words:** tower crane, high-speed pressure, air shock wave, algorithm, fuzzy logic method, Fuzzy Logic MATLAB Fuzzy analysis package.*

Стаття відправлена: 20/12/2023

© Горбатюк Є.В., Терентьев О.О., Рашківський В.П., Булавка О.О.