

Wpłynęło 18.01.2012 r.
Zrecenzowano 15.03.2012 r.
Zaakceptowano 21.05.2012 r.

Tłumienie drgań poprzecznych belki opryskiwacza polowego za pomocą amortyzatorów

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Edmund KAMIŃSKI^{1) ADEF}, **Igor S. KRUK**^{2) ABEF}

1) *Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Mazowiecki Ośrodek Badawczy
w Kłudzienku*

2) *Białoruski Uniwersytet Agrotechniczny w Mińsku*

Streszczenie

Dokonano przeglądu układów zawieszenia belek opryskowych opryskiwaczy polowych pod kątem właściwości tłumiących ich wahania poprzeczne. Wyprowadzono zależności na kąt wychylenia belki w funkcji czasu dla założonych wartości masy belki, współczynnika oporów amortyzatora i warunków początkowych. Badania prowadzono na fabrycznym torze przeszkód z pasem betonowym i rozmieszczonymi na nim, w odległościach co 4 m, przeszkodami w postaci półcylindrycznych belek o wysokościach 7, 14 i 16 cm. Ustalono kąt ustawienia amortyzatora na 45° oraz zastosowano amortyzator o współczynniku tłumienia μ równym $0,6 \text{ kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ podczas rozprężania i $0,1 \text{ kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ podczas ściskania. Mierzono maksymalny kąt φ wychylenia belki opryskowej oraz czas jej powrotu do położenia poziomego. W zależności od wysokości przeszkody kąt wychylenia początkowego belki wynosił od 0,035 do 0,105 rad, a czas powrotu do położenia poziomego – od 0,2 do 0,6 s. Badania stanowiskowe kilku rozwiązań stabilizacji belek opryskowych opryskiwaczy polowych umożliwiły określenie ich zalet i wad. Na podstawie badań opracowano konstrukcje własne (system stabilizacji belki opryskowej opryskiwacza polowego oparty na równoległoboku i system stabilizacji belki opryskowej opryskiwacza polowego oparty na bezpośrednim mocowaniu belki na siłowniku hydraulicznym, służącym do ustalania wysokości nad ziemią), które, po sprawdzeniu na prototypach maszyn, wdrożono do produkcji seryjnej w przedsiębiorstwach na Białorusi.

Słowa kluczowe: opryskiwacz polowy, tłumienie drgań, belka opryskowa, amortyzator.



Wstęp

Ważnym elementem systemu precyzyjnego nawożenia nawozami ciekłymi i ochrony roślin jest stabilna praca belki opryskowej opryskiwacza polowego, której położenie powinno być równoległe do opryskiwanej powierzchni, bez istotnych wahań poprzecznych [HOŁOWNICKI 2005; POPLAWSKI, SZULC 2010]. Jest to szczególnie ważne w przypadku opryskiwaczy o dużych szerokościach roboczych, dochodzących do 50 m. Jako elementy stabilizacyjne w układzie zawieszenia belki opryskowej, są stosowane – w zależności od konstrukcji maszyny – sprężyny, amortyzatory, resory itp.

Na poruszający się po polu agregat opryskowy ma wpływ wiele czynników, w tym: prędkość i kierunek wiatru, ukształtowanie terenu (płaski, falisty), stan powierzchni pola i jego nierówności oraz związane z tym opory przetaczania agregatu, a także przechyły poprzeczne i podłużne maszyny [KAMIONKA 2005; LIPIŃSKI i in. 2011; MUZALEWSKI 2008]. Ma to istotny wpływ na przebieg procesu technologicznego, dokładność oprysku oraz wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne i ekologiczne [SZULC 2008].

Duże znaczenie ma także efektywność wykorzystania cieczy użytkowej i jej straty spowodowane znoszeniem i opadaniem na glebę. Ocenia się, że zależnie od rodzaju opryskiwanych roślin, ich wysokości i rodzaju oprysku (drobno-, średnio- lub grubokroplisty), średnio zaledwie ok. 50% cieczy użytkowej trafia na rośliny. Około 10% są to straty do powietrza, a 40% – straty spowodowane opadaniem na glebę [ROGALSKI, KAMIŃSKI 2001]. Ograniczenie tych strat jest ważne zarówno ze względu na koszty, jak i ochronę środowiska. W tym celu są budowane coraz doskonalsze opryskiwacze polowe, wyposażane w komputery pokładowe, współpracujące z nawigacją satelitarną [ANTHONIS i in. 2005; BIZA i in. 2008; WÓJCICKI 2007; 2009].

Celem badań było określenie:

- zależności funkcyjnej opisującej proces drgań poprzecznych belki opryskowej opryskiwacza polowego, z uwzględnieniem jej bezwładności, ustawienia i cech tłumiących amortyzatorów,
- wpływu podstawowych parametrów układu zawieszenia belek opryskiwaczy polowych na skuteczność tłumienia drgań poprzecznych spowodowanych niestabilną pracą agregatu i nierównościami terenu, a także dobór sprężyn i amortyzatorów do belek opryskiwaczy polowych produkowanych na Białorusi.

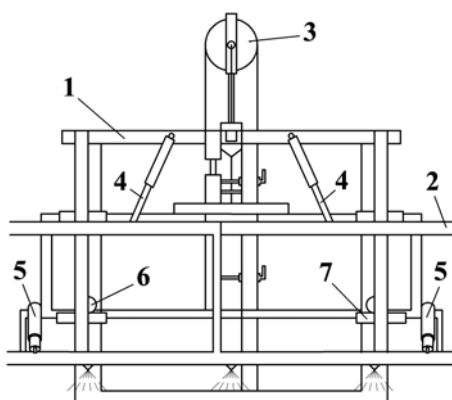
Obiektem badań był przyczepiany opryskiwacz ciągnikowy z belką opryskową, podwieszoną na równoległoboku z dwoma amortyzatorami tłumiącymi jej drgania.

Rozważano dwa systemy zawieszenia belek opryskowych – stabilizację na równoległoboku i zawieszeniu wahliwym z zastosowaniem siłowników hydraulicznych.

Materiał i metody

Podstawą prowadzonych rozważań były rozwiązania konstrukcyjne, stabilizujące pracę belek opryskowych stosowane przez uznane w świecie firmy, takie jak: Lemken, Amazone, Hardi i Jacto.

System stosowany w opryskiwaczach zawieszanych i przyczepianych firmy Lemken (rys. 1) nosi nazwę „Parasol”. Belka opryskowa (2) jest mocowana do ramy nośnej (1) wahliwie. W celu uzyskania płynności pracy belki w płaszczyźnie pionowej są stosowane metalowo-gumowe zderzaki z poziomymi bocznymi prowadnicami (6), wymienne elementy poślizgowe (7) i amortyzatory (4). Do tłumienia drgań belki w płaszczyźnie poziomej są stosowane amortyzatory (5). Wysokość ustawienia belki nad opryskiwaną powierzchnią jest regulowana za pomocą siłownika hydraulicznego, współpracującego z mechanizmem łańcuchowym i zębatą rolką (3).



Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration

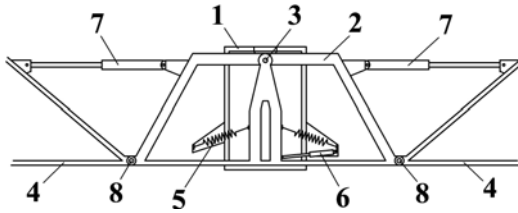
Rys. 1. Sposób zawieszenia belki opryskowej w opryskiwaczu firmy Lemken: 1 – rama maszyny, 2 – belka opryskowa, 3 – rolka i mechanizm podnoszenia belki, 4 – amortyzatory pionowe, 5 – amortyzatory poziome, 6 – rolki prowadzące, 7 – wymienne elementy poślizgowe

Fig. 1. Mounting manner of spring beam in field sprayer of Lemken firm production; 1 – frame of machine, 2 – spraying beam, 3 – roller and beam lifting mechanism, 4 – vertical shock absorbers, 5 – horizontal shock absorbers, 6 – guide rollers, 7 – exchangeable slide elements

Belka opryskowa w opryskiwaczach firmy Amazone (rys. 2) składa się z części centralnej (środkowej) (2) i sekcji bocznych (4), połączonych między sobą za pomocą przegubów (8).

Składanie sekcji bocznych (4) w położenie transportowe odbywa się za pomocą siłowników hydraulicznych (7). Część centralna (2) konstrukcji nośnej belki jest mocowana do ramy (1) wahadłowo na przegubie (3), z zainstalowanym sprężynowym mechanizmem amortyzującym, tłumiącym drgania w płaszczyźnie poziomej. W celu zapewnienia płynności ruchu belki w płaszczyźnie pionowej są stosowane elementy sprężynowe (5) i amortyzator (6).

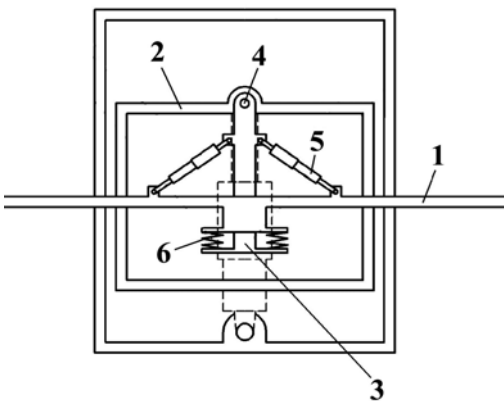
W opryskiwaczach firmy Hardi (rys. 3) belka opryskowa (1) jest zawieszona wahadłowo na ramie przesuwnej (2) przez wspornik (tłoczysko) (3) i układ sprężyn (6), w sposób umożliwiający wahania w płaszczyźnie zawieszenia, a centralny



Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration

Rys. 2. Schemat zawieszenia belki opryskowej w opryskiwaczach firmy Amazone: 1 – rama maszyny, 2 – sekcja środkowa belki opryskowej, 3 – podwieszenie belki, 4 – sekcje boczne, 5 – sprężyny, 6 – amortyzatory, 7 – siłowniki hydrauliczne, 8 – przeguby

Fig. 2. Scheme of spraying beam mounting in field sprayers of Amazone firm production; 1 – frame of machine, 2 – central section of spraying beam, 3 – beam suspension, 4 – side sections, 5 – springs, 6 – shock absorbers, 7 – remote control hydraulic cylinder, 8 – articulated joints



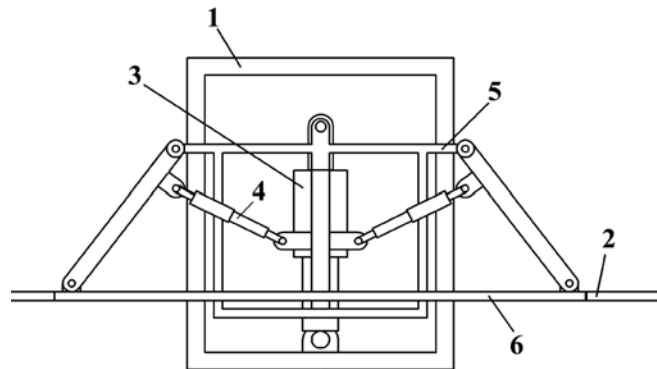
Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration

Rys. 3. Schemat zawieszenia belki opryskowej w opryskiwaczu firmy Hardi: 1 – belka opryskowa, 2 – rama przesuwana, 3 – wspornik (tłoczysko), 4 – przegób, 5 – amortyzatory, 6 – układ sprężyn

Fig. 3. Scheme of spraying beam mounting in the sprayer of Hardi firm production; 1 – spraying beam, 2 – slideable frame, 3 – bearer (piston rod), 4 – articulated joint, 5 – absorbers, 6 – spring arrangement

wspornik (3) jest mocowany do ramy (2) na przegubie (4) z poziomą osią, umożliwiającą wykonywanie obrotu. Tłumienie drgań, wywoływanych podczas jazdy, odbywa się za pomocą amortyzatorów hydraulicznych (5) i układu sprężyn (6).

Firma Jacto w swych opryskiwaczach wykorzystuje ideę sztucznego zwiększenia masy belki opryskowej (rys. 4). Konstrukcja nośna belki opryskowej (2) jest mocowana za pomocą układu przegubowo-dźwigniowego w kształcie litery A do belki przesuwnej (5), zamocowanej na ramie maszyny (1). Zawieszenie może się przesuwać w płaszczyźnie ramki za pomocą siłownika hydraulicznego (3) i tym samym zmieniać wysokość ustawienia belki nad opryskiwaną powierzchnią. W dolnej części konstrukcji nośnej belki, znajdującej się za zbiornikiem, jest umieszczony pojemnik (6) o dużej masie (balast), sztucznie zwiększający masę centralnej części belki i tym samym przesuwaną jej środek ciężkości bliżej cen-



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 4. Schemat zawieszenia belki opryskowej firmy Jacto: 1 – rama maszyny, 2 – belka opryskowa, 3 – siłownik hydrauliczny, 4 – amortyzatory, 5 – rama przesuwana belki, 6 – obciążnik części środkowej belki

Fig. 4. Scheme of spraying beam mounting produced by Jacto firm: 1 – frame of machine, 2 – spraying beam, 3 – remote control hydraulic cylinder, 4 – absorbers, 5 – slideable frame of beam, 6 – weight of middle beam part

trum agregatu, co umożliwi zmniejszenie amplitudy drgań poprzecznych za pomocą amortyzatorów (4) z niskim współczynnikiem tłumienia.

Teoretyczną analizę ruchu belki opryskowej względem ramy opryskiwacza przeprowadzono, wykorzystując równanie Lagrange'a drugiego rzędu:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q} = Q \quad (1)$$

gdzie:

t – czas,

q – współrzędna uogólniona,

\dot{q} – prędkość uogólniona (dla postępowego ruchu układu),

Q – siła uogólniona,

E_k – energia kinetyczna układu.

$$E_k = \frac{1}{2} a \dot{q}^2 \quad (2)$$

gdzie:

a – współczynnik bezwładności układu.

Jeżeli przyjmiemy za współrzędną uogólnioną kąt przechyłu belki opryskowej $q = \varphi$, to równanie (1) przyjmie postać:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} = Q_d$$

gdzie:

Q_d – uogólniona siła dysypacji energii przez amortyzatory

$$Q_d = -\mu \cdot \dot{\varphi} \quad (3)$$

gdzie:

μ – współczynnik oporów amortyzatora.

Na energię potencjalną układu składa się tylko energia potencjalna sił ciężenia, a ponieważ środek ciężkości nie przemieszcza się w kierunku pionowym, ma ona wartość zerową.

Po uwzględnieniu zależności (2) i (3) równanie (1) przyjmie postać:

$$a\ddot{\varphi} = -\mu\dot{\varphi} \quad \text{lub} \quad a \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\mu \frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

Obniżając rząd równania różniczkowego, zależność (4) przedstawimy w postaci:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{\mu}{a} \omega \quad (5)$$

gdzie:

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ – prędkość kątowna obrotu belki.

Rozdzielając zmienne i całkując równanie (5), otrzymamy:

$$\int_0^{\omega} \frac{d\omega}{\omega} = -b \int_0^t dt \quad \text{lub} \quad \ln \omega = -bt + C_1 \quad (6)$$

gdzie:

$$b = \frac{\mu}{a};$$

C_1 – stała całkowania.

Stać całkowania może być obliczona z warunków początkowych. Dla $t = 0$ zależność (6) przyjmie postać:

$$C_1 = \ln \omega_0$$

gdzie:

ω_0 – początkowa wartość prędkości kątowej ω .

W ten sposób

$$\ln \omega = -bt + \ln \omega_0 \text{ lub } \ln \frac{\omega}{\omega_0} = -bt \quad (7)$$

Przekształcając wyrażenie (7) otrzymujemy

$$\omega = \omega_0 e^{-bt} = \omega_0 e^{-\frac{\mu}{a}t} \text{ lub } \frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 e^{-bt} = \omega_0 e^{-\frac{\mu}{a}t} \quad (8)$$

Rozdzielając zmienne i całkując równanie (8) otrzymujemy:

$$\int_0^{\varphi} d\varphi = \omega_0 \int_0^t e^{-bt} dt \text{ lub } \varphi = -\frac{\omega_0}{b} e^{-bt} + C_2 \quad (9)$$

gdzie:

C_2 – stała całkowania.

Przyjmując, że początkowe odchylenie belki od płaszczyzny poziomej wynosi φ_0 , z warunku początkowego ($t = 0$) z równania (9) otrzymamy:

$$C_2 = \varphi_0 + \frac{\omega_0}{b}$$

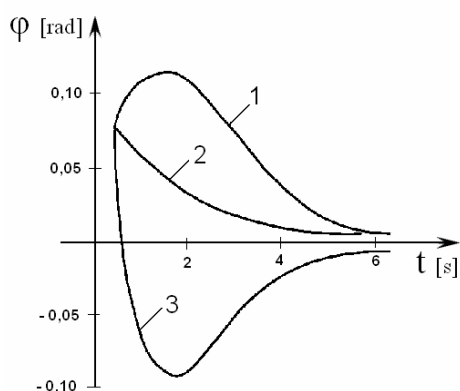
W postaci końcowej wyrażenie (9) zapisujemy jako:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\omega_0}{b} (1 - e^{-bt}) = \varphi_0 + \frac{\omega_0 a}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu}{a}t} \right) \quad (10)$$

Równanie (10) opisuje zależność kąta wychylenia belki opryskowej w stosunku do płaszczyzny poziomej od czasu podczas pracy opryskiwacza polowego, dla danego współczynnika bezwładności układu a i współczynnika oporów amortyzatora μ (rys. 5).

Badania laboratoryjne omówionych opryskiwaczy prowadzono na fabrycznym torze przeszkód z pasem betonowym i rozmieszczonymi na nim, w odległości co 4 m, przeszkodami w postaci półcylindrycznych belek o wysokościach 7, 14 i 16 cm. Na ramie opryskiwacza zamontowano czujnik rejestrujący kąt maksymalnego początkowego wychylenia belki opryskowej w stosunku do płaszczyzny poziomej. Konstrukcja umożliwiała także zmianę kąta α ustawienia amortyzatorów μ w zakresie 25–55° (0,436–959 rad).

Za właściwe uznano amortyzatory ze współczynnikiem oporów μ , wynoszącym 0,6 kN·s·m⁻¹ podczas rozprężania i 0,1 kN·s·m⁻¹ podczas ściskania.



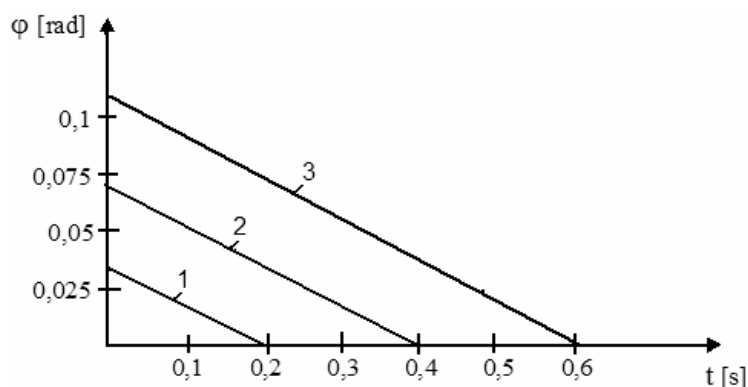
Rys. 5. Zależność kąta wychylenia belki opryskowej φ od czasu t : 1 – $\dot{\varphi}_0 > 0$; 2 – $\dot{\varphi}_0 < 0$ ($\dot{\varphi}_0$ małe); 3 – $\dot{\varphi}_0 < 0$ ($\dot{\varphi}_0$ duże)

Fig. 5. Dependence of spraying beam deflection angle φ on the time t : 1 – $\dot{\varphi}_0 > 0$; 2 – $\dot{\varphi}_0 < 0$ ($\dot{\varphi}_0$ small); 3 – $\dot{\varphi}_0 < 0$ ($\dot{\varphi}_0$ large)

Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration

Wyniki i dyskusja

Na podstawie pomiarów na fabrycznym torze przeszkód stwierdzono, że czas tłumienia drgań belki opryskowej (czas powrotu belki do położenia równowagi – poziomego) w zależności od wysokości przeszkody, a tym samym początkowego wychylenia belki wynosił od 0,2 do 0,6 s (rys. 6). Badania wpływu kąta ustawienia amortyzatora w przedziale $\alpha = 22^\circ$ – 55° , wykazały, że najbardziej efektywne tłumienie drgań występuje, gdy wartość $\alpha = 45^\circ$.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration

Rys. 6. Zależność kąta wychylenia belki φ od czasu tłumienia drgań t i wysokości przeszkody: 1 – 7 cm ($\varphi_0 = 0,035$ rad); 2 – 14 cm ($\varphi_0 = 0,070$ rad); 3 – 16 cm ($\varphi_0 = 0,105$ rad)

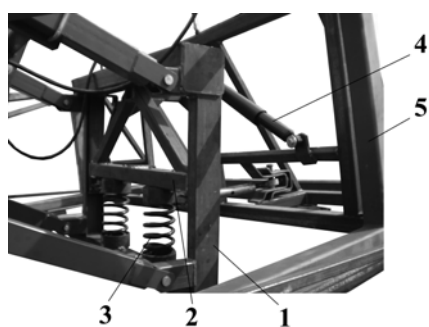
Fig. 6. Dependence of spraying beam deflection angle φ on the time of vibration damping t and obstacle height: 1 – 7 cm ($\varphi_0 = 0.035$ rad); 2 – 14 cm ($\varphi_0 = 0.070$ rad); 3 – 16 cm ($\varphi_0 = 0.105$ rad)

Stwierdzono, że w stosowanych obecnie opryskiwaczach większość elementów układów stabilizujących belki opryskowe znajduje się w znacznej odległości od źródła wymuszającego drgania, w rezultacie czego elementy opryskiwacza, znajdujące się między źródłem wymuszającym drgania belką opryskową, podlegają znacznym obciążeniom dynamicznym.

Podstawowym warunkiem efektywności tłumienia drgań poprzecznych belki opryskowej opryskiwacza polowego jest niepokrywanie się częstotliwości drgań własnych z częstotliwością momentu wymuszającego drgania. Częstotliwość drgań własnych belki opryskowej można regulować sztywnością elementów łączących ją z ramą i masą konstrukcyjną lub łącznie jednym i drugim. Do tłumienia poprzecznych drgań belek opryskowych w nowoczesnych opryskiwaczach powszechnie stosuje się sprężyny i amortyzatory. Wahania belki są tłumione jednocześnie siłą sprężystości sprężyn i siłą oporów amortyzatora.

Badania stanowiskowe kilku rozwiązań stabilizacji belek opryskowych opryskiwaczy polowych umożliwiły określenie ich zalet i wad. Na podstawie badań opracowano konstrukcje własne, które – po sprawdzeniu na prototypach maszyn – wdrożono do produkcji seryjnej w przedsiębiorstwach na Białorusi:

- system stabilizacji belki opryskowej opryskiwacza polowego oparty na równoległoboku, zastosowany w opryskiwaczu „Mekosan-2500-18P”, produkowany w Spółce Akcyjnej „Mekosan” (rys. 7);



Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration

Rys. 7. System stabilizacji belki opryskowej w przypadku zawieszenia belki na równoległoboku: 1 – rama opryskiwacza, 2 – ruchome zawieszenie, 3 – sprężyny podporowe, 4 – amortyzator, 5 – belka opryskowa

Fig. 7. Stabilization system of spraying beam in case of its mounting on parallelogram: 1 – frame of sprayer, 2 – movable mounting, 3 – supporting springs, 4 – absorbers, 5 – spraying beam

- system stabilizacji belki opryskowej opryskiwacza polowego oparty na bezpośrednim mocowaniu belki na siłowniku hydraulicznym, służącym do ustalania wysokości nad ziemią, zastosowany w opryskiwaczu OSZ-2300-18, wdrożony do produkcji w DP „Działowska SHT” (rys. 8).



Rys. 8. System stabilizacji belki polowej opryskiwacza zawieszanej bezpośrednio na cylindrze hydraulicznym: 1 – rama opryskiwacza, 2 – ruchome zawieszenie belki, 3 – sprężyny podporowe ramy, 4 – amortyzatory, 5 – belka opryskowa, 6 – rama podwozia maszyny

Fig. 8. Stabilization system of spraying beam mounted directly on the hydraulic cylinder: 1 – frame of sprayer, 2 – movable mounting of beam, 3 – frame supporting springs, 4 – absorbers, 5 – spraying beam, 6 – frame of machine chassis

Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration

Podsumowanie

Z przeglądu stosowanych w praktyce rozwiązań konstrukcyjnych mocowania belek opryskowych na opryskiwaczach polowych wynika, że mają one wiele niedoskonałości, zwłaszcza związanych z aktywnym tłumieniem poprzecznych drgań belek.

Głównymi czynnikami wymuszającymi drgania poprzeczne belek opryskowych są: nierówności terenu, wąski rozstaw kół jezdnych opryskiwacza i ciągnika, znaczna masa belek opryskowych.

Stabilność pracy belek opryskowych można znacznie zwiększyć przez odpowiednie dobranie parametrów konstrukcyjnych zawieszenia ich na opryskiwaczu oraz właściwy dobór sprężyn i amortyzatorów, tłumiących drgania poprzeczne. Na podstawie badań wstępnych ustalono wartości: współczynnika oporu amortyzatorów podczas rozprężania ($\mu = 0,6 \text{ kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$) i ściskania ($\mu = 0,1 \text{ kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$) oraz kąta ustawienia amortyzatorów ($\alpha = 45^\circ$). Czasy tłumienia drgań w zależności od wysokości przeszkody na torze wynosiły 0,2–0,6 s.

Przeprowadzone eksperymenty laboratoryjne i polowe umożliwiły udoskonalenie systemu tłumienia poprzecznych drgań belek opryskowych, a opracowane rozwiązania wdrożono do produkcji przemysłowej. Stabilizację belki polowej zawieszanej na równoległoboku zastosowano w opryskiwaczu przyczepianym Meksan 2500 z belką o szerokości roboczej 18 m, a stabilizację belki polowej zawieszanej przegubowo – w opryskiwaczu przyczepianym OSZ-2300 z belką o szerokości roboczej 18 m.

Bibliografia

- ANTHONIS J., AUDENAERT J., RAMON H. 2005. Design Optimisation for the Vertical Suspension of a Crop Sprayer Boom. *Biosystems Engineering*. Vol. 90(2) s. 153–160.
- BIZA J.S., KRUK I.S., GAJDKOVSKIJ A.I., CIGAREV J. V. 2008. Analityczne wyznaczanie parametrów wahań belki opryskowej zawieszanej wahadłowo i systemem stabilizacji w płaszczyźnie pionowej. *Inżynierij Vestnik*. Nr 1(25) s. 38–40.
- HOŁOWNICKI R. 2005. Stabilizacja belki polowej. *Rolniczy Przegląd Techniczny*. Nr 2(72) s. 30–33.
- KAMIONKA J. 2005. Wpływ techniki na efektywność pogłównego nawożenia zbóż. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 15(75). ISSN 1429-7264 ss. 106.
- LIPIŃSKI A., SOBOTKA S., LIPIŃSKI S. 2011. Przegląd systemów stabilizacji belek polowych opryskiwaczy. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8(133) s. 181–187.
- MUZALEWSKI A. 2008. *Zasady doboru maszyn rolniczych*. Warszawa. IBMER. ISBN 978-83-89806-21-5 ss. 92.
- POPLAWSKI Z., SZULC T. 2010. Innowacyjne rozwiązania w technice ochrony roślin. Część I. Elementy wyposażenia rolniczych opryskiwaczy polowych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*. Nr 1/2010 s. 17–22.
- ROGALSKI L., KAMIŃSKI E. 2001. Bilansowanie rozchodu cieczy łączonej nawozowo-pestycydowej w opryskiwaniu pszenicy. W: *Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej*. Warszawa. IBMER s. 211–216.
- SZULC T. 2008. Test stabilizacji belek opryskiwaczy. *Rolniczy Przegląd Techniczny*. Nr 9 s. 30–33.
- WÓJCICKI Z. 2007. Metody oceny działalności gospodarstw rodzinnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 5–13.
- WÓJCICKI Z. 2009. Badania efektywności modernizacji gospodarstw rodzinnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 13–23.

Edmund Kamiński, Igor S. Kruk

DAMPING OF CROSSWISE VIBRATIONS IN FIELD SPRAYER BEAM BY MEANS OF THE SHOCK ABSORBERS

Summary

The linkage systems of spraying beams in field sprayers were analysed in respect of damping their crosswise vibrations. Relationships of beam deflection angle in function of the time was derived for assumed values of beam weight, shock absorber resistance and initial conditions. Investigations were conducted on the obstacle track of concrete surface and spaced on every 4 meters concrete obstacles in form of half-cylindrical beams 7, 14 and 16 cm high. The absorber position was settled on 45°, and an absorber of damping coefficient $\mu = 0.6 \text{ kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ at expansion, and $0.1 \text{ kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ at compression, was used. Full scale spraying beam deflection angle φ , as well as the time of its return to horizontal position, were measured. Depending on

obstacle height, the initial beam deflection angle ranged from 0.035 to 0.105 radians, whereas the time of return to horizontal position – from 0.2 to 0.6 sec. Test stand investigations of few spraying beam stabilization solutions, enabled determination of their advantages and faults. Test results made it possible to develop the own constructions (spraying beam stabilization system of field sprayer based on the parallelogram, and spraying beam stabilization system based on direct fastening the beam on remote control hydraulic cylinder used to settling the height above the ground). Mentioned constructions, after testing on the prototypes of machines, have been implemented into series production in some Belorussian enterprises.

Key words: field sprayer, spraying beam, vibration damping, shock absorber

Adres do korespondencji

prof. dr hab. Edmund Kamiński
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Mazowiecki Ośrodek Badawczy
05-825 Kłudzienko gm. Grodzisk Mazowiecki
tel. 22 724-07-02 wew. 112; e-mail: e.kaminski@itp.edu.pl