

УДК 631.372

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЩУПОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЖДЕНИЯ

Матущенко Алексей Евгеньевич
старший преподаватель
archangel24@mail.ru

Сарксян Мовсес Дмитриевич
студент
movses.sarksyan.03@mail.ru

Целью в данной статье является поиск рекомендаций для выбора оптимальных параметров при проектировании щупов. Также рассмотрим в этой статье требования к механическим щупам в разных режимах работы и положениях. Итогами данной работы является нахождение уравнения движения щупа. Применением центрирующих и демпфирующих устройств движение щупа преобразуется в быстро затухающее колебательное или аperiodическое

Ключевые слова: ЩУП, ОТКЛОНЕНИЕ, КОЛЕБАНИЕ, ОСЬ, НЕЙТРАЛЬ, ДЕМПФИРУЮЩИЙ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-188-014>

UDC 631.372

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical and agricultural sciences)

SELECTION OF PARAMETERS OF MECHANICAL PROBES OF AUTOMATIC DRIVING SYSTEMS

Matushchenko Alexey Evgenievich
senior lecturer
archangel24@mail.ru

Sarksyan Movses Dmitrievich
student
movses.sarksyan.03@mail.ru

The purpose of this article is to find recommendations for choosing optimal parameters when designing probes. We will also consider in this article the requirements for mechanical probes in different operating modes and positions. The results of this work is to find the equation of motion of the probe. By using centering and damping devices, the motion of the probe is transformed into a fast-damping oscillatory or aperiodic

Keywords: PROBE, DEFLECTION, OSCILLATION, AXIS, NEUTRAL, DAMPING

При междурядной обработке сельскохозяйственных культур тракторным агрегатом, оборудованным системой автоматического вождения (ЗСАВ), в качестве датчиков, информирующих о положении агрегата относительно рядков обрабатываемых растений, используются механические щупы (копиры), направляемые рядом растений. Отклонение направления движения агрегата от направления рядка, с которым взаимодействует щуп, сопровождается отклонением последнего от среднего (нейтрального) положения и подачей сигнала (обычно электрического), преобразуемого САВ в поворот направляющих колес.

Конструкция щупа должна удовлетворять ряду требований, иногда противоречивых. Щуп должен быть прочным, виброустойчивым, упругим

<http://ej.kubagro.ru/2023/04/pdf/14.pdf>

при соударениях с комками почвы и случайными препятствиями (бороздой, канавкой камнями). Обеспечение необходимого запаса прочности связано с утяжелением щупа. С другой стороны, щуп должен быть возможно более легким, иметь минимальное отклоняющее усилие для обеспечения его высокой чувствительности.

Конструкционное решение щупа и его модели должно подходить под вид обрабатываемой культуры при этом его форма должна в себе воплощать, также параметры как плавные переходы в заходной части, что позволяет нам снизить травматизм обрабатываемых растений.

При возделывании кукурузы, которая относится к высокостебельной культуре, технологическим решением является изготовление щупов, трубок из легированной стали либо пружин из инструментальной стали.

При обработке культур встречаются как и единичные пропуски растений в рядке так и многочисленные в связи с этим для качественной работы щупов необходимо учитывать данные условия. Чтобы выполнить заданные условия без участия машиниста щуп можно перевести в нейтральное положение, что позволяет устройству совершать свободные колебания, не имея опорной траектории.

Уравнение движения свободно подвешенного щупа

$$\varphi'' = -Ph \sin \varphi, \quad (1)$$

где J – момент инерции щупа относительно оси подвеса;

φ – угол отклонения щупа

$P = mg$ – вес щупа;

h – расстояние от оси подвеса до центра тяжести щупа.

При малых значениях φ принимаем $\sin \varphi = \varphi$.

Уравнение (1) запишем в виде:

$$J\varphi'' + Ph\varphi = 0; \quad (2)$$

$$\varphi'' + \frac{Ph}{J}\varphi = 0.$$

Примем $K^2 = \frac{Ph}{J}$.

Корни характеристического уравнения

$$\lambda^2 + K^2 = 0; \quad \lambda_{1,2} = \pm Ki.$$

Решение уравнения (2):

$$\varphi = C_1 \cos Kt + C_2 \sin Kt. \quad (3)$$

C_1 и C_2 определим из начальных условий:

$$t = 0; \quad \varphi_1 = \varphi_0; \quad \dot{\varphi} = \omega_0;$$

$$C_1 = \varphi_0; \quad C_2 = \frac{\omega_0}{K}.$$

Уравнение движения щупа

$$\varphi = \varphi_0 \cos Kt + \frac{\omega_0}{K} \sin Kt. \quad (4)$$

Приняв $C_1 = A \sin x$; $C_2 = A \cos \alpha$ и подставив их в уравнение (3), получим

$$\varphi = A \sin x \cos Kt + A \cos \alpha \sin Kt = A \sin(Kt + \alpha); \quad (5)$$

где $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = \sqrt{\varphi_0^2 + \left(\frac{\omega_0}{K}\right)^2}$ – амплитуда колебаний;

$\alpha = \arctg\left(\frac{\varphi_0 K}{\omega}\right)$ – начальная фаза колебаний;

$$T = \frac{2\pi}{K} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{Ph}} - \text{период колебаний щупа.}$$

При наличии пружинного установителя нейтрали и демпфера уравнение движение щупа примет вид

$$J\varphi'' = -Ph\varphi - M_{\text{тр}} - M_{\text{пр}}, \quad (6)$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент от сил вязкого трения демпфера;

$M_{\text{пр}}$ – момент от силы пружины.

$M_{\text{тр}} = D\varphi'$, где D – коэффициент демпфирования;

$M_{\text{пр}} = M_0 + M_\varphi\varphi_1$, где M_0 – момент, создаваемый первоначальным поджатием пружины, удерживающей щуп и нейтрали;

M_φ – приведенная к оси подвеса жесткость пружины.

Подставляя значение $M_{\text{тр}}$ и $M_{\text{пр}}$ в уравнение (6),

получим

$$J\varphi'' + D\varphi' + (Ph + M_\varphi)\varphi = -M_0$$

или

$$\varphi'' + \frac{D}{J}\varphi' + \frac{Ph+M_\varphi}{J}\varphi = -\frac{M_0}{J}.$$

Решение уравнения (7):

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2,$$

где φ_1 – решение однородного уравнения (без правой части);

φ_2 – частное решение.

Однородное уравнение имеет вид

$$\varphi_1'' + \frac{D}{J} \varphi_1 + \frac{Ph+M\varphi}{J} \varphi_1 = 0 \quad (8)$$

Составляем характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + \frac{D}{J} \lambda + \frac{Ph+M\varphi}{J} = 0.$$

Примем $\frac{D}{J} = 2n$; $\frac{Ph+M\varphi}{J} = K^2$,

тогда $\lambda^2 + 2n\lambda + K^2 = 0$

Решение характеристического уравнения:

$$\lambda_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - K^2} \quad (9)$$

Корни $\lambda_{1,2}$ могут быть:

- 1) λ_1 и λ_2 – оба действительные и неравные, при $n > k$ сильное демпфирование системы;
- 2) λ_1 и λ_2 – сопряженные комплексные, при $n < K$ слабое демпфирование;
- 3) λ_1 и λ_2 – действительные и равные, при $n = K$ критическое демпфирование.

Соответствующие решения уравнения (8):

$$1. \varphi_1 = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} = e^{-nt} (C_1 e^{\sqrt{n^2 - k^2} t} + C_2 e^{-\sqrt{n^2 - k^2} t}).$$

т. к. λ_1 и λ_2 – отрицательны, то при $t \Rightarrow t \rightarrow \infty$ имеют место аперiodически затухающие колебания.

2.

$$\varphi_1 = e^{-nt} (C_1 \cos K_1 t + C_2 \sin K_1 t), \quad (10)$$

где $K_1 = \sqrt{K^2 - n^2}$,

при $n < k$ имеют место затухающие колебания.

3.

$$\varphi_1 = e^{-nt} (C_1 + C_2 t), \quad (11)$$

при $n = K$ апериодически затухающие колебания, как и в случае $n > K$.

Так как сильное демпфирование снижает чувствительность щупа и удлиняет переходный процесс, целесообразно выбирать степень демпфирования так, чтобы выполнялось условие $n < K$. Поэтому дальнейшее решение уравнения (7) приведем для случая $n < K$.

Частное решение φ_2 уравнения (7) определим, принимая $\varphi_2 = const$; $\varphi = 0$; $\varphi' = 0$.

Подставляя в уравнение (7), получим

$$\varphi_2 = -\frac{M_0}{Ph + M_\varphi} \quad (12)$$

Полное решение уравнения (7), используя уравнения (10) и (12):

$$\varphi_1 = e^{-nt} (C_1 \cos K_1 t + C_2 \sin K_1 t) - \frac{M_0}{Ph + M_\varphi}. \quad (13)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим из начальных условий:

$$t = 0; \varphi = \varphi_0; \varphi' = \omega_0.$$

Дифференцируя уравнение (13) и подставляя значения t, φ и φ' , соответствующие начальным условиям, в выражения для φ и φ' , получим

$$C_1 = \varphi_0 + \frac{M_0}{Ph + M_\varphi} = \varphi_0 - \varphi_2,$$

$$C_2 = \frac{\omega_0 + n(\varphi_0 - \varphi_2)}{\varphi_1}.$$

Принимая $C_1 = A \sin \alpha$; $C_2 = A \cos \alpha$, уравнение (13) преобразуется к виду

$$\varphi = A e^{-nt} \sin(K_1 t + \alpha) - \frac{M_0}{Ph + M_\varphi}, \quad (14)$$

где $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$ – амплитуда колебаний;

$\alpha = \arctg \frac{C_1}{C_2}$ – начальная фаза колебаний.

Период колебаний

$$T = \frac{2\pi}{K_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{K^2 - n^2}}.$$

Как уже отмечалось, параметры системы демпфирования следует выбирать так, чтобы выполнялось условие $n < K$. С другой стороны, значение $K_1 = \sqrt{K^2 - n^2}$, определяющее колебательность системы, должно быть минимальным.

Проанализируем выражение для K_1

$$K_1 = \sqrt{K^2 - n^2} = \sqrt{\frac{Ph + M_\varphi}{J} - \frac{D^2}{4J^2}} = \sqrt{\frac{4J(Ph + M_\varphi) - D^2}{2J}}. \quad (15)$$

Степень демпфирования и жесткость пружины M_φ должны иметь небольшие значения, чтобы отклоняющее усилие щупа было минимальным и незначительно увеличивалось при его отклонении.[3]

Значение Ph может достигать сравнительно большой величины в связи с необходимостью обеспечения достаточной прочности щупа.

Для уменьшения колебательности щупа целесообразно устанавливать противовес, уравновешивающий щуп относительно оси вращения, при этом Ph уменьшается вплоть до нуля.[4]

В системе демпфирования щупа САВ, проходившей испытания в полевых условиях, значения Ph и M_φ составляли соответственно 270 кгмм и $57,4 \frac{\text{кгмм}}{\text{рад}}$. Щуп полностью уравновешивался установкой противовеса $Ph = 0$. Момент инерции щупа с противовесом J' увеличился примерно в

1,5 раза, так как центр тяжести противовеса находился ближе к оси подвеса, чем центр тяжести щупа.

$J' = 1,5$, однако произведение $J(Ph + M_{\varphi})$ уменьшается в 3,8 раза. Кроме того, K_1 уменьшается в 1,5 раза за счёт увеличения знаменателя выражение (15).

В результате установки пружинного установителя нейтрали, демпфера и противовеса и выбора оптимальных параметров системы устранено раскачивание щупа при прохождении пропусков в рядках растения и одновременно увеличена чувствительность (уменьшено отклоняющее усилие) щупа. Изменение параметров щупа приведено в таблице[5]

	Время в сек до остановки щупа, $\varphi = 20^\circ$	Отклоняющее усилие, г.	
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 20^\circ$
Свободно подвешенный щуп	9	50	250
Щуп с демпфером, установителем нейтрали и противовесом	1,5	50	80

Указанные мероприятия обеспечили удовлетворительное прохождение агрегатом пропусков растений в рядках до 5 м, а в отдельных случаях до 10 м без потери опорной траектории при скорости агрегата 9-12 км/час.[6,7]

В ы в о д ы:

1. Свободно подвешенный щуп при прохождении агрегатом с САВ пропусков растений в рядках совершает колебательные движения, что приводит к “рысканью” и потере.

2. Применением центрирующих и демпфирующих устройств движение щупа преобразуется в быстрозатухающее колебательное или апериодическое.

3. Уравновешивание щупа относительно оси подвеса при наличии центрирующих и демпфирующих устройств позволяет одновременно с устранением колебаний щупа при прохождении агрегатом пропусков растений в рядках повысить чувствительность щупа.

4. Выведены уравнения движения щупа при прохождении пропусков растений в рядках и даны рекомендации по выбору оптимальных параметров при проектировании щупов.

Список литературы

1. Оптимизация массы механического щупа системы автоматического вождения агрегатов по узкопрофильным гребням / В. П. Буяшов, А. П. Буховец, В. Г. Бычковский, И. В. Горбачев // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 5. – С. 23-25. – EDN QCBRHL.

2. Системы параллельного и автоматического вождения в полевом опыте ЦТЗ / В. И. Балабанов, Е. В. Березовский, А. И. Беленков, С. В. Железова // . – 2015. – № 11(42). – С. 38-41. – EDN ZCPCCKZ.

3. Авторское свидетельство № 1055366 А1 СССР, МПК А01В 69/04. Система автоматического вождения тракторного агрегата на склонах : № 3462431 : заявл. 23.03.1982 : опубл. 23.11.1983 / С. С. Калаев, К. Д. Кудзиев ; заявитель ГОРСКИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ. – EDN IKDYUY.

4. Юданова, А. В. Системы автоматического вождения тракторов. (ФРГ) / А. В. Юданова // . – 2006. – № 2. – С. 417. – EDN HUSXSX.

5. Патент № 2577746 С2 Российская Федерация, МПК В62D 5/06, В62D 6/04, В62D 12/00. система автоматического вождения трактора универсала : № 2014154329/11 : заявл. 30.12.2014 : опубл. 20.03.2016 / Ю. Ф. Черняков. – EDN PAUSPP.

6. Архипов, С. М. Создание, исследование и модернизация системы автоматического вождения на базе масштабной модели и автопилота ARDUOVER / С. М. Архипов // Молодежь и наука. – 2020. – № 1. – С. 3. – EDN AJZFJW.

7. Авторское свидетельство № 190686 А1 СССР, МПК А01В 69/04. Копирующее устройство системы автоматического вождения сельскохозяйственных машин : № 853931/30-15 : заявл. 23.08.1963 : опубл. 29.12.1966 / С. П. Гельфенбейн, В. П. Елизаров, Я. И. Файнштейн, В. Г. Чернышев. – EDN LESRKZ.

References

1. Optimizacija massy mehanicheskogo shhupa sistemy avtomaticheskogo vozhdenija agregatov po uzkoprofil'nym grebnjam / V. P. Bujashov, A. P. Buhovec, V. G. Bychkovskij, I. V. Gorbachev // Traktory i sel'hoz mashiny. – 2013. – № 5. – S. 23-25. – EDN QCBRHL.

2. Sistemy parallel'nogo i avtomaticheskogo vozhdenija v polevom opyte CTZ / V. I. Balabanov, E. V. Berezovskij, A. I. Belenkov, S. V. Zhelezova // . – 2015. – № 11(42). – S. 38-41. – EDN ZCPCCKZ.

3. Avtorskoe svidetel'stvo № 1055366 A1 SSSR, MPK A01B 69/04. Sistema avtomaticheskogo vozhdenija traktornogo agregata na sklonah : № 3462431 : zajavl. 23.03.1982 : opubl. 23.11.1983 / S. S. Kalaev, K. D. Kudziev ; zajavitel' GORSKIJ SEL'SKOHO-ZJAJSTVENNYJ INSTITUT. – EDN IKDYUY.

4. Judanova, A. V. Sistemy avtomaticheskogo vozhdenija traktorov. (FRG) / A. V. Judanova // . – 2006. – № 2. – S. 417. – EDN HUSXSX.

5. Patent № 2577746 C2 Rossijskaja Federacija, MPK B62D 5/06, B62D 6/04, B62D 12/00. sistema avtomaticheskogo vozhdenija traktora universala : № 2014154329/11 : zajavl. 30.12.2014 : opubl. 20.03.2016 / Ju. F. Chernjakov. – EDN PAUSPP.

6. Arhipov, S. M. Sozdanie, issledovanie i modernizacija sistemy avtomaticheskogo vozhdenija na baze masshtabnoj modeli i avtopilota ARDUROVER / S. M. Arhipov // Molodezh' i nauka. – 2020. – № 1. – S. 3. – EDN AJZFJW.

7. Avtorskoe svidetel'stvo № 190686 A1 SSSR, MPK A01B 69/04. Kopirujushhee ustrojstvo sistemy avtomaticheskogo vozhdenija sel'skohozjajstvennyh mashin : № 853931/30-15 : zajavl. 23.08.1963 : opubl. 29.12.1966 / S. P. Gel'fenbejn, V. P. Elizarov, Ja. I. Fajnshtejn, V. G. Chernyshev. – EDN LESRKZ.