

регатов. М., 1964. З. Яцкевич В.В. и др. К определению стоимости сельскохозяйственной техники при прогнозировании ее параметров. — В сб.: "Автотракторостроение. Вопросы оптимизации проектирования автомобилей, тракторов и их двигателей", Минск, 1977, вып. 9.

УДК 531.7.08

А.Л. Бобровничай, Е.Я. Строк (Минский тракторный завод, ИНДМАШ АН БССР), Г.А. Молош канд. техн. наук (Белорусский политехнический институт)

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПУТЕЙ УМЕНЬШЕНИЯ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДАТЧИКА СИСТЕМЫ СИЛОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОРУДИЯ

Существенно влияют на качество работы системы силового регулирования расположение датчика, его рабочие параметры и схема конструктивного исполнения. Правильный выбор указанных параметров уменьшает нечувствительность системы и тем самым улучшает качество ее работы.

Нечувствительность систем силового регулирования, которые установлены на опытных моделях перспективных колесных тракторов класса 14—20 кН, значительно превышает рекомендуемые границы [1, 2].

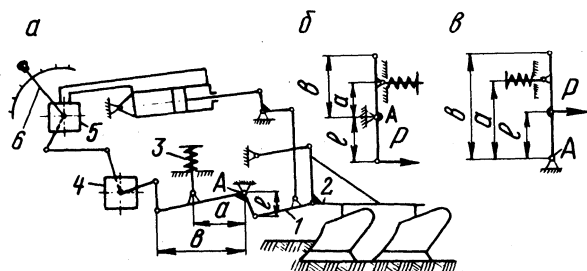


Рис. 1. Принципиальная схема системы силового регулирования положения орудия (а) и возможные схемы конструктивного исполнения датчика (б, в).

В настоящей статье представлены исследования работы датчика системы силового регулирования с целью определения возможных путей уменьшения его нечувствительности.

При работе тракторного агрегата (рис. 1, а) усилия, возникающие в тяге 1 навесного механизма от тягового сопротив-

ления орудия 2, воздействуют на пружину 3 датчика и через передаточный механизм 4 перемещают золотник регулятора 5. Величина усилий (глубина пахоты) устанавливается рукояткой 6.

Минимальное усилие в тяге, которое вызывает срабатывание регулятора (нечувствительность системы), определяется из соотношения

$$\Delta P = c \Delta s i_1 / i_2 + \Delta P_{\text{тр}} \quad (1)$$

где  $c$  — жесткость пружины датчика;  $\Delta s$  — холостой ход (нечувствительность) золотника регулятора;  $i_1 = x/s$  — передаточное отношение от пружины датчика к золотнику;  $x$  — полный рабочий ход пружины;  $i_2 = 1/a$  — передаточное отношение от тяги к пружине датчика;  $s$  — полный рабочий ход золотника.

Усилие, затрачиваемое на преодоление трения в подвижных элементах системы

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_r i_r + \Delta P_{\text{п}} i_{\text{п}} + \Delta P_{\text{д}} i_{\text{д}}, \quad (2)$$

где  $\Delta P_r$ ,  $\Delta P_{\text{п}}$  и  $\Delta P_{\text{д}}$  — соответственно потери на преодоление трения в регуляторе, передаточном механизме и датчике;  $i_r$ ,  $i_{\text{п}}$  и  $i_{\text{д}}$  — передаточные отношения от золотника регулятора, передаточного механизма и датчика к тяге навесного механизма:  $i_r = 1/i_1 i_2$ ;  $i_{\text{п}} = b/l$ . Тогда

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_r / i_1 i_2 + \Delta P_{\text{п}} i_{\text{п}} + \Delta P_{\text{д}} / i_2. \quad (3)$$

Определим влияние сил трения в регуляторе, передаточном механизме и датчике на нечувствительность системы в зависимости от конструктивных параметров датчика. Для возможности регулирования во всем диапазоне усилий параметры датчика должны удовлетворять условию

$$P_{\text{max}} = cx / i_2, \quad (4)$$

где  $P_{\text{max}}$  — максимальное регулируемое усилие в тягах.

Рассмотрим, как изменяется нечувствительность системы с изменением параметров  $c$ ,  $x$  и  $i_2$ . Подставив в выражение (1) значения  $\Delta P_{\text{тр}}$  из уравнения (3), получим

$$\Delta P = c \Delta s i_1 / i_2 + \Delta P_r / i_1 i_2 + \Delta P_{\text{п}} i_{\text{п}} + \Delta P_{\text{д}} / i_2. \quad (5)$$

Из уравнения (5) видно, что с увеличением жесткости пружины датчика и одновременным увеличением передаточного отношения  $i_2$  от тяги к пружине нечувствительность системы регулирования уменьшается. Потери усилий  $\Delta P_d$  в датчике обусловлены трением в силовой кинематической цепи "тяги--пружина датчика", значительная часть которого приходится на шарнир А (рис. 1,а). Потери усилий, приведенные к тягам, в шарнире А определяются из соотношений:

$$\text{Схема 1,а } \Delta P_1 = 0,5 \left[ P^2 (1 + i_2^2) \right]^{\frac{1}{2}} d k l^{-1}, \quad (6)$$

где  $P$  — номинальное (заданное) усилие в тягах;  $k$  — коэффициент трения скольжения;  $d$  — диаметр оси шарнира А.

$$\text{Схема 1,б,в } \Delta P_2 = 0,5P (1 + i_2) d k l^{-1}. \quad (7)$$

Из выражений (6) и (7) видно, что потери усилий  $\Delta P$  уменьшаются с уменьшением  $d$ ,  $k$  и увеличением  $l$ . Однако уменьшение  $d$  ограничивается прочностью шарнира, а увеличение  $l$  — агротехническим просветом. Коэффициент трения  $k$  можно уменьшить установкой подшипников качения, однако это связано с усложнением конструкции.

Наиболее эффективным средством уменьшения потерь в датчиках является выполнение датчика по схеме рис. 1,в, в которой потери на трение в шарнире А можно свести к нулю при  $i_2 = 1$ , т.е. выполнением рычага  $l = a$ .

Лабораторное исследование систем силового регулирования с датчиками (рис. 1, а,в) было проведено на стенде для испытаний систем регулирования. Датчик устанавливался в нижних тягах навесного механизма (рис. 1,а) и в верхней тяге (рис. 1,в).

Чтобы определить влияние конструктивной нечувствительности системы, испытания проводились с серийным и опытным регулятором, которые отличались величиной холостого хода золотника. Холостой ход серийного золотника составлял 0,9 мм, опытного — 0,45 мм. Зависимость усилий в нижних тягах от положения рукоятки управления представлена на рис. 2.

Испытаниями установлено, что при усилиях в тягах 25—42 кН общая нечувствительность системы при комплектации датчика капроновыми втулками в шарнире А составляет 8,7—14,3 кН с опытным регулятором и 10,7—16,4 кН с серийным. Таким образом, уменьшение конструктивной нечувствительности на 50% снизило общую нечувствительность системы только на 14,4—19,4%, что объясняется ее малой величиной в общей

нечувствительности системы. С увеличением усилий в тягах нечувствительность системы возрастает (рис. 2), что объясняется увеличением нагрузки в шарнирах кинематической цепи "нижние тяги—пружина датчика", а следовательно, и силы трения в шарнирах.

В связи со значительной величиной нечувствительности системы (до 40% от регулируемой величины усилия в тягах) были определены ее составляющие: расчетная (конструктивная) величина нечувствительности, потери усилий на трение в датчике, отставание начала движения золотника от пружины датчика и механическое трение в регуляторе.

Расчетная величина нечувствительности системы, определенная из соотношения  $\Delta P = c \Delta s i_1 / i_2$  составила 1,9 кН (22—13% по отношению к общей нечувствительности) при  $\Delta s = 0,45$  мм и 3,8 кН (35,6—23,2%) при  $\Delta s = 0,9$  мм.

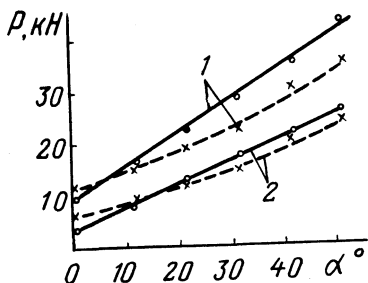


Рис. 2. Зависимость усилий в нижних тягах от положения рукоятки управления регулятором: —○— серийный регулятор; —\*— экспериментальный; 1— при подъеме орудия; 2 — при опускании.

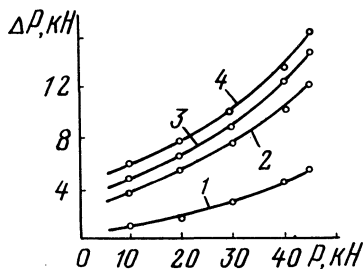


Рис. 3. Зависимость величины нечувствительности датчика от усилия в тягах: 1— до начала разжатия пружины; 2 — при разжатии пружины на 1 мм; 3 — на 2 мм; 4 — на 3 мм.

Исследуемый датчик имел следующие параметры:  $c=300 \text{ Н/мм}$ ;  $i_1=3$ ;  $i_2=0,21$ ;  $x=30$  мм;  $s=10$  мм;  $\Delta s=0,9$  мм (серийный регулятор) и  $\Delta s=0,45$  мм (опытный регулятор).

Потери усилий в датчике определялись при отсоединенном от него регуляторе. При этом с нулевой нагрузки последовательно через 5 кН устанавливалось усилие в нижних тягах в диапазоне 5—45 кН. Затем оно уменьшалось и отмечалось в момент начала разжатия пружины датчика и при перемещении пружины до 1; 2; 2,7 и 3 мм. Усилие в тягах при ходе пружины 2,7 мм соответствовало нечувствительности датчика при холостом ходе золотника  $\Delta s=0,9$  мм, при ходе пружины 1,35 мм — нечувствительности датчика при  $\Delta s=0,45$  мм. Начало

разжатия пружины датчика при уменьшении нагрузки и ее ход на 1—3 мм определены с помощью индикаторной головки.

Величина усилий в тросах, необходимая для начала перемещения пружины датчика и ее хода до 1; 2; и 3 мм от заданной величины усилий, представлена на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что потери усилий в датчике при усилиях 25—42 кН составляют 5,1—10,4 кН (59—73%) при  $\Delta s=0,45$  мм и 5—10,5 кН (47—64%) при  $\Delta s=0,9$  мм. Потери усилий в датчике происходят в диапазоне от 0 до 1 мм перемещения пружины датчика. Дальнейшее перемещение пружины соответствует расчетной величине усилий, т.е. происходит без потерь. Это позволяет сделать вывод, что ход пружины, соответствующий нечувствительности золотника, из условия обеспечения минимальных потерь в датчике должен быть меньше 1 мм, а нечувствительность датчика и системы может быть снижена уменьшением хода пружины, вызывающего срабатывание регулятора.

Испытаниями установлено, что ход пружины, не вызывающий перемещения золотника, составляет 0,5—0,65 мм, что в пересчете на усилие в тросах составляет 800—1000 Н (9,2—7,0%) при  $\Delta s=0,45$  и 700—900 Н (5,5—6,6%) при  $\Delta s=0,9$  мм.

Усилие, затраченное на преодоление трения в регуляторе, составило 800 Н (5,6—9,3%) при  $\Delta s=0,45$  мм и 4,9—7,5% при  $\Delta s=0,90$  мм.

Из проведенного анализа видно, что основная доля общей нечувствительности системы приходится на трение в датчике, в связи с чем возникает необходимость в его уменьшении.

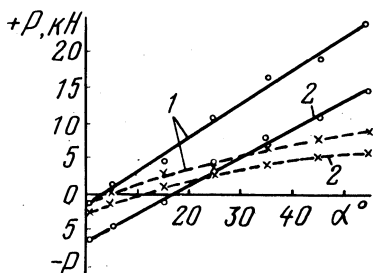


Рис. 4. Зависимость усилий в верхней тяге от положения рукоятки управления регулятором: —○— при  $i_2=0,34$ ; —\*— при  $i_2=0,80$ ; 1 — при подъеме орудия; 2 — при опускании (+) — сжатие; (-) — растяжение.

На рис. 4 представлена зависимость усилий в верхней тяге от положения рукоятки управления для системы с датчиком, выполненным по схеме на рис. 1, в. Зависимость снята при передаточных отношениях  $i_2=0,34$  и  $i_2=0,8$ . Рабочий ход и жесткость пружины датчика оставались постоянными, поэтому потери на трение в датчике оценивались при одинаковых усилиях в тяге.

Из графика видно, что увеличение передаточного отношения  $i_2$  с 0,34 до 0,8 уменьшило нечувствительность системы с 5,6—6,4 до 1,8—2,2 кН, причем потери усилий в датчике снизились с 40,5—47,5% ( $i_2 = 0,34$ ) до 16,7—24,8% ( $i_2 = 0,8$ ).

В результате испытаний выявлено, что наименьшие потери усилий на трение происходят в датчике, выполненном по схеме, представленной на рис. 1, в при передаточном отношении  $i_2 = 0,8$ . В связи с тем, что диапазон регулируемых усилий в верхней тяге при  $i_2 = 0,8$  составляет  $-3...+8$  кН, а в реальных условиях эксплуатации трактора эти усилия могут достигать  $-12...+18$  кН [1], для регулирования усилий в конструкции датчика предусмотрена возможность уменьшения передаточного отношения  $i_2$  путем изменения положения верхней тяги. Однако уменьшение передаточного отношения  $i_2$  значительно увеличивает потери усилий в датчике и общую нечувствительность системы (рис. 4). Поэтому наиболее рационально для этой цели выполнить пружину датчика переменной жесткости.

Резюме. Сила трения в датчике — основная составная часть нечувствительности системы силового регулирования, которая может быть уменьшена увеличением жесткости пружины датчика с одновременным увеличением передаточного отношения от тяги к пружине, соосным расположением пружины датчика и тяги, уменьшением рабочего хода пружины с одновременным увеличением ее жесткости.

Наиболее эффективным средством уменьшения потерь усилий в датчике и системе в целом следует считать выполнение упругого элемента датчика в виде рессоры, упругой балки или применение в качестве датчика тензодатчиков, установленных в тягах для присоединения машин.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гуськов В.В. и др. Обоснование расположения датчика и выбор нечувствительности системы силового регулирования положения орудия. — "Тракторы и сельхозмашины", 1975, № 12.
2. Чудаков Д.А. Основы теории сельскохозяйственных навесных агрегатов. М., 1954, с. 161—164.