

О ВЛИЯНИИ ХАРАКТЕРА ДАВЛЕНИЯ НА РЕСУРС ГИДРООБОРУДОВАНИЯ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.Н. Смирнов,

*доцент каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ,
кандидат технических наук, доцент*

П.В. Авраменко,

зав. каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, кандидат технических наук, доцент

К.А. Омелящик,

студент агроэнергетического факультета БГАТУ

В статье рассмотрено влияние характера давления в стреловых гидроцилиндрах фронтального погрузчика на ресурс гидрооборудования. Установлено, что постоянное давление в стреловых гидроцилиндрах обеспечивает больший ресурс гидрооборудования в сравнении с переменным.

Ключевые слова: погрузчик, гидроцилиндры, давление, ресурс.

The article considers the influence of the pressure character in the boom hydraulic cylinders of the front loader on the service life of the hydraulic equipment. It is established, that constant pressure in boom hydraulic cylinders provides longer service life of hydraulic equipment in comparison with variable pressure.

Key words: loader, hydraulic cylinder, pressure, resource.

Введение

Фронтальные погрузчики находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и в агропромышленном комплексе.

В комплекте со сменными рабочими органами они могут выполнять строительные, дорожные, монтажные, погрузочные и другие работы [1, 2]. Для повышения конкурентоспособности погрузчиков перед разработчиками стоит задача увеличения производительности и долговечности, снижения потребления топлива вновь создаваемых машин по сравнению с существующими образцами.

Таким направлением является создание и применение на фронтальных погрузчиках энергосберегающих гидроприводов (ЭСГП), обеспечивающих снижение энергозатрат при работе, повышение производительности, экономию топлива, снижение нагруженности гидрооборудования и увеличение его ресурса.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям гидроприводов одноковшовых фронтальных погрузчиков, вопросам их динамики, совершенствованию кинематики погрузочного оборудования, разработке ЭСГП посвящены работы С.В. Абрамова, П.С. Акользиной, Т.В. Алексеевой, И.П. Бородачева, А.В. Вавилова, Л.А. Гобермана, Г.В. Забегалова, И.В. Лесковца, А.М. Лукина, А.Н. Подсвинова, Г.И. Поникарова, А.Н.Смирнова, В.Н. Тарасова, Г.И. Теремязева, А.М. Щемелева и др.

Фронтальные погрузчики являются гидрофицированными. В качестве гибких трубопроводов для подачи рабочих жидкостей в гидросистемах этих машин используются рукава высокого давления (РВД).

В настоящее время существует тенденция к повышению энергоемкости, увеличению давления в гидросистеме, уменьшению расхода рабочей жидкости [3].

С другой стороны, это повышает нагруженность гидрооборудования и снижает его ресурс, который зависит не только от величины давления, но и характера его распределения. Влияние постоянного давления на срок службы РВД представлено в работе [4].

При подъеме стрелы давление в гидросистеме переменное, носит приблизительно линейный характер и в некоторых погрузчиках в верхнем положении стрелы по сравнению с нижним положением отличается в два раза в сторону увеличения вследствие изменения силовых плеч стреловых гидроцилиндров [5]. При этом влияние давления на ресурс РВД не исследовалось.

Выбору рациональных координат установки стреловых и ковшовых гидроцилиндров, совершенствованию кинематики погрузочного оборудования посвящены работы [6, 7].

Целью настоящей работы является рассмотрение влияния переменного давления на долговечность РВД, как компонента гидрооборудования фронтального погрузчика.

Основная часть

Влияние давления на долговечность РВД можно представить следующей формулой [4]:

$$T_p = \frac{p_{\text{по}}^3 T_o}{p_{\text{п}}^3}, \text{ ч,}$$

где $p_{\text{по}}$ – постоянное номинальное давление в РВД, МПа;

$p_{п}$ – постоянное рабочее давление в РВД, МПа;
 $T_{р}$ – долговечность РВД при постоянном рабочем давлении, ч;

$T_{о}$ – номинальная долговечность РВД при постоянном номинальном давлении, ч.

На этом основании можно установить, что для одного и того же типа РВД

$$p_{по}^3 T_{о} = p_{п}^3 T_{р} = \text{const.}$$

Назовем произведение $p_{по}^3 T_{о}$ предельной работоспособностью (рабочим ресурсом) РВД.

Определим коэффициент использования рабочего ресурса δ РВД при постоянном рабочем давлении $p_{п}$ (МПа) по истечении времени t (с):

$$\delta = \frac{t}{T_{р}} = \frac{p_{п}^3 t}{k p_{по}^3 T_{о}}, \quad (1)$$

где $k = 3600$ с / ч.

Тогда $p_{п}^3 t \leq \kappa p_{по}^3 T_{о}$.

Время работы РВД при постоянном давлении $p_{п}$:

$$t \leq \frac{k p_{по}^3 T_{о}}{p_{п}^3}, \text{ с.} \quad (2)$$

Выражение (2) справедливо, если постоянное рабочее давление

$$p_{п} < p_{кр},$$

где $p_{кр}$ – критическое давление, при котором РВД аварийно выходят из строя, МПа.

Переменное давление p в стреловых гидроцилиндрах погрузчика при подъеме стрелы и линейном характере его распределения равно

$$p = p_{пн} + \Delta p t, \quad (3)$$

где $p_{пн}$ – давление в стреловых гидроцилиндрах в нижнем положении стрелы, МПа;

Δp – приращение давления в единицу времени, МПа / с.

t – текущее время, с.

Подставляя выражение (3) в формулу (1) и вводя определенный интеграл, получим коэффициент использования рабочего ресурса

$$\delta = \frac{1}{k p_{по}^3 T_{о}} \int_{t_0}^{t_1} (p_{пн} + \Delta p t)^3 dt, \quad (4)$$

где t_0 – время начала процесса, с; $t_0 = 0$;

t_1 – время подъема стрелы, с.

Проинтегрировав выражения (4), получим

$$\delta = \frac{(p_{пн} + \Delta p t_1)^4 - p_{пн}^4}{4k p_{по}^3 T_{о} \Delta p}. \quad (5)$$

Так как $p_{пв} = p_{пн} + \Delta p t_1$,

$$\text{то } \delta = \frac{p_{пв}^4 - p_{пн}^4}{4k p_{по}^3 T_{о} \Delta p}, \quad (6)$$

где $p_{пв}$ – давление в стреловых гидроцилиндрах в верхнем положении стрелы, МПа.

В формуле (5) функция $\delta = f(\Delta p)$ является монотонно возрастающей, имеет минимум при $\Delta p = 0$ (Δp – величина положительная).

Выражение (5) является общим случаем при линейном характере распределения давления, поэтому при $\Delta p = 0$ для раскрытия неопределенности вида 0/0 необходимо воспользоваться правилом Лопиталья-Бернулли, в результате чего получим исходное выражение (1) для случая $p_{п} = \text{const}$.

Введем обозначения:

$$(p_{пн} + \Delta p t_1)^4 - p_{пн}^4 = K_1;$$

$$4k p_{по}^3 T_{о} \Delta p = K_2.$$

По правилу Лопиталья-Бернулли имеем:

$$\delta = \delta_{\min} = \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\frac{dK_1}{d\Delta p}}{\frac{dK_2}{d\Delta p}} = \frac{(p_{пн} + \Delta p t_1)^3 t_1}{k p_{по}^3 T_{о}} = \frac{p_{пн}^3 t_1}{k p_{по}^3 T_{о}}. \quad (7)$$

Итак, выражение (7) аналогично формуле (1).

Следовательно, $\delta = \delta_{\min}$ при $\Delta p = 0$.

Скорость изменения давления Δp можно определить по следующей формуле, если известны $p_{пн}$, $p_{пв}$, t_1 и давление в гидроцилиндрах изменяется по линейному закону:

$$\Delta p = \frac{p_{пв} - p_{пн}}{t_1}.$$

Тогда выражение (6) можно записать в виде

$$\delta = \frac{(p_{пв}^4 - p_{пн}^4) t_1}{(4k (p_{пв} - p_{пн}) p_{по}^3 T_{о})}. \quad (8)$$

Таким образом, наименьший коэффициент использования рабочего ресурса δ РВД при условии совершения стреловыми гидроцилиндрами одинаковой работы, что соответствует определенной высоте подъема груза, и при одинаковом времени подъема будет при постоянном давлении в стреловых гидроцилиндрах. Это следует учитывать при проектировании гидромеханизма подъема стрелы погрузчика.

Найдем коэффициент использования рабочего ресурса РВД при подъеме стрелы для погрузчика Амкордор 333В грузоподъемностью 3,4 т, для которого $p_{пн} = 9,6$ МПа, $p_{пв} = 19$ МПа.

Подставляя в выражение (8) численные значения, получим

$$\delta = \frac{(19^4 - 9,6^4) t_1}{4k (19 - 9,6) p_{по}^3 T_{о}} = \frac{3240 t_1}{k p_{по}^3 T_{о}}.$$

В случае рациональной установки стреловых гидроцилиндров давление можно принять стабилизированным и примерно равным среднему давлению $p_{ср}$

$$p_{пер} = \frac{19 + 9,6}{2} = 14,3 \text{ МПа.}$$

Коэффициент использования рабочего ресурса δ_1 РВД в этом случае равен

$$\delta_1 = \delta_{\min} = \frac{p_{пер}^3 t_1}{k p_{по}^3 T_o} = \frac{14,3^3 t_1}{k p_{по}^3 T_o} = \frac{2924 t_1}{k p_{по}^3 T_o}.$$

Увеличение коэффициента использования рабочего ресурса РВД при переменном давлении в гидроцилиндрах по сравнению с постоянным

$$\frac{\delta}{\delta_1} = \frac{k p_{по}^3 T_o}{2924 t_1} = 1,11 \text{ раза}$$

или на 11 %, что снижает ресурс (работоспособность) РВД.

Заключение

Предложена методика определения коэффициента использования рабочего ресурса гидрооборудования на примере РВД при переменном давлении в стреловых гидроцилиндрах фронтальных погрузчиков в сравнении с постоянным. Расчеты показывают, что постоянное давление в гидроцилиндрах при подъеме стрелы для погрузчика Амкодор 333В грузоподъемностью 3,4 т обеспечит максимальную работоспособность РВД и позволит увеличить их ресурс на 11%.

Стабилизировать давление в гидроцилиндрах фронтального погрузчика рекомендуется путем совершенствования кинематики погрузочного оборудования [8, 9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник конструктора дорожных машин / И.П. Бородачев [и др.]; под ред. И.П. Бородачева. –

Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973. – 503 с.

2. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики. / А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 408 с.

3. Улучшение кинематических параметров гидромеханизма подъема стрелы фронтального погрузчика / А.Н. Смирнов [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: матер. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26-27 ноября 2020 г. / Белор. гос. аграрн. технич. ун-т; редкол. Н.Г. Серебрякова [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 207-212.

4. Акользина, П.С. Срок службы РВД для гидроприводов / П.С. Акользина, Ф.Н. Жуков // Строительные и дорожные машины. – 1973. – № 8. – С. 11-12.

5. Определение давления в стреловых гидроцилиндрах погрузчика при подъеме стрелы в динамике / А.Н. Смирнов [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: матер. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24-25 ноября 2019 г.: в 2 ч. / Белор. гос. аграрн. технич. ун-т; редкол.: И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 272-273.

6. Смирнов, А.Н. Расчет некоторых кинематических и динамических параметров погрузочного оборудования одноковшового фронтального погрузчика / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – Вып. 46. – С. 64-68.

7. Смирнов, А.Н. Выбор рациональных координат установки гидроцилиндров подъема стрелы погрузчика / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – Вып. 46. – С. 68-71.

8. Смирнов, А.Н. Рекомендации по повышению энергоэффективности одноковшовых фронтальных погрузчиков при эксплуатации / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко. – Минск: БГАТУ, 2020. – 76 с.

9. Смирнов, А.Н. Научно-технические основы проектирования фронтальных погрузчиков: монография / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко. – Минск: БГАТУ, 2021. – 172 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.02.2023