

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ LS-СИСТЕМ

Гинзбург А.А.

главный конструктор открытого акционерного общества «Гомельское специальное конструкторско-техническое бюро гидропневмоавтоматики» (ОАО «ГСКТБ ГА»),
ginsburg.gsktb@tut.by

Хазеев Е.В.

аспирант Гомельского государственного технического университета им. П.О.Сухого

Гидравлические системы с адаптацией к нагрузке (load sensing или LS-системы) решают проблему одновременного регулирования скоростей нескольких рабочих органов гидропривода при относительно невысоких потерях мощности за счет адаптации уровня входного давления гидросистемы к максимальной величине нагрузки на рабочих органах машины. При традиционном дроссельном регулировании скоростей нескольких одновременно работающих исполнительных органов гидропривода регулирование их скоростей может происходить только при максимальном давлении на входе гидросистемы, не зависящем от уровня давления на исполнительных органах [1], так что потери мощности в гидроприводе оказываются недопустимо высокими. В LS-системах давление на наиболее нагруженном исполнительном органе используется для управления входным давлением гидросистемы, так что входное давление изменяется в соответствии с изменением давления на наиболее нагруженном исполнительном органе, превышая его на небольшую постоянную величину [1,2]. Такие гидросистемы дополнительно оснащаются системой выбора наибольшего из давлений на исполнительных органах и устройством, поддерживающим постоянную разность давлений между этим давлением и входным давлением гидросистемы (LS-перепад). В качестве этого устройства может использоваться либо насос с регулятором разности давлений (при использовании регулируемых насосов) либо гидроклапан разности давлений (при использовании нерегулируемых насосов).

Широкое внедрение LS-систем в машиностроительную практику сдерживается традиционным использованием в них дорогих, обладающих низкой ремонтпригодностью и весьма требовательных к техническому обслуживанию и чистоте рабочей жидкости регулируемых аксиально-поршневых насосов. Применение намного более дешевых и неприхотливых нерегулируемых насосов, в первую очередь, шестеренных, ограничено, так как считается, что для них характерны более высокие энергетические потери и меньший к.п.д. Такое мнение основано на простейшем схмотехническом анализе (подача насосов LS-системы с регулируемыми насосами строго равна величине потребляемого рабочими органами расхода, в то время, как LS-системы с нерегулируемыми насосами имеют избыточную неиспользуемую подачу насосов, что приводит к дополнительным потерям мощности) и подтверждается проводившимися в свое время расчетами [3, 4]. Оно не изменилось даже с появлением предложений по использованию в LS-системах многопоточных нерегулируемых насосов [5], что позволяет существенно снизить величину избыточной подачи.

При этом нужно отметить, что упомянутые расчеты проводились около трех десятилетий назад и не отражали современного состояния элементной базы LS-систем. В частности, методика сравнительных расчетов не учитывала неравенство LS-перепадов для гидросистем с регулируемыми и нерегулируемыми насосами, характерное для современного гидрооборудования.

В последнее время ОАО «ГСКТБ ГА» с участием ГГТУ им.П.О.Сухого создана методика расчета энергетических характеристик LS-систем различных типов с учетом их структуры и параметров элементной базы (см., напр., [6]) и проведен анализ параметров

современной элементной базы различных производителей. На этой основе проводилось моделирование потерь мощности LS-систем с нерегулируемыми и регулируемыми насосами, в том числе, с учетом динамики систем и введения в них дополнительных контуров подпитки.

Анализ показывает, что LS-перепад в системах с регулируемыми насосами (Δp_{LSO}) принципиально выше, чем для систем с нерегулируемыми насосами (Δp_{LSK}) на величину порядка 1 – 2 МПа (в среднем, на 1,5 МПа), что обусловлено и конструктивными требованиями к регулируемым насосам, и худшими динамическими характеристиками. Избыточный LS-перепад систем с регулируемыми насосами приводит к потерям мощности и снижает к.п.д, что в ряде случаев может компенсировать дополнительные потери мощности в системах с нерегулируемыми насосами, обусловленные избыточной подачей насосов.

Особенно важно это для двухпоточных и многопоточных LS-систем с нерегулируемыми насосами, в которых один или несколько насосов автоматически разгружаются от давления при снижении потребляемого рабочими органами гидросистемы расхода и подключаются к напорной магистрали при его повышении, что снижает величину избыточной подачи.

Проведенное моделирование энергетических потерь в LS-системах показывает, что:

1. Оптимальные подачи насосов Q_1 и Q_2 двухпоточной системы, при котором потери мощности являются минимальными, задаются следующими выражениями:

$$Q_1 = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2}, \quad Q_2 = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2}$$

где Q_{\min} и Q_{\max} – минимальный и максимальный суммарные расходы, потребляемые одновременно работающими исполнительными органами машины.

2. Условие равенства избыточных потерь мощности в LS-системах с регулируемыми насосами (вследствие избыточного LS-перепада) и двухпоточных системах с нерегулируемыми насосами выглядит следующим образом:

$$\frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = 1 - 4 \frac{\Delta p_{LSO} - \Delta p_{LSK}}{p_0 + 2\Delta p_{LSO}}$$

где p_0 – максимальное текущее значение давления в гидросистеме.

Анализ этого выражения позволяет определить условия, при которых энергетическая эффективность двухпоточной LS-системы выше, чем системы с самовсасывающим регулируемым насосом. Для гидросистем с различными давлениями эти условия представлены в таблице 1.

Таблица 1. Условия, при которых энергетическая эффективность двухпоточной LS-системы превышает энергетическую эффективность системы с самовсасывающим регулируемым насосом

Диапазон характерных максимальных давлений p_0 , МПа	Диапазон изменения потребляемых исполнительными органами расходов
до 6 МПа	$0 - Q_{\max}$
до 12 МПа	$0,3 \dots 0,5 Q_{\max} - Q_{\max}$
12 – 20 МПа	$0,5 \dots 0,7 Q_{\max} - Q_{\max}$
более 20 МПа	более $0,7 Q_{\max} - Q_{\max}$

Таким образом, оказывается, что двухпоточные LS-системы низкого давления во всех случаях, среднего – во многих (кроме случаев широкого диапазона регулирования скоростей исполнительных органов), а высокого – в случаях слабопеременных расходов имеют меньшие потери мощности, чем LS-системы с регулируемыми насосами.

Если же в LS-системах используются несамовсасывающие регулируемые насосы, то вследствие дополнительных потерь в контуре подпитки, диапазон условий, в которых двухпоточные системы с нерегулируемыми насосами являются более энергетически эффективными, еще расширяется:

Таблица 2. Условия, при которых энергетическая эффективность двухпоточной LS-системы превышает энергетическую эффективность системы с несамовсасывающим регулируемым насосом

Диапазон характерных максимальных давлений p_0 , МПа	Диапазон изменения потребляемых исполнительными органами расходов
до 6...9 МПа	$0 - Q_{\max}$
до 12 МПа	$0,2... 0,4 Q_{\max} - Q_{\max}$
12 – 20 МПа	$0,4... 0,6 Q_{\max} - Q_{\max}$
более 20 МПа	более $0,6 Q_{\max} - Q_{\max}$

Дополнительный интерес представляет собой случай трехпоточных LS-систем, в которых имеются три нерегулируемых насоса, один из которых является постоянно работающим, а остальные автоматически разгружаются от давления при снижении потребляемого в гидросистеме расхода и подключаются к напорной магистрали при его повышении.

Моделирование такой системы показывает, что потери мощности трехпоточной системы по сравнению с двухпоточной снижаются на величину

$$\Delta N = \frac{1}{2} p_0 (0,5(Q_{\max} - Q_{\min}) - \frac{(Q_{31} - Q_{\min})^2 + Q_{32}^2 + Q_{33}^2}{Q_{\max} - Q_{\min}})$$

где Q_{31} , Q_{32} и Q_{33} – подачи насосов трехпоточной LS-системы.

Это достаточно большая величина, составляющая до трети потерь мощности двухпоточной системы и в экстремальном случае (когда минимальный потребляемый исполнительными органами машины расход равен нулю, а подачи насосов трехпоточной системы равны друг другу) равная 8,33% общей потребляемой мощности гидропривода. В результате оказывается, что диапазон условий, при которых трехпоточная LS-система с нерегулируемым насосом превосходит по энергетической эффективности LS-систему с регулируемым насосом, расширяется по сравнению с приведенным в табл. 1 и 2 ориентировочно, на треть.

С учетом существенных преимуществ нерегулируемых насосов в стоимости, надежности и трудоемкости обслуживания и ремонта можно считать, что при создании новых или модернизации существующих машин использование многопоточных LS-систем с нерегулируемыми насосами взамен систем с регулируемыми насосами должно явиться перспективным методом снижения стоимости и повышения надежности машины.

Список литературы:

1. А.А.Гинзбург. Дроссельное регулирование в гидросистемах и адаптация гидропривода к нагрузке (LS-принцип). Курс лекций для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин». Гомель: Издательский центр УО «ГГТУ им. П.О.Сухого», 2007. 77 с.
2. Н. Sculthorpe. Hydraulic Horsepower Comes out of Its Corner. *Hydraulics & Pneumatics*, 1989. № 3.
3. Klotzbücher, W. Energieverluste in Hydrauliksystemen von Ackerschleppern. *Grundlagen der Landtechnik*, Bd.34 (1984) Nr.6.
4. Hesse, H. Vergleich der Energieverluste von Hydrauliksystemen für Ackerschlepper, /H. Hesse // Vortrag auf der VDI-Tagung Landtechnik, München, 27/29 Oktober 1976.
5. Esseniyi, A. Circuits make gear pumps more versatile. / A. Esseniyi // *Hydraulics & Pneumatics Exclusive Insight*; 1/28/2012, p. 21
6. Гинзбург А.А., Пинчук В.В. Критерии выбора параметров исполнительных органов гидроприводов с адаптацией к нагрузке. / А.А.Гинзбург, В.В.Пинчук // *Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого*. – 2007. – № 3 (30)', – с. 38-44.