

УДК 331.4

DOI: 10.30987/article_5c3db1133f67f1.25090405

В.В. Никулин, А.А. Кузнецов, М.Ю. Николаев

СИЛОВЫЕ СИСТЕМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Представлены применяемые в сельскохозяйственных и строительных машинах силовые системы, которые подразделяются на гидравлические, пневматические, электрические, смешанные. Показано, что гидравлические системы обладают большими преимуществами перед другими. Определены специальные требования к гидравлическим си-

стемам. Предложены пути устранения характерных неисправностей силовых систем современных сельскохозяйственных и строительных машин.

Ключевые слова: силовые системы, сельскохозяйственные машины, строительные машины, эксплуатационные свойства, гидроцилиндр, гидропривод, гидромотор, трубопровод, рабочее тело.

V.V. Nikulin, A.A. Kuznetsov, M.Yu. Nikolayev

POWER SYSTEMS IN AGRICULTURAL AND CONSTRUCTION MACHINERY

The paper reports the power systems used in agricultural and construction machinery which are divided into hydraulic, pneumatic, electric and combined ones. These systems are intended for setting in motion and control the units, devices and working members of agricultural and construction machinery. In view of many reasons the authors give preference to hydraulic systems which have considerable advantages over others. Special requirements to hydraulic systems are defined. Above all it is the assurance of the essential capacity which allows obtaining a standard performance of the system under most adverse conditions.

The development and intensive work of agricultural and construction machinery contributed to

complication and extension of functions of power systems to the increase of their stress that in the upshot increases a possibility of power system failure. The authors note that characteristic faultinesses of power systems in modern agricultural and construction machinery are mainly internal and external leakage and also spool couple jamming and failures of electromagnetic parts and their distributing devices. The ways to eliminate malfunctions are offered.

Key words: power systems, agricultural machinery, construction machinery, operating properties, hydro-cylinder, hydraulic actuator, hydraulic motor, tubing, working medium.

Силовые системы сельскохозяйственных и строительных машин предназначены для приведения в движение и управления агрегатами, устройствами и рабочими органами сельскохозяйственных и строительных машин (СХ и СМ).

Силовые системы, являясь частью СХ и СМ, сами по себе представляют сложный комплекс устройств и агрегатов. От исправной работы силовых систем во многом зависит успешность выполнения производственного задания. С развитием сельскохозяйственной и строительной техники из года в год усложняются и расширяются функции силовых систем. При этом происходит интенсификация работы управляемых агрегатов, что повышает напряженность силовой системы и, следовательно, увеличивает возможность ее отказов.

На современных СХ и СМ в зависимости от типа применяемого рабочего тела используются гидравлические, пневматические, электрические, а также смешанные силовые системы.

Силовая система разделена на два контура: контур питания и исполнительный контур. Контур питания подает энергию в исполнительный контур, а последний передает энергию к объектам управления.

Контур питания систем состоит из источников энергии (насосы, электрогенераторы), коммуникаций (трубопроводы, электропроводы), регулирующих и контролирующих устройств. Для ряда систем в контур питания входят и накопители, или хранители рабочего тела (баки).

Исполнительные контуры включают в себя распределители поступающей энер-

гии (электромагнитные краны, золотники, заслонки, переключатели и т.п.); коммутации энергии; исполнительные устройства (силовые цилиндры, гидромоторы и др.), которые являются потребителями энергии.

В зависимости от типа и назначения СХ и СМ и потребителей энергии выбираются конкретные виды силовых систем, которые должны наилучшим образом удовлетворять специальным требованиям, предъявляемым к системам. Важнейшими специальными требованиями, предъявляемыми к силовым системам, являются:

- обеспечение необходимой мощности, позволяющей получать нормальную работоспособность системы при самой неблагоприятной комбинации одновременной работы агрегатов;

- обеспечение надежной работы силовых систем для выполнения производственного задания на всех эксплуатационных режимах работы СХ и СМ, а также обеспечение безопасности путем дублирования систем и использования противопожарных устройств;

- отсутствие в силовой системе в процессе эксплуатации вибраций и автоколебаний, а также утечек рабочего тела из-за нарушения внешней герметичности неподвижных соединений агрегатов и механизмов как при работе, так и на стоянке в диапазоне температур окружающей среды до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для рабочей жидкости в гидросистемах - от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до фактической ее максимально допустимой температуры;

- наличие фильтрации рабочего тела, обеспечивающей безотказность работы агрегатов и механизмов систем за весь эксплуатационный срок;

- высокая точность отслеживания управляющего сигнала и заданное быстродействие системы при выполнении требования плавной остановки рабочих органов;

- удобство и легкость управления распределительными устройствами, исполнительными механизмами и подсистемами контроля за их работой.

Повышение надежности силовых систем сопряжено с ростом их массы и объема, а это приводит к росту их стоимости.

На современных сельскохозяйственных и строительных машинах чаще других используются гидравлическая, пневматическая и электрическая силовые системы. Из них более полно рассмотренным специальным требованиям удовлетворяют гидравлические системы.

Гидравлические силовые системы используются для приведения в действие гидроусилителей органов управления, перемещения рабочих органов, управления тормозным приводом. Такое широкое распространение гидравлических систем во многом объясняется следующими их преимуществами:

1. Меньшие значения массы и объема при одинаковой выходной мощности, что для гидросистем современных сельскохозяйственных и строительных машин проявляется при давлениях $25...35\text{ МПа}$. Масса гидронасосов и гидродвигателей составляет $10...20\%$ от массы электродвигателей той же мощности.

2. Большое быстродействие при больших развиваемых мощностях, что связано с меньшей инерционной массой гидродвигателей по сравнению с электродвигателями эквивалентной мощности. При равной мощности электродвигателя и гидродвигателя последний разгоняется за время не более $0,1\text{ с}$, тогда как электродвигатель – в течение одной и нескольких секунд. Гидросистема срабатывает в десятки раз быстрее такого же привода с электродвигателем.

3. Широкий диапазон редуцирования и регулирования; возможность создания бесступенчатого регулирования выходной скорости; большая устойчивость и плавность движения; лучшее демпфирование автоколебаний и действия переменных перегрузок.

4. Непрерывная и интенсивная смазка трущихся пар рабочим телом гидросистемы и практическая несжимаемость рабочего тела, позволяющие получить высокий коэффициент полезного действия гидроагрегатов.

По сравнению с пневмосистемами у гидросистем более просто фиксируются промежуточные положения исполнительных устройств, а также достигается более

плавное их срабатывание. Кроме того, вследствие больших значений модулей упругости рабочих жидкостей по сравнению со сжатым газом гидросистемы при

той же нагрузке обладают более высокой механической жесткостью.

Схема контура питания гидравлической системы представлена на рис. 1.

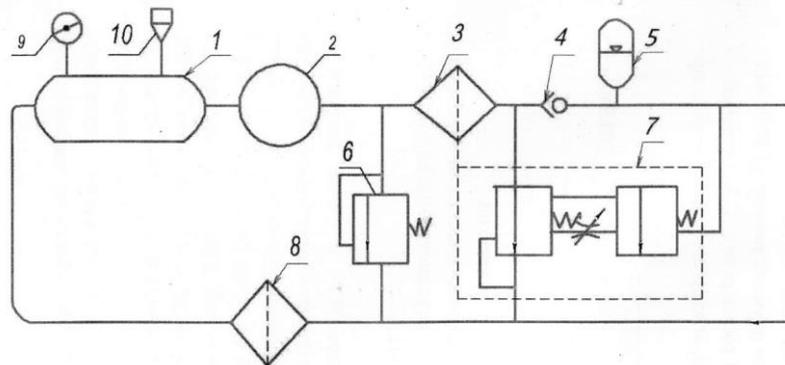


Рис. 1. Схема контура питания: 1 – гидробак; 2 – насос; 3,8 – фильтры; 4 – обратный клапан; 5 – гидроаккумулятор; 6 – предохранительный клапан; 7 – автомат разгрузки; 9 – линия наддува бака; 10 – горловина заправки

Из недостатков гидросистем следует отметить: пожароопасность, возможность возникновения кавитационных течений и гидравлических ударов, приводящих к большим забросам давления и разрушениям элементов системы, большую трудоемкость обслуживания систем в эксплуатации и возможность загрязнения рабочей жидкости.

Пневматические силовые системы обладают большим быстродействием при небольших выходных мощностях. Это позволяет широко использовать пневмати-

ческие системы в тормозных системах сельскохозяйственных и строительных машин (для торможения колес). Пневмосистемы, так же как и гидросистемы, уступают электросистемам по скорости передачи командных импульсов. Этим объясняется, в частности, то, что управление гидроагрегатами и пневмоагрегатами, как правило, осуществляется электрическим путем.

Принципиальная схема исполнительного контура пневмосистемы представлена на рис. 2.

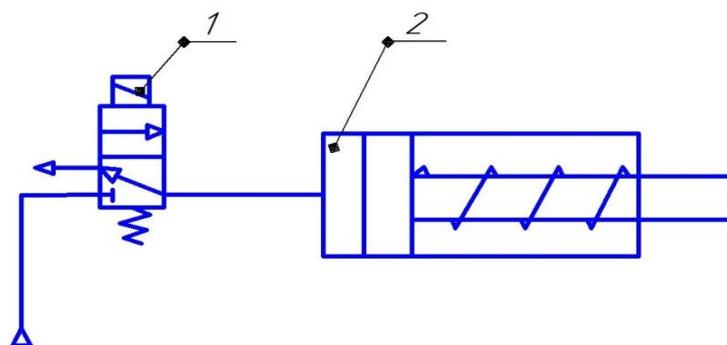


Рис. 2. Принципиальная схема исполнительного контура пневмосистемы: 1 – электропневмоклапан; 2 – пневмоцилиндр

Электрические силовые системы применяются для закрытия замков кабин, поднятия стекол дверей, работы омывателя и щеток очистителей стекла. На современных сельскохозяйственных и строительных машинах электрические системы используются для управления электрогид-

равлическими усилителями и комбинированными агрегатами управления.

Основными элементами и агрегатами гидравлических и пневматических систем являются емкости для рабочего тела (баллоны и гидробаки), насосы перекачки и серводвигатели исполнительного контура.

Из гидробаков рабочее тело перекачивается насосами, а из газовых баллонов через редуктор и фильтрующие элементы подается к распределительным и управляющим устройствам. От них рабочее тело передается в исполнительные устройства (жидкость – в гидродвигатели, сжатый газ – в пневмодвигатели), которые могут быть поступательного (гидроцилиндры, пневмоцилиндры) или вращательного действия (гидромоторы). Для автоматизации работы систем используются предохранительные и обратные клапаны, авторазгрузочные клапаны, редукторы. Для очистки рабочего тела кроме фильтров используются сепараторы, а для охлаждения – радиаторы. Между собой указанные агрегаты соединяются трубопроводами, жесткими или гибкими.

Даже правильно спроектированные силовые системы в процессе эксплуатации выходят из строя. Важнейшими эксплуатационными факторами, влияющими на работоспособность системы, являются:

- для трубопроводов и их соединений – статическое и динамическое нагружение от давления жидкости или газа и внешних нагрузок, вибрации на эксплуатационных режимах работы и температурные деформации;

- для распределительных и регулирующих устройств – загрязнение рабочего тела и недопустимый рост его температуры;

- для насосов – давление и температурные режимы работы жидкости, а также ее загрязнение.

Характерными неисправностями систем современных сельскохозяйственных и строительных машин являются главным образом внутренняя негерметичность гидросистем и внешняя негерметичность пневмо- или гидросистем, а также защемление золотниковых пар и отказы электромагнитных частей их распределительных устройств.

Внутренняя негерметичность системы. Внутренние утечки в гидросистеме до определенного уровня являются естественным состоянием системы. При росте вследствие преждевременного износа трущихся деталей агрегатов (насосов,

распределительных и регулирующих устройств, исполнительных устройств), заедания или заклинивания в открытом положении различных клапанов, кранов и других агрегатов по причине попадания посторонних частиц в рабочую жидкость внутренние утечки жидкости рассматриваются уже как внутренняя негерметичность.

На долю внутренней негерметичности приходится большая часть из общего количества неисправностей гидросистем. Основное мероприятие по предотвращению данной неисправности – обеспечение чистоты рабочей жидкости, что достигается лучше у гидросистем с закрытым контуром питания. Из опыта эксплуатации следует, что внутренняя негерметичность сильнее всего проявляется в цилиндрических золотниковых парах и значительно реже, чем у плоских золотников.

Внешняя негерметичность системы составляет половину всех неисправностей силовых систем. Причины негерметичности: разрушения соединений, усталостные разрушения или появление сквозных усталостных трещин трубопроводов.

Негерметичность соединений имеет место вследствие постоянного ослабления их в процессе эксплуатации. Поэтому за ними требуется особо тщательный контроль.

Усталостные разрушения (трещины) возникают вследствие действия больших, чем предусмотрено при проектировании, переменных составляющих напряжений. Усталостные трещины трубопроводов возникают как в продольном, так и в поперечном (окружном) направлении.

Продольные усталостные трещины возникают вследствие повышенной пульсации давления в системе и наличия овальности сечения трубопровода (вмятин). Повышенная пульсация давления рабочего тела приводит к увеличению амплитуды переменной составляющей нормальных окружных напряжений. Частое срабатывание насоса с рабочего режима на холостой увеличивает число циклов напряжений. Наличие овальности сечения трубопровода приводит к появлению дополнительных переменных по времени

растягивающих напряжений (при повышении внутреннего давления), так как трубопровод будет деформироваться и стремиться принять круглую форму сечения.

В связи с тем что максимальные значения переменных нормальных напряжений (растягивающих) как при пульсации, так и при деформации овальных участков трубопровода имеют место на внутренней поверхности, продольные трещины зарождаются именно на внутренней поверхности и увеличиваются (по глубине) в сторону внешней поверхности трубопровода. Поэтому обнаружение этих трещин в начале их зарождения требует использования методов неразрушающего контроля. Основными мероприятиями по предотвращению таких трещин в гидросистемах являются своевременный контроль за правильной зарядкой гидроаккумулятора, устранение внутренней негерметичности системы, а также исключение больших овальностей (деформаций сечения) трубопроводов.

Окружные (поперечные) усталостные трещины возникают по причине больших вибраций трубопроводов на участках между опорами. Наиболее вероятны такие

трещины около опор. Наибольшей величины нормальные (изгибные) напряжения достигают на внешней поверхности, поэтому такие трещины зарождаются снаружи трубопровода и более доступны для своевременного их обнаружения. Основной мерой по уменьшению уровня вибраций является частотная отстройка трубопроводов и демпфирование креплений опор. Частотную отстройку можно осуществить установкой дополнительных опор (креплений).

Заедание и заклинивание распределительных устройств происходит в основном из-за их загрязнения или выпадения твердых частиц из рабочей жидкости при повышенных температурах.

Очевидно, что силовые системы играют важную роль в эксплуатации сельскохозяйственных и строительных машин при выполнении сельскохозяйственных и строительных работ. Надежная и безопасная работа силовых систем способствует непрерывному повышению производительности труда, росту качества сельскохозяйственной продукции, высокому качеству строительных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сакович, Н.Е. Теория и практика повышения безопасности операторов строительных машин: монография / Н.Е. Сакович, Е.Н. Христофоров, А.М. Случевский, Ю.В. Беззуб. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2014.
2. Сакович, Н.Е. Безопасность транспортных работ в АПК / Н.Е. Сакович, Е.Н. Христофоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 5. – С. 8-10.
3. Сакович, Н.Е. Повышение надежности гидроприводов дорожно-транспортных и грузоподъемных машин / Н.Е. Сакович, Е.Н. Христофоров, А.М. Случевский, Ю.В. Беззуб // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 1 (44). – С. 62-69.
4. Сакович, Н.Е. Системный анализ и моделирование проблем обеспечения безопасности транспортно-технологических процессов в агропромышленном производстве: монография / Н.Е. Сакович, А.М. Случевский, Е.Н. Христофоров, Ю.В. Беззуб [и др.]. – Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. – 509 с.
5. Сакович, Н.Е. Влияние надежности транспортных средств на безопасность дорожного движения / Н.Е. Сакович, Е.Н. Христофоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 2. – С. 50-51.
6. Сакович, Н.Е. Теоретические основы анализа состояния безопасности движения за определенный период эксплуатации / Н.Е. Сакович, А.М. Никитин, Е.Н. Христофоров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (45). – С. 67-72.
7. Христофоров, Е.Н. Повышение надежности гидроприводов / Е.Н. Христофоров, А.М. Случевский // Сельский механизатор. – 2013. – № 12. – С. 46-48.
8. Христофоров, Е.Н. Предотвращение аварийности и травматизма водителей сельскохозяйственных транспортных средств путем инженерно-технических мероприятий: дис. ... д-ра техн. наук / Е.Н. Христофоров. – СПб., 2009. – 327 с.
9. Христофоров, Е.Н. Теоретический анализ обеспечения безопасности транспортных работ в АПК / Е.Н. Христофоров, В.С. Шкрабак, Р.В. Шкрабак // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – № 5. – С. 46-48.

1. Sakovich, N.E. *Theory and Practice for Increase of Construction Machinery Operators Safety*: monograph / N.E. Sakovich, E.N. Khristoforov, A.M. Sluchevsky, Yu.V. Bezzub. – Bryansk: Publishing House of BSAA, 2014.
2. Sakovich, N.E. Safety of transport works in agriculture / N.E. Sakovich, E.N. Khristoforov // *Tractors and Agricultural Machinery*. – 2007. – No.5. – pp. 8-10.
3. Sakovich, N.E. Reliability Increase in Hydro-drives of Road-Transport and Hoisting Machines / N.E. Sakovich, E.N. Khristoforov, A.M. Sluchevsky, Yu.V. Bezzub // *World of Transport and Technological Machinery*. – No.1 (44). – pp. 62-69.
4. Sakovich, N.E. *System Analysis and Modeling Problems in Safety Assurance of Transport-technological Processes in Agricultural Production*: monograph / N.E. Sakovich, A.M. Sluchevsky, E.N. Khristoforov, Yu.V. Bezzub [et al.]. – Bryansk: Publishing House of BSAU, 2015. – pp. 509.
5. Sakovich, N.E. Impact of transport means reliability upon road traffic / N.E. Sakovich, E.N. Khristoforov // *Tractors and Agricultural Machinery*. 2008. – No.2. – pp. 50-51.
6. Sakovich, N.E. Theoretical fundamentals of analysis of traffic safety state during definite operation period / N.E. Sakovich, A.M. Nikitin, E.N. Khristoforov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2015. – No.1 (45). – pp. 67-72.
7. Khristoforov, E.N. Hydro-drive reliability increase / E.N. Khristoforov, A.M. Sluchevsky // *Agricultural Mechanic*. – 2013. – No.12. – pp. 46-48
8. Khristoforov, E.N. Agricultural machinery operators' accident and injury risk prevention through engineering measures: *Thesis for Dr. Sc. Tech. degree* / E.N. Khristoforov. – S-Pb., 2009. – pp. 327.
9. Khristoforov, E.N. Theoretical analysis of transport work safety support in agriculture / E.N. Khristoforov, V.S. Shkrabak, R.V. Shkrabak // *Tractors and Agricultural Machinery*. – 2009. – No.5. – pp. 46-48.

Статья поступила в редакцию 22.11.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного
технического университета
Сакало В.И.

Статья принята к публикации 25.12.18.

Сведения об авторах:

Никулин Валерий Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология» Брянского государственного аграрного университета, e-mail: NIK0227@mail.ru.

Кузнецов Александр Александрович, соискатель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология» Брянского государственного

Nikulin Valery Vladimirovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Life Safety and Engineering Ecology", Bryansk State Agricultural University, e-mail: NIK0227@mail.ru.

Kuznetsov Alexander Alexandrovich, Applicant of the Dep. "Life Safety and Engineering Ecology", Bry-

аграрного университета, e-mail: Kuznetsov.alessandro@yandex.ru.

Николаев Михаил Юрьевич, соискатель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология» Брянского государственного аграрного университета, e-mail: mihail@citadesb.ru.

ansk State Agricultural University, e-mail: Kuznetsov.alessandro@yandex.ru.

Nikolaev Mikhail Yurievich, Applicant of the Dep. "Life Safety and Engineering Ecology", Bryansk State Agricultural University, e-mail: mihail@citadesb.ru.