DOI: 10.17117/na.2016.06.02.121

<http://ucom.ru/doc/na.2016.06.02.121.pdf>

Поступила (Received): 24.06.2016

Наумец А.Ю., Богданов Д.Ю., Савченко А.В. Математическое и физическое моделирование режимов работы автоматизированного электропривода системы пожаротушения

Naumets A.Yu., Bogdanov D.Yu., Savchenko A.V.
Mathematical and physical modeling operation mode
automated electric fire extinguishing system

Об особенностях математического и физического моделирования режимов работы насосного агрегата, управляемого преобразователем частоты, в автоматизированной системе пожаротушения

Ключевые слова: автоматизированная система пожаротушения, автоматизированный электропривод

Наумец Антон Юрьевич

Студент

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова

г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Богданов Дмитрий Юрьевич

Аспирант

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова

г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Савченко Александр Владимирович

Кандидат технических наук, доцент

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова

г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

On peculiarities of mathematical and physical modeling of modes of operation of the pump unit controlled by a frequency converter, an automated fire extinguishing system

Key words: automated fire extinguishing system, automatic electric

Naumets Anton Yuryevich

Student

South-Russian state technical university named M.I. Platov

Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132

Bogdanov Dmitry Yuryevich

Graduate

South-Russian state technical university named M.I. Platov

Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132

Savchenko Aleksandr Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor South-Russian state technical university named M.I. Platov

Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132

Разработка новых подходов в проектировании автоматизированных электроприводов, в том числе для систем пожаротушения является актуальным вопросом, обусловленным также активным ростом в мире количества промыш-

ленных предприятий и новых технологических процессов, приводящих к увеличению параметра взрывопожароопасности. Так же, кроме защиты предприятий, актуальным вопросом является усовершенствование мероприятий по предотвращению распространения пожаров в жилых и общественных помещениях, количество которых с ростом населения тоже растёт.

При возникновении очага возгорания есть короткий промежуток времени, после завершения, которого наблюдается значительное увеличение масштабов пожара. Для предотвращения распространения пожара, его локализации и тушения огня еще на ранних стадиях необходимо, чтобы система выходила на номинальные значения напора H и расхода Q за максимально короткое время. В статическом же режиме ожидания в трубопроводах сплинкерной системы должно поддерживаться постоянное давление, для этого в них предусматривается водопитание.

Одним из средств реализации автоматической системы пожаротушения является частотно регулируемый электропривод основного насоса, который одновременно выполняет и функцию водопитателя. Для оценки эффективности выбранного оборудования, при проектировании систем пожаротушения, необходимо выполнять математическое моделирование режимов работы автоматизированных электроприводов этих систем [1-5] с реализацией технологических процессов тушения пожара и подпитки трубопроводов.

Исходными данными при моделировании являются технологические и нормативные требования к автоматизированной системе пожаротушения. Целью математического моделирования является исследование различных режимов работы системы пожаротушения и получение графиков переходных процессов изменения угловой скорости, момента двигателя, подачи и напора насосного агрегата в режиме пожаротушения (номинальном) и статическом режиме (водопитания).

В рассмотренном случае исследуемая система пожаротушения должна была обеспечивать общий расход воды $Q_{\text{общ. пож}} = 61,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $Q_{\text{общ. вод}} = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, при гарантированном напоре развиваемом насосом $H_{\text{нр. пож}} = 80,7 \text{ м}$ и $H_{\text{нр. вод}} = 48,9 \text{ м}$ в режиме пожаротушения и водопитания соответственно [6]. Используемый насос фирмы ООО НПС «Римос» [7] серии «K100-65-200a» со значением номинального расхода $Q_{\text{ном}} = 64 \text{ м}^3/\text{ч}$, и номинальной угловой скоростью $\omega_{\text{ном}} = 303 \text{ рад/с}$, который приводился в движение двигателем компании «Eldin» марки «RA180L2» [8] с $\omega_{\text{ном}} = 307 \text{ рад/с}$ и мощностью $P_{\text{ном}} = 18,5 \text{ кВт}$. Скорость вращения двигателя регулировалась с помощью преобразователя частоты фирмы «Vacon» марки «Vacon 20» [9]. Информация о требуемом режиме работы поступала с датчиков давления установленных в распределительной сети трубопроводов системы пожаротушения.

Для моделирования системы пожаротушения необходимо было реализовать структурную схему частотно-регулируемого насосного агрегата [10-12]. Данная система представлена на рисунке 1. Моделирование производилось с использованием среды Simulink пакета MatLab.

Рис. 1. Структурная схема компьютерной модели насосного агрегата

Структурная схема разомкнутой системы частотного управления асинхронным двигателем с регулятором тока и напряжения представлена в субблоке «модель электропривода» (рисунок 2). Выходная координата модели частотно-регулируемого электропривода – изменение угловой скорости.

Рис. 2. Структурная схема субблока «модель электропривода»

На схеме субблока «модель электропривода»:

- вход 1 (In 1) – напряжение задания частоты;
- вход 2 (In 2) – вычисленная величина момента статического сопротивления насоса M_c с выхода Out 3;
- выход 1 (Out 1) – вычисленная величина угловой скорости ω .

Модель насоса представлена тремя субблоками. Входные (исходные) характеристики насоса задаются с помощью семи блоков параметров. Переходные процессы по напору, подаче и моменту, регистрируются на соответствующих осциллографах.

Расчётный субблок «Подача насоса» позволяет определять зависимость подачи насоса от угловой скорости насоса по формуле:

$$Q = Q_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{H_{\phi} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}}\right)^2 - H_{\text{св}}}{H_{\phi} - H_{\text{св}}}}$$

где H_{ϕ} – фиктивное значение напора, м;

$H_{\text{св}}$ – свободный напор, м.

Субблок представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Структурная схема субблока «Подача насоса»

На схеме субблока «Подача насоса»:

- вход 1 (In 3) – подается угловая скорость ω с выхода модели электропривода;
- вход 2 (In 4) – номинальная угловая скорость $\omega_{\text{НОМ}}$ электродвигателя;
- вход 3 (In 5) – фиктивное значение напора H_{ϕ} при нулевой подаче, для насосов чистой воды $H_{\phi} = 1,25 H_{\text{НОМ}}$;
- вход 4 (In 6) – свободный напор $H_{\text{св}}$;
- вход 5 (In 7) – паспортная (номинальная) величина подачи насоса $Q_{\text{НОМ}}$;
- выход 1 (Out 2) – вычисленное относительное значение угловой скорости двигателя $\omega/\omega_{\text{НОМ}}$, используется в дальнейших расчетах с помощью модели;
- выход 2 (Out 3) – вычисленная величина подачи насоса Q ;

– выход 3 (Out 4) – вычисленное подкоренное выражение используется в дальнейших расчетах с помощью модели.

С помощью субблока «Напор насоса», который представлен на рисунке 4. реализованы зависимости напора насоса от угловой скорости насоса, определяющиеся по формуле:

$$H = H_{\phi} + (H_{\phi} - H_{\phi}) \cdot \frac{H_{\phi} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}}\right)^2 - H_{\text{св}}}{H_{\phi} - H_{\text{св}}}$$

Рис. 4. Структурная схема субблока «Напор насоса»

На схеме субблока «Напор насоса»:

– вход 1 (In 8) – подается вычисленное подкоренное выражение с выхода Out 3;

– вход 2 (In 9) – паспортный (номинальный) напор насоса $H_{\text{НОМ}}$;

– вход 3 (In 10) – свободный напор $H_{\text{св}}$;

– выход 1 (Out 5) – вычисленная величина напора насоса H ;

С помощью субблока «Момент насоса» реализована зависимость, статического момента сопротивления насоса от угловой скорости:

$$\eta_{\text{нас}} = 1 - \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}}\right)^{0,36}};$$

$$M_c = \frac{\rho \cdot Q \cdot H \cdot 10^3}{102 \cdot \eta_{\text{нас}} \cdot \omega}$$

ρ – плотность воды, кг/м³;

$\eta_{\text{НОМ}}$ – номинальный КПД насоса, определяющий энергоэффективность системы пожаротушения [13].

Субблок «Момент насоса» представлен на рисунке 5.

На схеме субблока «Момент насоса»:

– вход 1 (In 11) – подается вычисленная относительная угловая скорость с выхода Out 2;

– вход 2 (In 12) – паспортный (номинальный) КПД насоса $\eta_{\text{н.ном}}$;

– вход 3 (In 14) – подается вычисленная подача насоса Q с выхода Out3;

– вход 4 (In 15) – подается вычисленный напор насоса H с выхода Out5;

– вход 5 (In 16) – плотность жидкости ρ ;

- вход 6 (In 17) – подается угловая скорость ω с выхода модели электропривода;
- выход 1 (Out 6) – вычисленная величина момента статического сопротивления насоса M_c .

Рис. 5. Структурная схема субблока «Момент насоса»

С помощью параметризированной компьютерной модели произведено исследование работы насосной установки в режиме пожаротушения и режиме водопитания. На рисунке 6 и 7 приведены переходные процессы изменения угловой скорости и момента двигателя; подачи и напора насоса в режиме пожаротушения и водопитания соответственно.

Рис. 6. Графики переходных процессов изменения угловой скорости ω и момента M двигателя и расхода Q и напора H насоса в режиме пожаротушения

При переходе системы в режим пожаротушения, из-за падения давления в трубопроводе после вскрытия сплинкеров, скорость двигателя достигает номинального значения скорости $\omega_{\text{ном}} = 307$ рад/с за время, удовлетворяющие заданному технологическому процессу пожаротушения $t = 4$ с. Значение расхода в начальный момент времени и до $t=0,8$ с имеет нулевое значение. Это связано с тем, что скорость двигателя в этот промежуток времени находится в диапазоне значений, при котором характеристика насоса находится в нерабочей зоне.

Рис. 7. Графики переходных процессов изменения угловой скорости ω и момента M двигателя и расхода Q и напора H насоса в режиме водопитания

При переходе системы в режим водопитания, из-за падения давления в трубопроводе в результате утечек, скорость двигателя достигает номинального значения скорости $\omega_{\text{ном}} = 307$ рад/с за время, удовлетворяющие технологическому процессу пожаротушения. Значение расхода в начальный момент времени и до $t=5,8$ с имеет нулевое значение.

Дополнительно посредством физического моделирования авторами было выполнено исследование адекватности примененной математической модели и корректности примененных законов управления автоматизированным электроприводом системы пожаротушения при реализации режимов пожаротушения и водопитания. Для получения характеристик изменения давления с увеличением частоты вращения двигателя при управлении насосом «К100-65-200а» произведен ряд опытов на физической модели системы водоснабжения, реализованной с помощью лабораторного стенде «Исследование электроприводов насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения» на кафедре «Электрооборудование и электропривод» Южно-российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова». Результаты физического моделирования приведены на рисунках 8-9.

Рис. 8. График изменения напора H и угловой скорости ω со временем в режиме пожаротушения

Из рисунка 8 видно, что в момент времени 54:56, произошло значительное падение давления в трубопроводе из-за открытия сплинкеров, в результате чего началось резкое возрастание скорости двигателя. В момент времени 54:59 система пожаротушения выходит на номинальные параметры.

Рис. 9. График изменения напора H и угловой скорости ω со временем в режиме водопитания

Из рисунка 9 видно, что в момент времени 03:38, произошло падение давления в результате утечек в трубопроводе. В результате срабатывает реле давления, подавая сигнал на включение электродвигателя. Увеличивается скорость до значения, при котором насос сможет увеличить напор до требуемого значения. После восстановления давления подаётся сигнал на отключение двигателя.

Из полученных в результате математического моделирования графиков переходных процессов напора и расхода, можно сделать вывод о соответствии параметров разработанного автоматизированного электропривода системы пожаротушения заданным требованиям. А именно, в режиме пожаротушения обеспечивается расход воды $Q_{\text{общ}} = 65,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напор $H_{\text{нр}} = 82 \text{ м}$ при требуемых $Q_{\text{общ пож}} = 61,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $H_{\text{нр пож}} = 80,7 \text{ м}$, аналогично в режиме водопитания обеспечивается $Q_{\text{общ}} = 3,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $H_{\text{нр}} = 49 \text{ м}$ при требуемых $Q_{\text{общ пож}} = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $H_{\text{нр пож}} = 48,9 \text{ м}$. Адекватность математической модели подтверждена результатами физического моделирования режимов работы системы пожаротушения.

Список используемых источников:

1. Савченко А.В., Колчанов И.С., Шалыто А.А. Исследование законов управления насосными агрегатами в системе жилищно-коммунального хозяйства // Мехатроника и робототехника. Современное состояние и тенденции развития. Новочеркасск: ЛИК, 2010. С. 135-139.
2. Богданов Д.Ю., Катюхина Д.И., Савченко А.В. Методика расчета эффективности использования электроэнергии в автоматизированных электроприводах систем водоснабжения и водоотведения // Электромеханика. 2014. №3. С. 67-70.
3. Савченко А.В., Акуленко А.Е. Методология определения КПД и эффективности использования электроэнергии автоматизированных электроприводов и автоматизированных систем управления технологическими процессами // Научный альманах. 2015. № 11-3 (13). С. 368-375.
4. Савченко А.В., Безъязычный С.Д. Адаптация методики расчета КПД и эффективности использования электроэнергии автоматизированным электроприводом в составе автоматизированной системы управления технологическим процессом водоснабжения трехэтажного жилого дома // Научный альманах. 2015. № 11-3 (13). С. 356-362.
5. Савченко А.В., Кругляк Е.К. О результатах применения адаптированной методики расчета коэффициента полезного действия и эффективности использования электроэнергии автоматизированным электроприводом // Научный альманах. 2015. № 11-3 (13). С. 363-367.
6. ГОСТ Р 52283-2004. Национальный стандарт Российской Федерации. Насосы центробежные пожарные, общие технические требования, методы испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005.
7. Официальный сайт компании «Римос» // Каталог центробежных насосов.
URL <http://www.rimos.ru/catalog/pump/>
8. Техническая документация и каталог продукции компании «Eldin» «Трёхфазные низковольтные частотно-регулируемые электродвигатели с короткозамкнутым ротором общепромышленного исполнения».
9. Официальный сайт компании Vacon в России // Преобразователь частоты «Vacon 20».
URL: <http://www.vacon.com/ru-RU/Products/--/vacon-20/?source=products>
10. Гребенников В.И. Системы управления электроприводов: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2004. 20 с.
11. Кравчик А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник. Москва: М.: Энергоиздат, 1982. 504 с.
12. Фащилко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий. Москва, 2009.
13. Савченко А.В., Луценко А.С., Добродей В.Н. Экономия электроэнергии в системах автоматизированного управления технологическим процессом водоснабжения // Студенческая научная весна-2015. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2015. С. 120-121.