

О. А. ХРЕБТОВА, ст. преп., Кременчугский национальный университет;
С. А. СЕРГИЕНКО, канд. техн. наук, доц., Кременчугский национальный университет.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРОГАНИЕМ МЕХАНИЗМА В ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ

Введение. Традиционно сложные технологические процессы, требующие значительных энергетических затрат на этапах трогания и пуска, выполнялись при использовании электропривода с значительным запасом по мощности ($20 \div 30\% P_{ном}$). Одним из примеров таких систем, есть двухдвигательный электропривод механизма подъема затвора сливной плотины в системе реостатного управления. Такое техническое решение вызвано тем, что при трогании затвора с кармана сливной плотины происходит увеличение момента сопротивления технологического механизма в несколько раз [1].

Однако даже применение электропривода повышенной мощности не обеспечивает безаварийность выполнения технологических операций. В работе [2] рассмотрены особенности трогания и пуска механизма подъема. Установлено, что при переходе трансмиссии с технологическим механизмом из состояния покоя в состояние движения происходит достаточно сложный процесс формирования сил сопротивления, обусловленный как изменением свойств самой системы «трансмиссия системы механизма подъема – карман сливной плотины – уплотнительная резина – затвор», так и наличием традиционных составляющих.

Силы сопротивления, возникающие при подъеме затвора из кармана сливной плотины [2]:

$$\sum F = F_m + F_{м.с} + F_{диф} + F_{тр.р} + F_{тр.к} + F_{тр.с}, \quad (1)$$

где F_m – сила тяжести затвора и воды действующей на затвор со стороны верхнего бьефа; $F_{м.с}$ – сила, создаваемая разрывом межмолекулярных связей диффундирующих слоев резины с основанием затвора; $F_{диф}$ – сила разрыва диффузных слоев между основанием кармана сливной плотины и основанием затвора; $F_{тр.р}$ – сила трения грушевидной резины с направляющими кармана при подъеме затвора; $F_{тр.к}$ – сила трения качения колес; $F_{тр.с}$ – сила трения подшипников скольжения.

Эта особенность технологического объекта формируемая в процессе эксплуатации, приводит к возникновению аварийных ситуаций при каждом выполнении подъема затвора с основания кармана сливной плотины [1]. Существующая система электропривода морально устарела, имеет низкий КПД, энергозатратна, так как попытки подъема могут выполняться несколько раз до получения положительного результата.

Существующие системы управления не учитывают весь комплекс факторов, которые являются источником аварийности оборудования в процессе трогания, пуска и торможения:

- увеличение момента сопротивления при трогании и пуске производит к увеличению динамической составляющей усилия в кинематических узлах системы «электродвигатель – трансмиссия – технологический механизм» и как следствие механический износ оборудования;
- увеличение допустимого угла рассогласования в системе при неравнозначном формировании момента сопротивления приводит к режимам стопорения и заклинивания рабочего органа;
- режимы стопорения при пуске и движении рабочего органа по направляющим приводят к износу изоляционных материалов приводных двигателей, тепловых и механических перенапряжений обмотках, нарушении балансирования ротора и т.д.;
- тяжелые условия трогания и пуска ведут к перегрузкам и сокращению работоспособности линий питания

Малый диапазон управляемости отрицательно сказывается на выполнении остальных технологических операций.

Постановка задачи. Система автоматического управления частотно–регулируемого электропривода механизма подъема затвора сливной плотины, должна обеспечивать возможность выполнения предстартовой подготовки и трогания путем создания достаточно большого пускового момента при минимальном значении тока статора, обеспечить возможность позиционирования при перемещении объекта по направляющим кармана, и при необходимости, при установке объекта в рабочее положение, иметь возможность средствами частотного управления снизить колебания объекта при перемещении.

Материалы исследования. В силу физических особенностей, которые происходят при подъеме затвора, предложено условно разделить этот процесс на три этапа: предстартовая подготовка; трогание и пуск; перемещение затвора по направляющим кармана.

При выполнении операции пуска на этапе предстартовой подготовки необходимо выполнить пошаговое разрушение образовавшихся адгезивных слоев основания затвора и основания сливной плотины путем поочередного формирования усилий по подъему левой и правой стороны затвора. Предпусковая подготовка выполняется до появления разрыва межмолекулярных связей в технологическом объекте (затвор – уплотнительная резина – карман) [2]. На первом этапе система управления формирует поочередную подачу пусковых моментов на рабочие приводы механизма подъема. При необходимости пусковые моменты возрастают до начала движения затвора [3].

Как только система фиксирует разрушение адгезивных слоев рабочего органа режимы электродвигателя меняются, система приступает к этапу трогания, а именно механизм подъема при достаточном пусковом моменте приводит в движение металлоконструкцию затвора создает достаточный пусковой момент на электроприводах для преодоления момента сопротивления и предполагает выход электроприводов на рабочую характеристику.

При выполнении третьего этапа, электропривода двухдвигательной системы механизма подъема работают в номинальных режимах и обеспечивают синхронизированный подъем затвора. При этом выполняется симметричное перемещение сторон металлоконструкции затвора по направляющим кармана при необходимости исключая перекосы в кармане и обеспечивая компенсацию неравномерностей моментов сопротивления при движении затвора по направляющим кармана, с обеспечением снижения ударных динамических нагрузок в канатах и кинематики самого электропривода [3].

При этом очевидно, что все операции должны выполняться одной системой привода, которая обеспечивает разные режимы работы для выполнения каждого этапа технологической карты.

Таким образом, создаваемые системы автоматического управления должны соответствовать специальным требованиям:

- выполнять предпусковую подготовку по формированию достаточного пускового момента при трогании затвора из кармана сливной плотины;
- выбирать оптимальный режим работы электропривода технологического механизма;
- при необходимости формировать цикличность включения электропривода для выполнения предстартовой подготовки и трогания;
- контролировать как температурный режимы, так и электромагнитные параметры асинхронной машины для предотвращения аварийных режимов;
- при необходимости определять время работы с значительной перегрузкой по току для создания достаточного пускового момента;
- формировать пошаговые перемещения элементов металлоконструкции затвора по направляющим карманам по заданным координатам;
- осуществлять позиционирование при установке затвора в карман сливной плотины в соответствии с алгоритмами выполнения технологических операций;
- обеспечить безаварийные режимы работы с повышением работоспособности системы электропривода [4]

Интенсивное развитие микросхемотехники позволяет построить автоматизированную систему с мгновенным контролем параметров всего технологического комплекса (датчики усилий, датчики момента и т.д.) и обеспечить формирование таких режимов работы которые обеспечили бы необходимые требования к выполнению качественного технологического процесса.

Система «электропривод механизма подъема – затвор – карман сливной плотины» представляет собой достаточно сложные кинематические пары которые при совместной работе влияют не только на сопряженные соединения, но и на характер работы всей электромеханической системы. В зависимости от свойств элементов и их характеристик в тех или иных условиях эксплуатации, формируется состояние системы в целом. Как рассматривалось в [4], состояние системы нельзя представить в виде определенной математической зависимости. Статические и динамические параметры каждого элемента системы описываются весовыми коэффициентами, которые определяют свойства системы, однако степень информативности их различна и имеет стохастический характер [2]. Математическим аппаратом, позволяющим полноценно учесть и отразить признаки нескольких состояний, является теория случайных множеств.

Применение теории нечетких множеств позволяет в полной мере отразить влияние всех экспертов, которые определяются в соответствии с величинами датчиков состояния системы и интенсивности их приращения, при использовании метода экспертных оценок, по сравнению с генерацией оценки на основе «мнения большинства», который формируется как сумма весов значений экспертов. В то же время применение теории нечетких множеств (фаззилогик) не исключает возможности «четкой» оценки состояния технологического механизма экспертной системы в процессе подъема [5].

При диагностике состояний системы нечеткие оценки позволяют отобразить плавность и непрерывность перехода системы из состояния в состояние и преодолеть противоречия, когда у системы есть признаки сразу нескольких состояний. Например, ток приводных двигателей достиг максимума, соответственно пусковой момент является максимальным характеризующий условие начала трогания, а перемещения затвора отсутствует, характеризующий невыполнение процесса трогания. В работе [4] разработана экспертная система (ЭС) на базе нечеткой логики для механизма подъема затвора сливной плотины с обеспечением выбора параметров питающего напряжения [6] и с учетом особенностей формирования момента сопротивления технологического механизма [2]. Рассмотрен вариант выполнения трогания и пуска непрерывно за один цикл до полного преодоления момента сопротивления, и начала движения технологического механизма. Результаты математического моделирования при пуске в один цикл ЭС приведены на рис. 1. – рис. 3.

Такой режим при затяжном трогании может привести к возникновению аварийных ситуаций за счет перегрева обмоток статора асинхронной машины, нарушения целостности кинематических соединений в трансмиссии механизма или обрыва троса.

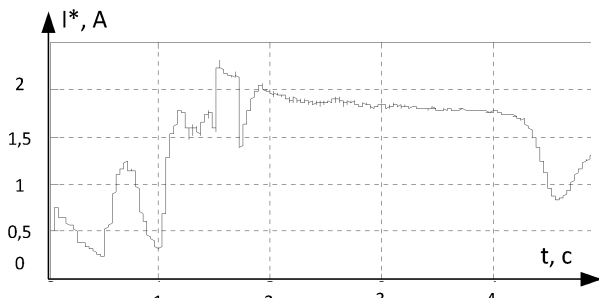


Рис. 1. Действующее значение тока системы электропривода механизма подъема

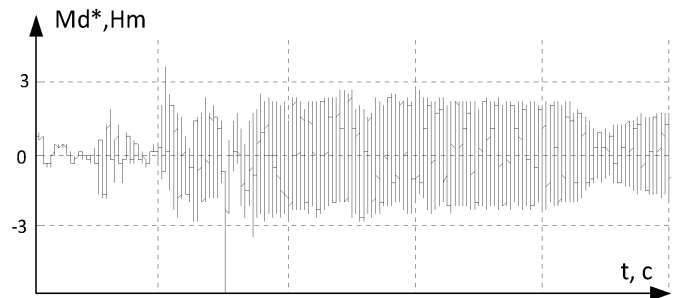


Рис. 2. Электромагнитный момент асинхронного двигателя

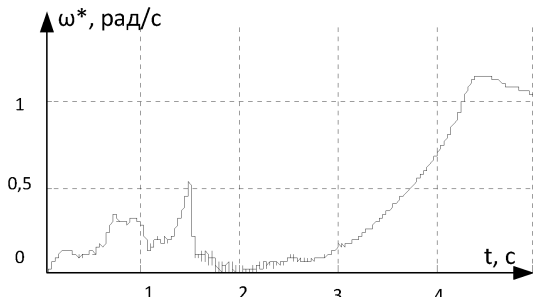


Рис. 3. Угловая скорость барабана технологического механизма

Кроме того, как показал анализ процессов, происходящих при выполнении трогания затвора с основания кармана сливной плотины, эффективнее всего выполнять разрушения адгезивных слоев пошаговым приложением усилий к сторонам затвора [2]. Поэтому для предотвращения аварийных ситуаций предложено усовершенствовать не только разработанную ранее ЭС но применить алгоритм пошагового формирования прикладываемых момент к сторонам затвора с контролем температурного режима работы асинхронной машины и времени формируемого импульса момента при минимальном значении тока статора [3]. Математическая модель ЭС приведена на рис. 4.

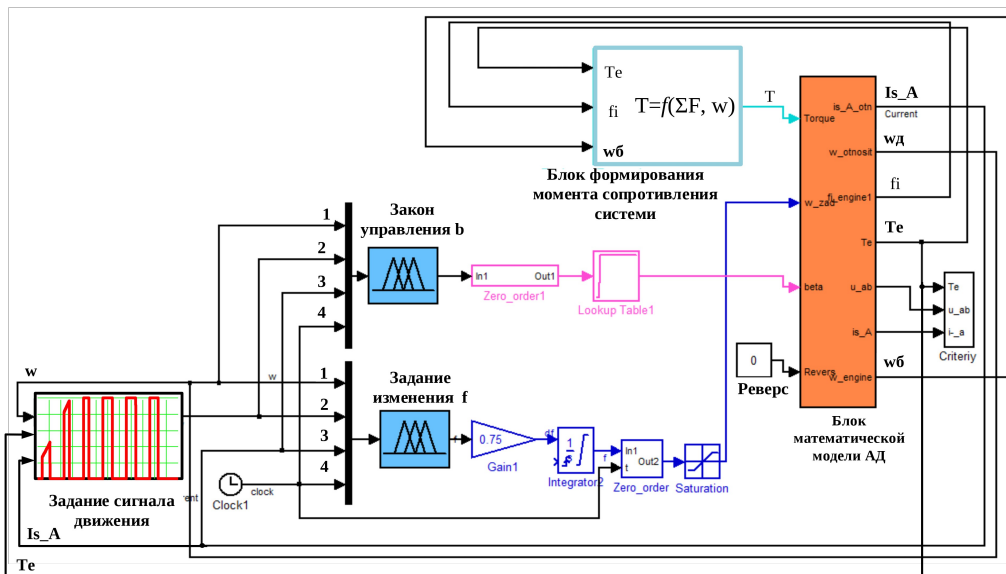


Рис. 4. Математическая модель экспертной системы управляемого трогания в программной среде Matlab

Предложения экспертная система помимо существующих уже блоков фаззи–логики для определения частоты питающего напряжения и выбора закона частотного управления в зависимости от значения параметра блока формирования момента сопротивления системы, который формирует усилие сопротивления в зависимости от входных сигналом электромагнитного момента (T_e), угловой скорости барабана подъемного механизма (ω_b) и частоты вращения электромагнитного поля АД (f_i) по математической зависимости $T = f(\Sigma F, \omega)$, дополнена блоком задания сигнала движения. В данном блоке формируются импульсы подачи момента и паузы с контролем температуры нагрева обмоток статора косвенным методом на базе математических зависимостей предложенных в [3].

В модели реализован режим трогания в циклическом виде с заранее рассчитанными временными значениями импульсов прикладываемых моментов и пауз. При необходимости время импульсов может ограничиваться при превышении температуры нагрева. Следует отметить, что ЭС формирует повышения пускового момента с каждым последующим импульсом при ограничении тока статора, подбирая амплитуду и частоту питающего напряжения по эвристическим правилам, заложенным в блоках фаззи–логики.

Для выполнения сравнительного анализа характеристик частотно–регулируемого электропривода в исходной и модернизированной ЭС условия работы должны совпадать. Поэтому в предложенной ЭС режим трогания смоделирован для одного привода двухдвигательной системы и состоит из нескольких импульсов формируемого момента трогания, количество которых определяется или началом движения системы, или пределом температурного нагрева, даже если движение отсутствует. Результаты математического моделирования разработанной ЭС приведены на рис. 5 – рис.11. Для упрощения анализа на каждом рисунке представленных характеристик приведен сигнал задания скорости (U_z).

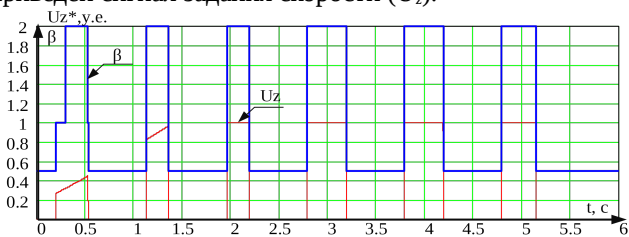


Рис. 5. Задание скорости (U_z) и показателя степени частотного управления (b)

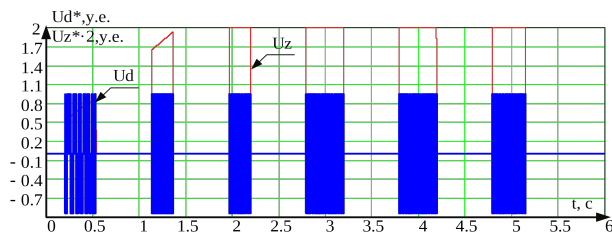


Рис. 6. Формирование напряжения при трогании системы с фазы–логикой

Напряжение задания формируется с плавным разгоном технологического механизма для обеспечения выборки канатов и зазоров трансмиссии механизма (рис. 5. U_z^*). В соответствии и изменением момента сопротивления меняется (рис. 5. β) в законе частотного управления $U / f^{1/\beta} = const$. Следуя этим условиям формируются параметры питающего напряжения (рис. 6. U_d^*).

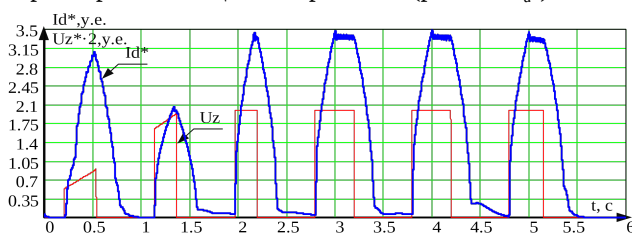


Рис. 7. Действующие значения ток статора

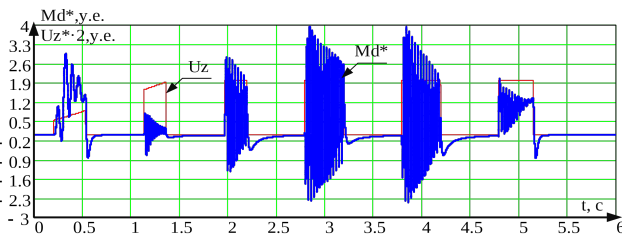


Рис. 8. Формирование момента двигателя

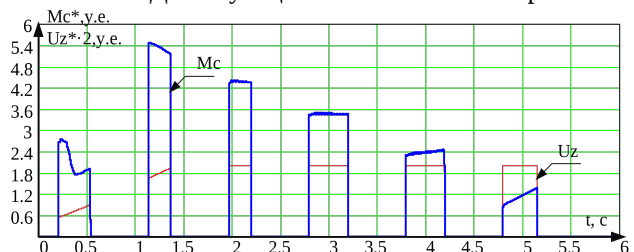


Рис. 9. Момент сопротивления механизма

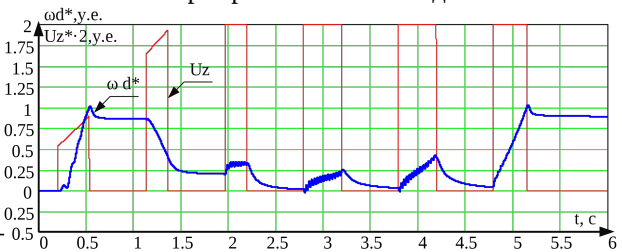


Рис. 10. Угловая скорость двигателя

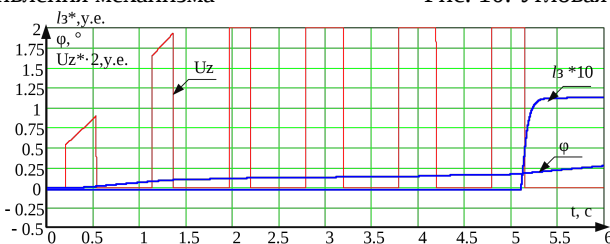


Рис. 11. Угол поворота вала барабана лебедки и перемещение стороны затвора при трогании

На первом импульсе трогания, при выборке зазоров пусковой ток достигает $3I_n$ (рис.7 I_d^*), как и мгновенное значение момента, превышает номинальный почти в 2 раза (рис. 8 M_d^*). Механизм начинает разгон (рис. 10. ω_d^*) происходит поворот вала примерно на $0,5^\circ$ (рис. 8), момент сопротивления имеет резкий спад ($t = 0,4$ с.) что соответствует началу движения кинематических пар самого привода (рис. 6. M_c^*).

После натяжении каната значения переменных тока и момента имеют минимальное значение, так как попытка трогания выполняется при номинальных параметрах АД. Движение двигателя прекращается, так как момент сопротивления превышает расчетное в 5 раз. Следующая попытка трогания формируется с моментом, превышающим паспортное значение в зависимости от решения ЭС по эвристическим правилам, которые в ней записаны.

Как видно из рис. 7, рис. 8 с каждой последующей попыткой значение пускового момента, как и значение тока увеличиваются. Каждая последующая попытка трогания уменьшает момент сопротивления технологического механизма, разрушая адгезивные соединения рабочего органа с рабочей средой. На последней попытке происходит начало движения технологического механизма (рис. 11. 1з) и система останавливает выполнение алгоритма трогания. Далее ЭС переходит к выполнению программы по синхронному перемещению сторон затвора по направляющих кармана сливной плотины.

Как видно из приведенных графиков модернизированная система выполняет пуск на 1 с. дольше. Однако при анализе токовых характеристик видно, что среднее значение тока за период выполнения трогания в пошаговом режиме составляет $1,04I_n$, что почти 2 раза меньше чем начальной ЭС, хотя значение амплитуды за импульс могли превышать исходные в 1,7 раза. Аналогичная ситуация и с пусковым моментом значение которого при пошаговом режиме превышает исходное в 1,45 раза. Это объясняется повышением пускового момента при каждом последующем импульсе. Как видно из скоростных характеристик при использовании пошагового режима трогания снижаются также и динамические нагрузки в кинематических парах трансмиссии электропривода за счет снятия напряжения в точках соприкосновения вращающихся частей, что снижает износ элементов механизма и повышает его работоспособность.

Выводы: Обоснованно применения теории нечетких множеств для реализации экспертной системы автоматического управления двухдвигательным электроприводом, позволяющей расширить возможности пусковой системы на базе частотно-регулируемого электропривода и эффективно использовать специальные алгоритмы предстартовых операций с целью повышения эффективности выполнения рабочей операции технологическим механизмом.

Модернизированная экспертная система управления обеспечивает трогание, пуск и работу механизма подъема при изменении момента сопротивления в процессе выполнения предстартовой подготовки в пошаговом режиме. Разрушения адгезивных слоев рабочего органа при этом характеризуется меньшими затратами электроэнергии. При этом время выполнения трогания увеличивается 20%, что для данного технологического механизма не имеет значение. Так же модернизированная система выполняет контроль температурных режимов и формирует ток в зависимости от параметров нагрева обмоток статора асинхронной машины. Модернизации ЭС происходит за счет применения специально разработанного алгоритма и не требует значительных материальных и технических средств.

Предложенная структура интеллектуальной системы управляемого трогания может быть использована для различных технологических механизмов, где момент сопротивления при трогании превышает рабочее значение в несколько раз и имеет нелинейный характер.

Список литературы: 1. Хребтова О.А. Особенности трогания кранового электропривода подъема затвора сливной плотины / О. А. Хребтова, А. И. Гладырь // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Тематический выпуск № 30 «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – 2009. – 250 с. 2. Хребтова О.А. Дослідження властивостей системи електропривода механізму підйому затвору зливної греблі / О. А. Хребтова, С. А. Сергієнко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» науково-виробничого журналу – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – 660 с. 3. Хребтова О.А. Управление троганием асинхронного электропривода грузоподъемного механизма / О. А. Хребтова, В. В. Ченчевой, А. И. Гладырь // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 3/2014 (27). – С. 27–35. 4. Хребтова О.А. Електропривід механізму підймання затвора зливної греблі з керуванням процесом рушання / О. А. Хребтова, С. А. Сергієнко // Вісник вінницького політехнічного інституту. Науковий журнал №2 (131). –2017.– 112 с. 5. Золотухин А. Б. Применение теории нечетких множеств к количественной и качественной оценке риска / А. Б. Золотухин, У. Гудмestad // International Journal of Offshore and Polar Engineers (IJOPE). – 2002. – т. 12, № 4 – С. 288–296. 6. Хребтова О.А. Определение момента асинхронного двигателя при трогании / О. А. Хребтова, В. В. Ченчевой, В. А. Огарь // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 4/2013 (24). – 106 с.

Bibliography (transliterated): 1. Khrebtova, O.A. and Gladyr, A.I. (2009), "Peculiarities of starting the crane electric drive of the lifting of the gate of the drain dam", Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta "Kharkovskiy politekhnicheskii institut", no. 30, 250 p. (in Russian) 2. Khrebtova, O.A. and Sergienko, S.A. (2012), "Studying the properties of the system electric winders shutter drainage dam", Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy. Tematychnyy vypusk "Problemy avtomatyzovanoho elektroprivoda. Teoriya i praktyka" naukovo-vyrobnychoho zhurnal, Vol. 3, no. 19, 660 p. (in Ukrainian) 3. Khrebtova, O.A., Chencheyov, V.V. and Gladyr, A.I. (2014), "Control of starting of an asynchronous electric drive of a load-lifting mechanism", Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy, shchokvartalniy naukovo-virobnichiy zhurnal, Vol. 4, no. 27, 106 p. (in Russian) 4. Khrebtova, O.A. and Sergienko, S.A. (2017), "Elektroprivid mechanism for lifting the shutter drainage dam kerovannym pick-up process", Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute. Scientific journal, Vol. 2, no. 131, 112 p. (in Ukrainian). 5. Zolotukhin A. B and Goodmestad W. "Application of the theory of fuzzy sets to quantitative and qualitative risk assessment", International Journal of Offshore and Polar Engineers (IJOPE). - 2002. - Vol. 12, no. 4 - p. 288-296. 6. Khrebtova, O.A., Chencheyov, V.V. and Ogar, V.A. (2013), "Determination of the moment of an asynchronous motor at the touching", Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy, shchokvartalniy naukovo-virobnichiy zhurnal, Vol. 4, no. 24, 106 p. (in Russian).

Поступила 15.06.2017