



## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ НА РАБОТУ МЕХАТРОННОГО ПРИВОДА РЫБОРАЗДЕЛОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.В. Ржаницын, студент,  
sanchay93@mail.ru

А.А. Смирнов, студент,  
chuter89@mail.ru

Н.В. Самойлова, аспирантка,  
procyon@mail.ru

О.В. Агеев, канд. техн. наук, доцент,  
oleg.ageev@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Показана необходимость оценки точности цифровых датчиков мехатронного привода. Приведена эквивалентная структурная модель мехатронного привода. Показана приближенная модель системы автоматического управления цифровым следящим электроприводом. Рассмотрены факторы, влияющие на точность позиционирования рабочего органа. Приведена приближенная оценка точности цифрового датчика положения. Сформулированы приемы, позволяющие повысить точность задания положения и момента силы электродвигателя.

*Датчик, привод, электродвигатель, модель, контур, управление, мехатроника*

Рыборазделочное оборудование нового поколения является мехатронной техникой и состоит из следующих концептуально связанных подсистем: оптико-электронного модуля, управляющей микроЭВМ, программного обеспечения, мехатронного привода для настройки режущих рабочих органов, а также управляемого конвейерного оборудования для перемещения сырья и порций готового продукта [1].

Неотъемлемой частью оборудования является мехатронный цифровой электропривод (ЦЭП). Цифровые следящие электроприводы различаются структурой, назначением, местом включения вычислительного устройства, областью применения и различной физической сущностью.

Разомкнутые ЦЭП обладают существенным недостатком в связи с отсутствием на входе привода информации об исполнении заданных команд. При использовании двигателей постоянного и переменного тока целесообразно применять замкнутый ЦЭП с обратными связями по положению и скорости. Применение разомкнутого ЦЭП допустимо в случае использования шаговых двигателей, непосредственно преобразующих цифровую информацию в угол поворота или линейное перемещение, что позволяет обойтись без датчиков обратных связей [2].

При проектировании ЦЭП для рыборазделочного оборудования целесообразно применять специализированные интегральные микросхемы – контроллеры и коммутаторы. Эти доступные полупроводниковые приборы позволяют строить цифро-аналоговые приводы, в которых внутренние контуры, в том числе устройства управления транзисторными силовыми преобразователями, выполняются на основе аналоговых операционных усилителей, импульсно-фазовых устройств, прерывателей широтно-импульсной модуляции и т.д.

ЦЭП может быть представлен эквивалентной структурной схемой (рис. 1). На рис. 1 обозначены:  $D_0(z)$  – дискретная передаточная функция программы вычисления закона движения привода;  $D_1(z)$ ,  $D_2(z)$ ,  $D_3(z)$ ,  $D_4(z)$  – дискретные передаточные функции программ-

ных модулей коррекции динамических свойств привода;  $W(p)$  – передаточная функция непрерывной части привода.

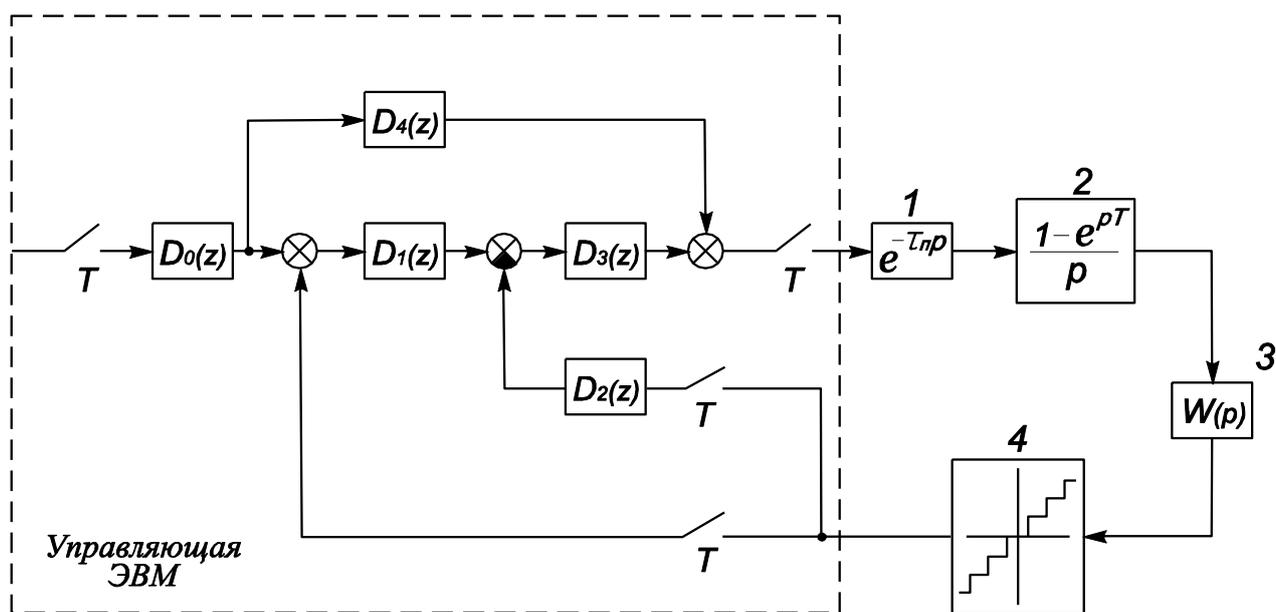


Рисунок 1 – Эквивалентная структурная схема цифрового электропривода для настройки рабочих органов рыбооборудочного оборудования:

- 1 – элемент задержки; 2 – экстраполиатор нулевого порядка (фиксатор);
- 3 – передаточная функция непрерывной части привода;
- 4 – аналого-цифровой преобразователь

В качестве исполнительных устройств в ЦЭП наиболее широкое применение находят двигатели постоянного тока независимого возбуждения, управляемые асинхронные двухфазные двигатели с полым и короткозамкнутым ротором, асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором, а также шаговые двигатели.

Рабочие органы мехатронного рыбооборудочного оборудования работают преимущественно в режиме позиционирования [1], хотя существуют режимы со стабилизацией скорости вращения или момента силы. В режиме позиционирования основной задачей мехатронной системы является точное перемещение рабочего органа механизма из одного фиксированного положения в другое. Эффективность работы мехатронного привода рыбооборудочного оборудования в значительной мере зависит от точности системы автоматического управления (САУ) положением рабочего органа. При этом характер траектории может быть важен лишь постольку, поскольку он обеспечивает максимальную производительность механизма без сколько-нибудь значительного перерегулирования по положению [2].

Если механическая передача не охвачена обратной связью по положению, то она является для мехатронного привода внешним возмущающим воздействием в виде дополнительного статического момента нагрузки и дополнительного момента инерции. При наличии зазоров в механической передаче приводу приходится работать в режиме не только возмущения по нагрузке, но также с переменным моментом инерции, что может приводить к появлению автоколебаний в САУ.

Сопоставление расчетных значений моделей с экспериментальной характеристикой показывает, что система управления ЦЭП приближенно может быть описана упрощенной моделью [3], приведенной на рис. 2. Данная модель представляет собой описание каскадной двухконтурной следящей системы автоматического управления позиционированием рабочего органа.

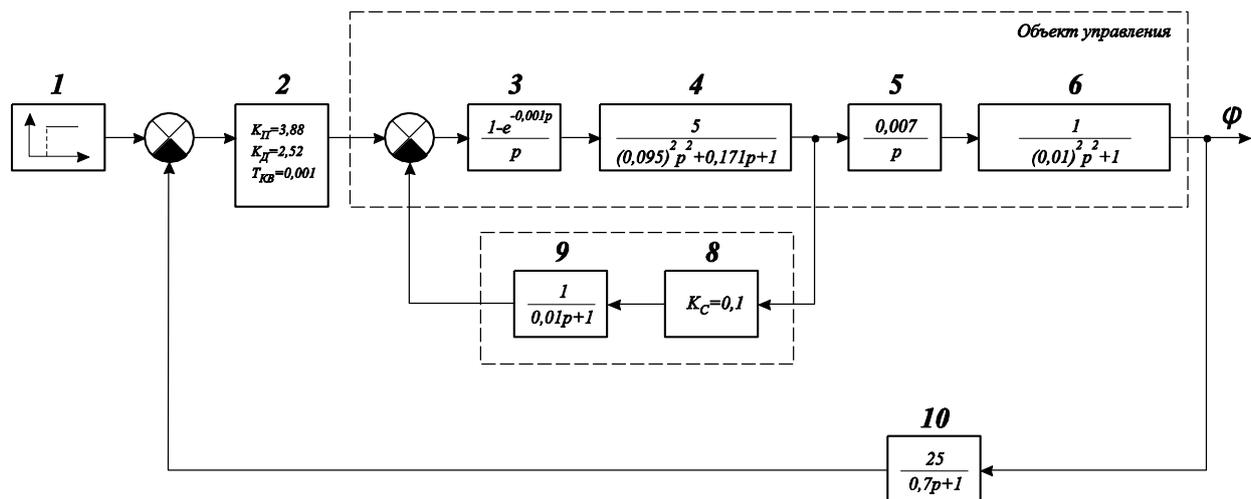


Рисунок 2 – Структурная схема приближенной модели системы управления цифровым электроприводом:

1 – источник ступенчатого воздействия; 2 – цифровой ПД-регулятор; 3 – экстраполятор нулевого порядка (фиксатор); 4 – шаговый двигатель; 5 – редуктор; 6 – упругая механическая передача; 8,9– преобразователь скорости; 10 – измерительная система,  $\varphi$  – текущее значение угла поворота исполнительного вала

Исследовав модель (рис. 2) численными методами, несложно убедиться, что характер работы ЦЭП является колебательным. Это обуславливает необходимость фиксации исполнительного вала в точке позиционирования при наличии значительной нагрузки со стороны механической части.

На точность позиционирования рабочего органа оказывают существенное влияние как программное обеспечение САУ, так и ее аппаратная часть, включающая микроЭВМ и цифровые датчики [3]. Известны преимущества цифровых датчиков, которые характеризуются хорошей помехозащищенностью, отсутствием шумов и инструментальных погрешностей, характерных для аналоговых датчиков [1].

Для автоматического управления рабочим органом требуется информация о положении выходного вала исполнительного электродвигателя и скорости его вращения, а также задание требуемого момента силы (крутящего момента) электродвигателя.

Информация о текущем положении выходного вала поступает в микроЭВМ от инкрементного оптронного датчика угла поворота – энкодера, установленного непосредственно на электродвигателе. Также в качестве цифровых датчиков используются многополюсные резольверы. Такой датчик в совокупности с электронной схемой преобразования является преобразователем «угол-код». Точность измерения положения вала определяется точностью преобразования энкодера (разрешающей способностью датчика или ценой младшего разряда). Хорошими характеристиками обладают оптронные энкодеры считывающего типа с кодовой маской, которая выполняется в виде прозрачного диска с нанесенными на нем разрядами кода Грея.

В САУ мехатронным приводом сигнал обратной связи по скорости формируют путем суммирования импульсов от энкодера и подсчета их количества в единицу времени. Такое построение цифровой САУ существенно удешевляет ее практическую реализацию. Таким образом, если разрешающая способность датчика угла поворота невысокая, то точность измерения скорости также является низкой, что заметно ухудшает качество регулирования скорости. В то же время, высокая частота дискретизации сигнала энкодера обуславливает значительные требования к производительности микроЭВМ, которая дополнительно решает задачи цифровой фильтрации сигнала обратной связи. Это приводит к необходимости введе-

ния дополнительного вычислителя для каждого цифрового датчика и усложняет структуру автономного ЦЭП, что обходится дороже.

Из вышеизложенного следует, что скорость вращения измеряется не как мгновенное значение в определенный момент времени, а скорее представляет собой среднее значение по интервалу дискретизации. Для получения высокой динамики при регулировании скорости требуется максимально быстрое определение действительного значения частоты вращения. Поэтому интервал дискретизации следует выбирать малым, причем решающую роль играет разрешающая способность датчика.

Таким образом, необходима приближенная оценка требуемой точности цифрового датчика положения для нахождения приемлемого соотношения между интервалом дискретизации датчика и производительностью вычислителя для обеспечения хорошего качества регулирования.

Регулятор положения и регулятор скорости реализуются в САУ мехатронным приводом программно. Задание момента силы также выполняется программным обеспечением. Как указывалось выше, на точность позиционирования рабочего органа влияет разрешающая способность энкодера, смонтированного на вале электродвигателя и формирующего сигнал положения вала. Поскольку аналоговый датчик скорости (тахогенератор или фазовращатель) в системе не предусмотрен, значение скорости вычисляется по сигналу положения вала, вследствие чего точность определения скорости также зависит от разрешения энкодера.

Точность расчета скорости при использовании цифрового датчика положения зависит от точности задания времени измерения, а также от погрешности счетчика импульсов. При снижении разрешения энкодера точность вычисления скорости падает, вследствие чего возникают колебания, воспринимаемые микроЭВМ как низкочастотный шум сигнала скорости. Такие колебания действительного значения скорости через регулятор скорости (рис. 2) передаются на задание вращающего момента. Как правило, колебания в 10% от номинального момента силы электродвигателя являются недопустимыми.

В мехатронном приводе электродвигатель работает в диапазоне скоростей  $1/20 - 1/5$  от максимальной скорости. Такие режимы могут быть приближенно описаны передаточной функцией второго порядка:

$$Y(s) = \frac{K_p \cdot K_v}{s^2 + K_v \cdot s + K_p \cdot K_s} U(s), \quad (1)$$

где  $Y(s)$  – выходной сигнал мехатронного привода,

$U(s)$  – входной сигнал,

$K_p, K_v$  – коэффициенты усиления контуров управления положением и скоростью.

Пусть в мехатронном приводе используется оптронный датчик положения вала, который формирует  $Z = 1000$  импульсов за один оборот. Период квантования  $T = 0,01$  с. При скорости вращения вала  $n = 1000$  об/мин за время  $T = 0,01$  с на счетчик поступает  $N = \frac{n \cdot Z \cdot T}{60} \approx 167$  импульсов. Ошибка в измерении на 1 импульс дает относительную ошибку

измерения скорости:  $\delta = \frac{1}{N} \cdot 100 = 0,6$  %. Таким образом, точность измерения скорости является высокой. Однако уже при частоте вращения  $n = 10$  об/мин на счетчик поступит только один импульс. Измерение станет неточным, поскольку погрешность составит 50–60 %.

Для повышения точности измерения положения и скорости требуются датчики, существенно увеличивающие количество импульсов в пределах одного оборота, хотя это связано с усложнением конструкции датчиков и их удорожанием.

Различные датчики имеют следующие значения разрешающей способности на один оборот вала. Резольвер обеспечивает 15-разрядную обработку сигнала, и его разрешающая способность составляет 32768 импульсов за один оборот.

TTL-энкодер при дискретности 1024 импульсов за один оборот за счет сдвига двух каналов датчика на 90° в блоке управления обеспечивает разрешающую способность 4096 импульсов за один оборот. Таким образом, для такого датчика вполне достаточна 12-разрядная обработка сигналов в микроЭВМ.

Задание момента силы электродвигателя формируется в цифровом виде. Если период дискретизации больше, чем период квантования регулятора, имеет смысл подавать задание через звено типа «точный интерполятор». Этот интерполятор компенсирует низкую разрешающую способность датчика, благодаря чему снижаются колебания момента силы электродвигателя.

Кроме того, упреждение по ускорению (ПД-регулятор на рис. 2) способствует улучшению динамики реагирования контура регулирования на задающее воздействие. Такое улучшение динамики не зависит от постоянной времени контура регулирования. Следует учитывать, что упреждение по ускорению не влияет на динамику коррекции возмущающих величин, например, возмущений по нагрузке.

Динамика коррекции зависит только от постоянной времени контура регулирования и частоты вращения. Для упреждения по ускорению из временной характеристики задания скорости рассчитывается значение ускорения, которое прибавляется к управляющему воздействию регулятора скорости. При этом необходимый момент силы на валу электродвигателя может создаваться еще до того, как регулятор распознает отклонение между заданием и действительным значением скорости вращения.

Если задание скорости вращения имеет высокочастотные помехи, сигнал следует фильтровать, чтобы колебания момента силы оставались на низком уровне. Но в этом случае фильтрация оказывает замедляющий эффект на сигнал ускорения, тем самым снижая динамику регулирования. Таким образом, необходим компромисс между фильтрацией помех и динамикой регулирования, что предполагает в микроЭВМ ручное изменение уставки коэффициента фильтрации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, О.В. Совершенствование технологического оборудования для первичной обработки рыбы: опыт, проблематика, системный подход: моногр. / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 261 с.
2. Фатыхов, Ю.А. Моделирование пневматического привода мехатронного комплекса для порционирования пищевых продуктов / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев, А.З. Мацонко // Вестник ВГУИТ. – Воронеж, 2013. – № 2. – С. 53–57.
3. Фатыхов, Ю.А. Перспективы применения цифрового электропривода в мехатронном разделочно-филетировочном оборудовании / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2012. – № 27. – С. 11–19.

## INFLUENCE OF ACCURACY OF DIGITAL SENSORS ON WORK MECHATRONIC DRIVE OF FISH PROCESSING EQUIPMENT

A.V. Rzanitsyn, Student,  
sanchay93@mail.ru

A.A. Smirnov, Student,  
chuter89@mail.ru

N.V. Samojlova, Postgraduate student,  
procyon@mail.ru

O.V. Ageev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
oleg.ageev@klgtu.ru,

Kaliningrad State Technical University

The necessity of evaluating the accuracy of digital sensors mechatronic drive is shown. The equivalent structural model of mechatronic drive is given. The approximate model of the automatic control system of a digital follow-up electric drive is shown. Factors affecting the accuracy of the positioning of the working body are considered. An approximate evaluating the accuracy of the digital position sensor is given. Techniques, allowing to increase the accuracy of the working position and the torque of electro drive, were formulated.

*sensor, drive, motor, model, circuit, control, mechatronics*