

НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ В ПРИВОДЕ РОБОТА

Прокопеня О.Н.¹, Терещук Г.В.¹, Лапука А.С.¹, Пикула А.И.¹

1) Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь

Приводы промышленных роботов на основе двигателей постоянного тока обычно делают многоконтурными с тем, чтобы обеспечить требуемое качество переходных процессов. В то же время, для данных приводов является актуальным снижение массо-габаритных показателей, что приводит к необходимости упрощать структуру привода [1,2]. Данная задача может быть успешно решена применением наблюдателя состояния, что позволяет построить привод с использованием только датчика положения [3-5].

Однако, вследствие того, что постоянные времени двигателя постоянного тока очень малы (сотые доли секунды), можно предположить, что при цифровой реализации наблюдателя потребуется очень малое время дискретизации (период квантования). Это в свою очередь, потребует высокого быстродействия вычислительного устройства, на котором реализуется наблюдатель. Таким образом, возникает задача определения требований по быстродействию к программируемому контроллеру при построении привода постоянного тока с наблюдателем состояния.

Данная работа посвящена решению указанной задачи. Для этого разработана математическая модель привода с цифровым наблюдателем состояния, которая реализована в приложении Simulink среды программирования MATLAB.

Уравнения, описывающие поведение привода

$$\dot{\alpha} = k_p \cdot \omega, \quad (1)$$

$$J_p \cdot \dot{\omega} = c_m \cdot I_{\text{я}}, \quad (2)$$

$$L_{\text{я}} \cdot \dot{I}_{\text{я}} + (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}}) \cdot I_{\text{я}} + c_e \cdot \omega = k_y \cdot U_{\text{у}}, \quad (3)$$

где α – угол поворота выходного звена;

ω – угловая скорость двигателя;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря двигателя;

J_p – момент инерции ротора;

$L_{\text{я}}$ – индуктивность обмотки якоря;

$R_{\text{я}}$ и $R_{\text{дп}}$ – сопротивление обмотки якоря и обмотки дополнительных полюсов;

k_p и k_y – коэффициенты передачи редуктора и силового преобразователя (усилителя);

c_e и c_m – постоянные двигателя;

$U_{\text{у}}$ – управляющее напряжение (входное воздействие).

На основе уравнений (1-3) получены матрицы модели в переменных состояния

$$A = \begin{bmatrix} 0 & k_p & 0 \\ 0 & 0 & \frac{c_M}{J_p} \\ 0 & -\frac{c_e}{L_{я}} & -\frac{R_{я} + R_{ДП}}{L_{я}} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_v}{L_{я}} \end{bmatrix}; C = [1 \ 0 \ 0]; D = [0]$$

С использованием данных матриц выполнен синтез привода методом размещения полюсов, т.е. найдена матрица коэффициентов усиления в цепях обратной связи $K=[0.4379 \ -1.0173 \ -3.1176]$. Для построения привода робота выбран двигатель 2ПБ112М мощностью $P_H=0,45$ кВт.

На основании полученных значений коэффициентов построена математическая модель привода в приложении Simulink.

Переходная характеристика привода при данных значениях коэффициентов приведена на рисунке 1. Она является монотонной (перерегулирование отсутствует), что является обязательным требованием для приводов роботов. Время регулирования в данном случае существенного значения не имеет. При необходимости его требуемая величина может быть обеспечена соответствующим выбором значений полюсов при синтезе.

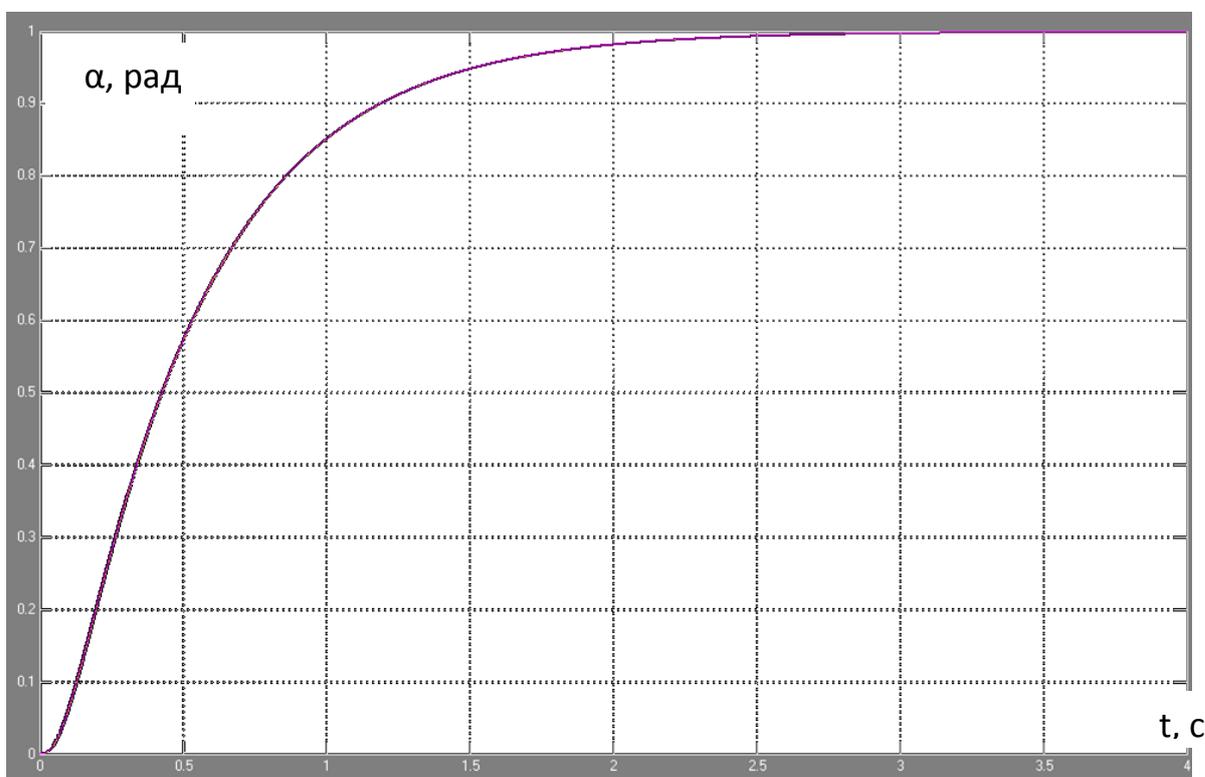


Рисунок 1 – Переходная характеристика привода

Далее была аналитически решена задача синтеза наблюдателя состояния для данного привода. В результате получены уравнения состояния наблюдателя

$$\underline{\dot{\alpha}} = -g_1 \bar{\alpha} + k_p \bar{\omega} + g_1 y; \quad (4)$$

$$\dot{\bar{\omega}} = -g_2 \bar{\alpha} + \frac{c_M}{J_P} \bar{I}_Я + g_2 y; \quad (5)$$

$$\dot{\bar{I}}_Я = -g_3 \bar{\alpha} - \frac{c_e}{L_Я} \bar{\omega} - \frac{R_Я + R_{ДП}}{L_Я} \bar{I}_Я + \frac{k_y}{L_Я} U_y + g_3 y, \quad (6)$$

где g_1, g_2, g_3 – элементы матрицы G наблюдателя;

$\bar{\alpha}, \bar{\omega}, \bar{I}_Я$ – вычисляемые наблюдателем состояния значения угла поворота, угловой скорости и тока двигателя;

y – выходная переменная привода (в нашем случае – угол поворота α).

При расчете матрицы G значения полюсов наблюдателя состояния приняты на порядок больше, чем для системы без наблюдателя. Полученная с помощью математической модели переходная характеристика привода с наблюдателем состояния по визуальной оценке не отличается от переходной характеристики привода без наблюдателя (см. рисунок 1), т.е. условно аналоговый наблюдатель (при очень маленьком периоде квантования) не влияет заметно на качество регулирования.

С целью оценки такого влияния при заданном периоде квантования была разработана математическая модель дискретного наблюдателя состояния.

На основе дифференциальных уравнений (4-6) получены конечно-разностные уравнения наблюдателя состояния

$$\alpha(k+1) = (1 - g_1 T) \alpha(k) + k_p T \omega(k) + g_1 T y(k), \quad (7)$$

$$\omega(k+1) = \omega(k) - g_2 T \alpha(k) + \frac{c_M}{J_P} T I_Я(k) + g_2 T y(k), \quad (8)$$

$$I_Я(k+1) = I_Я(k) - g_3 T \alpha(k) - \frac{c_e}{L_Я} T \omega(k) - \frac{R_Я + R_{ДП}}{L_Я} T I_Я(k) + \frac{k_y}{L_Я} T U_y(k) + g_3 T y(k), \quad (9)$$

где T – период квантования.

Данные уравнения представлены в рекуррентной форме, что позволяет реализовать процесс вычисления переменных состояния цифровым устройством, а также построить модель данного устройства в приложении Simulink.

На рисунке 2 показана математическая модель привода с цифровым наблюдателем состояния, включенным в контур регулирования. В данной мо-

дели период квантования T можно задавать принудительно, что позволяет выявить его влияние на точность работы наблюдателя состояния и переходную характеристику привода.

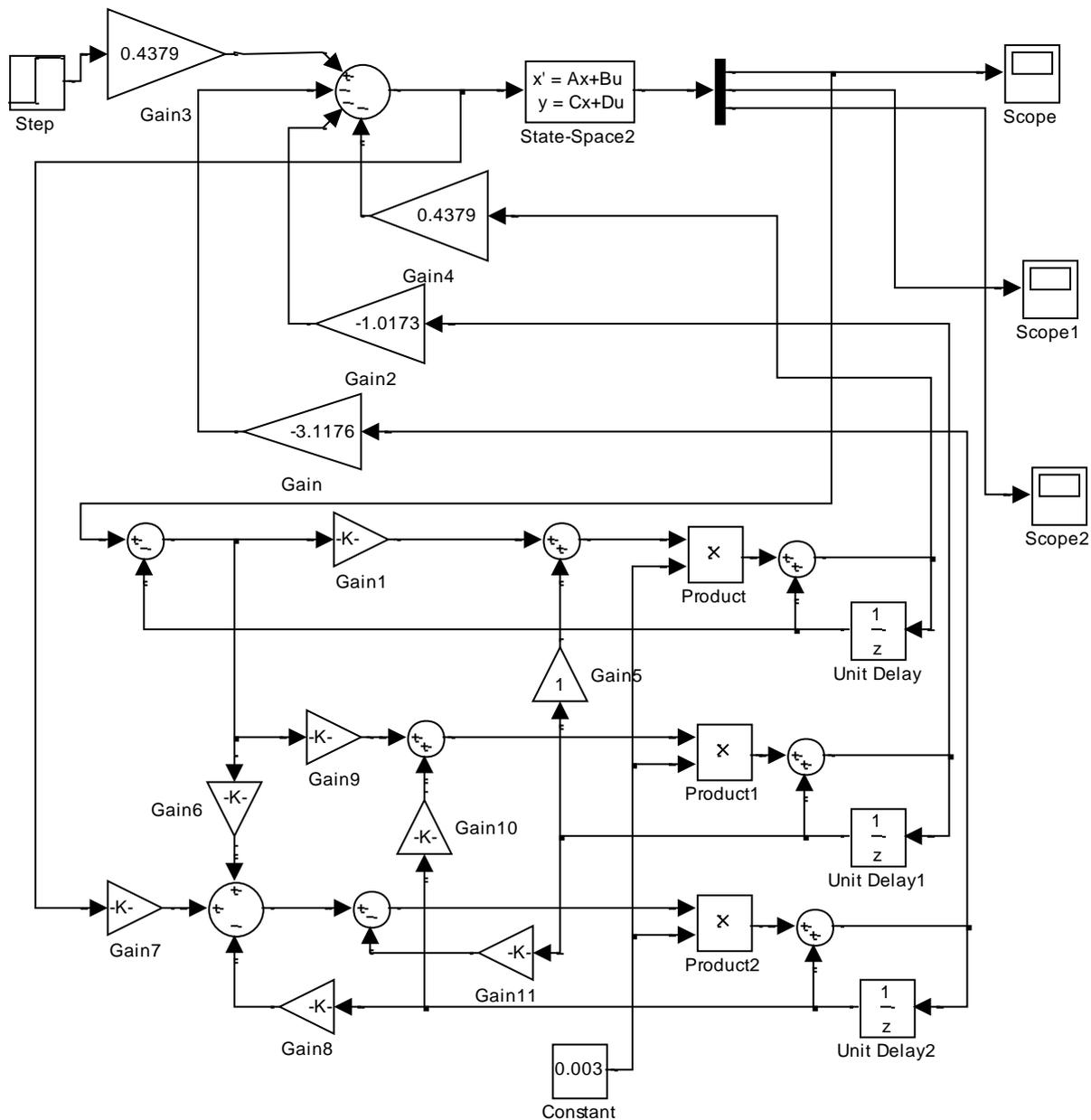


Рисунок 2 – Математическая модель привода с цифровым наблюдателем состояния в приложении SIMULINK.

С помощью данной математической модели было исследовано влияние периода квантования на переходную характеристику привода. Первоначально выполнена оценка точности работы цифрового наблюдателя состояния при изменении периода квантования. При этом в контур регулирования был включен аналоговый наблюдатель состояния, а цифровой наблюдатель вычислял переменные состояния, которые выводились на осциллографы совместно с реальными переменными состояния.

При увеличении периода квантования до значения $T=0,008$ с визуально стало заметным расхождение между кривыми изменения тока двигателя с выхода объекта и цифрового наблюдателя состояния, как показано на рисунке 3. На сигнале с выхода наблюдателя состояния появилась колебательная составляющая, как результат погрешности вычисления. Расхождений по кривым изменения угла поворота и угловой скорости при данном значении периода квантования не наблюдалось.

При дальнейшем увеличении периода квантования возникла ошибка вычисления по всем переменным состояниям с появлением значительных колебательных составляющих вплоть до потери устойчивости наблюдателя при $T=0,009$ с. Таким образом, нарушение нормальной работы цифрового наблюдателя состояния при достижении периодом квантования некоторого значения происходит весьма быстро при его дальнейшем росте (по визуальной оценке).

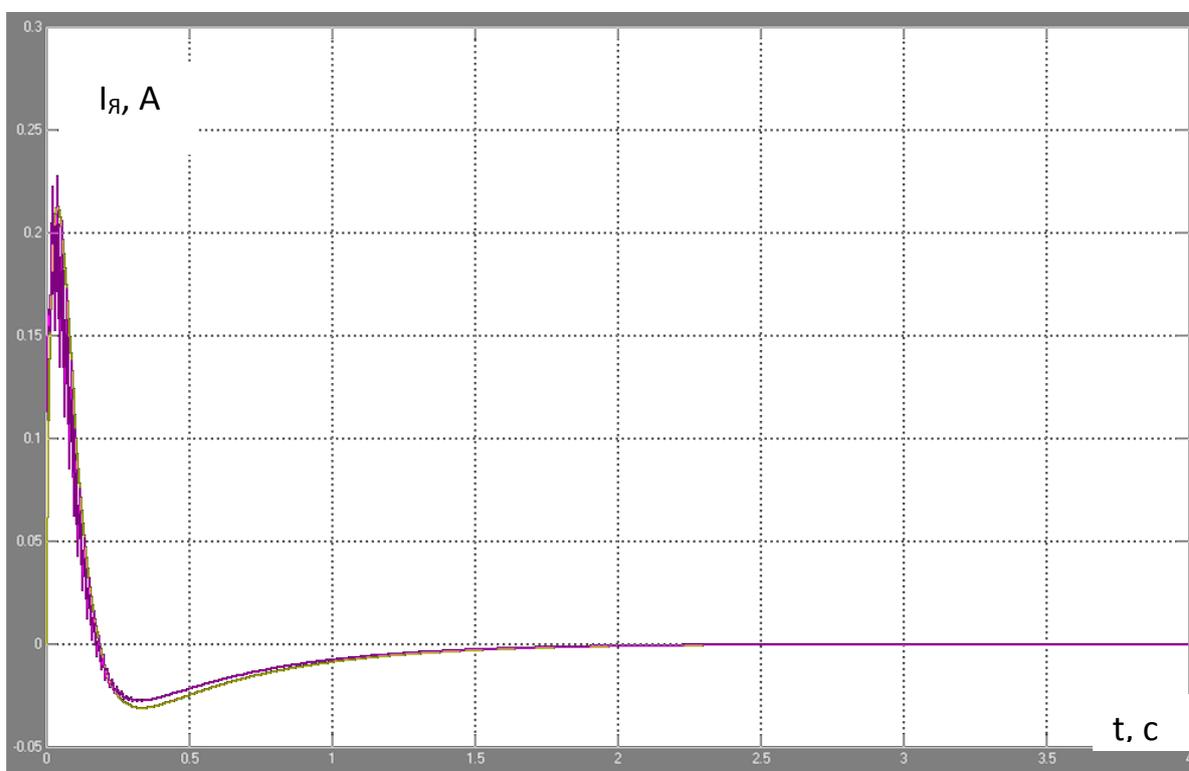


Рисунок 3 – Изменение тока двигателя при $T=0,008$ с

Далее было исследовано влияние погрешности вычисления переменных состояния наблюдателем на работу привода с помощью математической модели, в которой цифровой наблюдатель состояния включен в контур регулирования (см. рисунок 2).

Установлено, что влияние погрешности работы цифрового наблюдателя на переходную характеристику привода начинает проявляться раньше, чем данную погрешность можно обнаружить визуально. Так, уже при $T=0,002$ с появляется перерегулирование по углу поворота около 1% (см. рисунок 4), а при $T=0,003$ с процесс становится настолько колебательным, что привод можно считать неработоспособным.

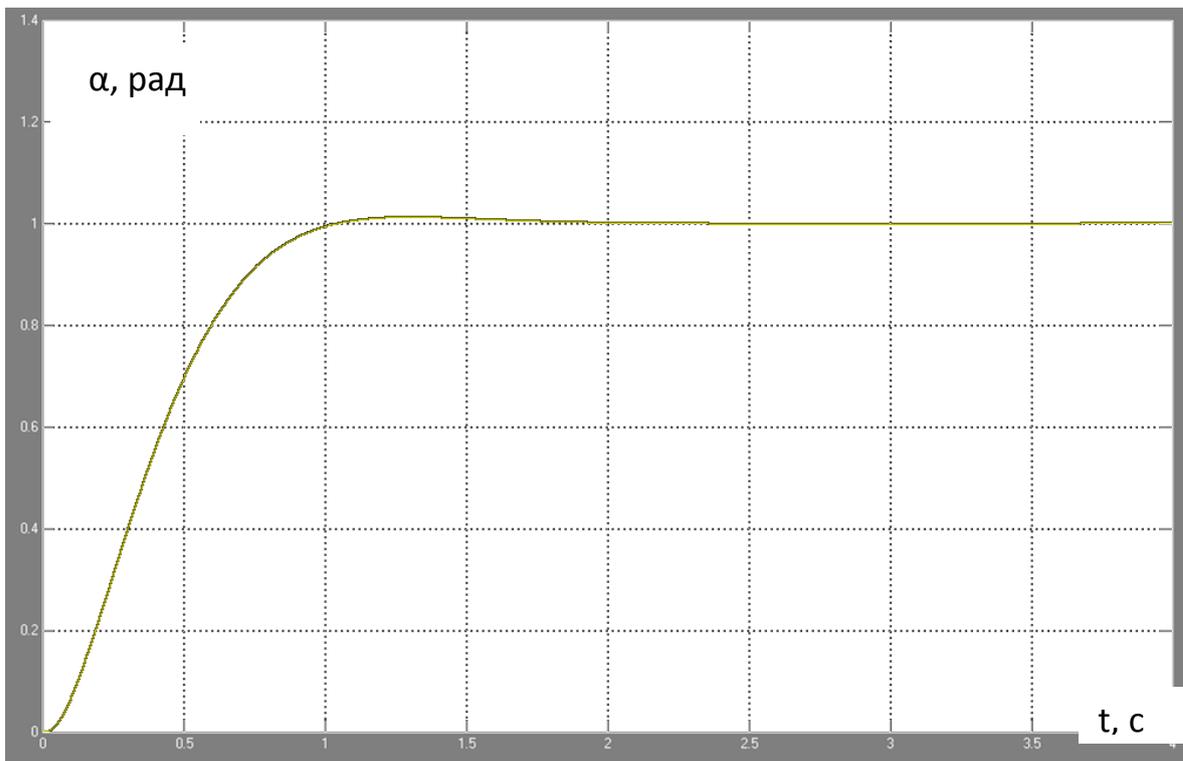


Рисунок 4 – Переходная характеристика привода при $T=0,002$ с.

Следовательно, даже небольшая погрешность работы наблюдателя состояния может оказывать существенное влияние на качество работы привода, что предъявляет весьма высокие требования к точности работы наблюдателя. В рассматриваемом приводе это требование может быть надежно обеспечено лишь при периоде квантования порядка 1 мс. Необходимо также оценить, как полученные результаты зависят от быстродействия наблюдателя состояния, определяемого значением полюсов.

Как указывалось ранее, при расчете наблюдателя состояния его полюсы были приняты по модулю в десять раз больше полюсов системы. При уменьшении модуля полюсов в 2,5 раза (полюсы наблюдателя в 4 раза больше полюсов системы) значение периода квантования, при котором наблюдатель теряет устойчивость, несколько возросло, но влияние на переходную характеристику стало проявляться еще в большей степени. Так при $T=0,002$ с перерегулирование увеличилось до значения примерно 5%. Из этого следует, что повышение устойчивости наблюдателя компенсируется негативным влиянием снижения его быстродействия вследствие увеличения модуля полюсов, что в конечном итоге делает нецелесообразным такое увеличение.

Таким образом, можно рекомендовать при проектировании наблюдателя состояния принимать его быстродействие по возможности высоким за счет соответствующего выбора полюсов, а допустимое значение периода квантования определять на основе моделирования работы привода с помощью предложенной математической модели в каждом конкретном случае.

Полученным при этом значением периода квантования следует руководствоваться при выборе вычислительного устройства (контроллера) для реализации наблюдателя. Цикл работы контроллера с учетом программы вычисления не должен превышать допустимого значения периода квантования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прокопеня, О.Н. Особенности синтеза приводов роботов методом размещения полюсов / О. Н. Прокопеня, А. В. Власовец, А. Г. Олех // Вестник БрГТУ. – 2015. – № 4 : Машиностроение. – С. 30–33.

2. Прокопеня, О.Н. Минимизация структуры приводов роботов при синтезе методом размещения полюсов / О. Н. Прокопеня, А. А. Власовец, А. Г. Олех // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении : материалы IV международной научно-практической конференции, Минск, 3 – 4 февраля 2016 г. / БНТУ – Минск : Бизнесофсет, 2016. – С. 140–141.

3. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд. перераб. и доп. Т. 4: теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. П.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с.

5. Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.

УДК 621.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОЙ ДЛЯ ОТЖИМА ВОДЫ ИЗ ИЛА

М.Д. Тарасевич, Е.В. Василюк

*Брестский государственный технический университет, г.Брест,
Республика Беларусь*

Анализ предприятий мусороперерабатывающей отрасли показывает, что в большинстве из них используются устаревшие методы отработки иловых отложений. Также на многих таких предприятиях соответствующее оборудование сильно изношено и не позволяет в должной степени и с удовлетворительным качеством обрабатывать большие объемы ила. Отсюда цели и задачи состоят в разработке высокоэффективного способа отделения воды из ила.

Важным этапом при очистке сточных вод является механическое обезвоживание осадка. На данный момент существует несколько технологий обезвоживания — с помощью камерных фильтр-прессов, с помощью дисковых шнековых дегидраторов, с помощью ленточных прессов и с помощью центрифуг (декантеров). Каждая технология имеет свои плюсы и минусы (занимаемая площадь, энергопотребление, стоимость и т. п.). При обезвоживании обычно