

2. Богданов Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* BIN для получения биомассы и очистки сточных вод: пат. Рос. Федерации № 2192459. Бюл.№31, 2002. – 130 с.
3. Зайцева Т.А. Рудакова Л.В., Белик Е.С. Биологическая очистка сточных вод в аэротенках. - Пермь : Изд-во Перм.нац.исслед.политехн.ун-та, 2015. – 226 с.
4. Laura E. Christianson, Christine Lepine, Kata L. Sharrer , Steven T. Summerfelt Denitrifying bioreactor clogging potential during wastewater treatment. – USA, 2016 – С.147-156.
5. Laurence Evansa, Sebastian J. Hennige, Nik Willoughby, Adebayo J. Adeloje, Michael Skroblin, Tony Gutierrez. Effect of organic carbon enrichment on the treatment efficiency of primary.- Edinburgh, 2017.- С.368-377.

УДК 676

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И УДАЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД КБЦ-2

Пономарев Н.Ю.<sup>1</sup>, Широков А.А.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
 политехнический университет», г. Пермь

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления, асинхронный двигатель, частотное регулирование.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы реализации частотного регулирования электроприводом насоса канализационной насосной станции. Предложенная система управления предусматривает установление режима работы насоса в соответствии с поступлением в резервуар сточных вод. Приводятся результаты моделирования системы автоматического регулирования

## MODERNIZATION OF THE SYSTEM FOR THE COLLECTION AND REMOVAL OF WASTE WATER OF CSC-2

Ponomarev N.Y.<sup>1</sup>, Shirokov A.A.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Perm national research Polytechnic University, Perm

**Key words:** automated control systems, asynchronous motor, frequency regulation.

**Abstract.** The article deals with the implementation of frequency regulation of the pump of a sewage pumping station by an electric drive. The proposed control system provides for the establishment of the mode of operation of the pump in accordance with the flow into the tank wastewater. The results of the automatic control system simulation are given.

Существующая автоматизированная система сбора и удаления канализационных стоков картонно-бумажного цеха №2 на предприятии ООО «Прикамский Картон» имеет ряд недостатков. Одним из основных недостатков является повторно-кратковременный режим электродвигателя насоса [1]. Решение этой проблемы и ряда сопутствующих возможно за путем введения в контур управления тиристорного преобразователя частоты.

Конструктивно система сбора и удаления канализационных стоков будет состоять из следующих элементов: резервуар; датчик уровня жидкости в резервуаре; центробежный насос; асинхронный двигатель; частотный преобразователь.

Задача регулирования уровня жидкости в резервуарах для различных технологических нужд встречается довольно часто [2]. Однако данная задача имеет ряд особенностей.

Резервуар заполняется жидкостью потоком, не регулируемым системой и имеющим вероятностный характер. При этом, опытные данные показывают, что колебание потока сточных вод варьируется в пределах 25% от значения, принимаемого в расчетах.

Регулирование скорости вращения двигателя и, соответственно, производительности насоса должно поддерживать заданный уровень жидкости, не допуская переполнения или осушения резервуара.

Структурная схема, отображающая все необходимые функциональные блоки и связи между ними, представлена на рисунке 1.

Приведем описание работы системы автоматического регулирования (САР). Скорость вращения  $\omega$  вала асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором через соединительную муфту передаётся на вал насосного агрегата, приводя его в работу и регулируя производительность  $Q$  на выходе насоса. Посредством изменения производительности насоса регулируется уровень сточных вод  $h$  в резервуаре.

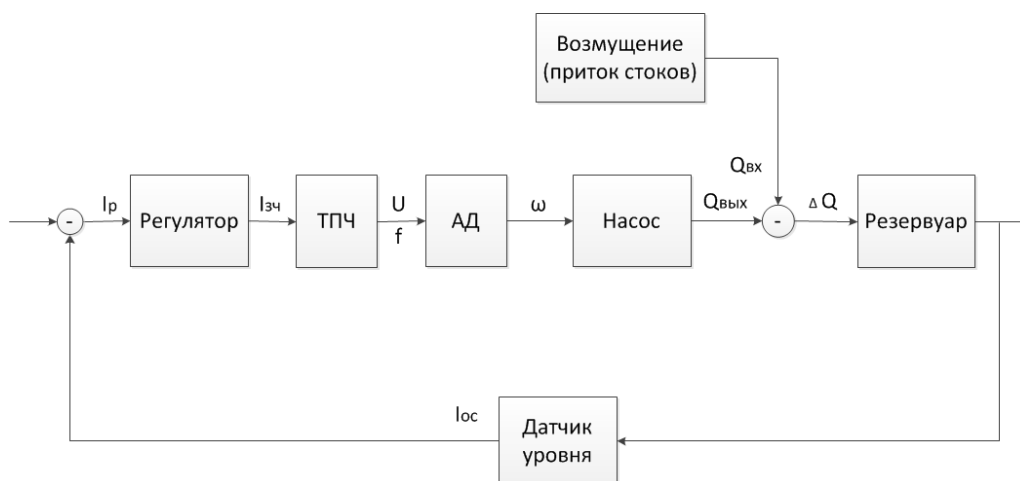


Рисунок 1 – Функциональная схема САР уровня стоков в резервуаре

Уровень стоков в резервуаре контролируется датчиком уровня, работающим по аналоговому принципу. Сигнал уровня сравнивается с уставкой, задаваемой извне и определяющей контролируемый уровень в резервуаре. На вход тиристорного преобразователя частоты (ТПЧ) подаётся сигнал задания частоты  $I_{зч}$ . На выходе ТПЧ – пропорционально изменяющиеся частота  $f$  и напряжение  $U$ . Посредством изменения питающей частоты и напряжения ТПЧ осуществляет управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором, который приводит во вращение насос, откачивающий сточные воды из резервуара.

В процессе автоматического регулирования требуется непрерывно отслеживать текущее состояние регулируемого параметра. Эту функцию выполняет датчик уровня жидкости. На его вход непрерывно поступает физическая величина измеряемого параметра – уровень сточных вод в резервуаре  $h$ , а на выходе – унифицированный аналоговый сигнал обратной связи в форме тока  $I_{oc}$  ( $4 \div 20$  мА) или напряжения  $U_{oc}$  ( $0 \div 10$  В).

Для выполнения функций автоматического регулирования уровня в состав САР вводится регулятор. Он представляет собой вычислительное устройство, позволяющее с заданным быстродействием контролировать параметры объекта и в реальном времени рассчитывать управляющие воздействия. Входы регулятора принимают сигналы задания  $I_3(U_3)$  и обратной связи  $I_{oc}(U_{oc})$ , а на его выходе формируется сигнал управления ТПЧ -  $I_{зч}$ .

*Математическое описание САР.* С целью анализа и программной реализации контура автоматического регулирования необходимо с учётом характеристик выбранной аппаратуры перейти от функциональной схемы к алгоритмической структурной схеме САР. Для этого отдельные функциональные блоки представляются в виде типовых звеньев.

Резервуар (объект регулирования) на структурной схеме представлен как идеальное интегрирующее звено. Передаточная функция объекта:

$$W_0 = \frac{k_0}{p} = \frac{0,191}{p},$$

где  $k_0$  – передаточный коэффициент, определяющийся в установившемся режиме по формуле:

$$k_0 = \frac{\Delta h_{Q_H}}{Q_H},$$

где  $Q_H$  – номинальная производительность насосной установки;  $\Delta h_{Q_H}$  – скорость изменения уровня.

Скорость изменения уровня в резервуаре при номинальной производительности насоса можно вычислить по формуле, где  $V_H$  – объем резервуара,  $h$  – заданное значение уровня в резервуаре:

$$\Delta h_{Q_H} = \frac{Q_H}{V_H} * h = \frac{3,336}{4,65} * 0,9 = 0,64 \text{ м/мин}$$

*Передаточная функция насосной установки.* Регулирующий насос представляет собой апериодическое звено, преобразующее скорость вращения вала  $\omega$  на входе в производительность насоса. Передаточная функция насоса имеет вид:

$$W_H = \frac{k_H}{T_H p + 1} = \frac{0,0003662}{0,2p + 1},$$

где  $k_H$  – статический передаточный коэффициент насоса;  $T_H$  – постоянная времени насоса.

Постоянную времени для насоса принимаем  $T_H = 0,2$  с. Коэффициент передачи насоса определяется в статическом режиме как отношение номинальной производительности насоса  $Q_H$  к номинальной скорости электродвигателя насоса  $\omega_H$ . Номинальная производительность  $Q_H = 3,336 \text{ м}^3/\text{мин}$ , ( $0,0556 \text{ м}^3/\text{с}$ ); номинальная скорость  $\omega_H = 1450 \text{ об/мин}$ , ( $151,84 \text{ рад/с}$ ).

Передаточная функция асинхронного электродвигателя:

$$W_{дв} = \frac{k_{дв}}{T_{дв} p + 1} = \frac{3,068}{0,87p + 1},$$

где  $k_{дв}$  – статический передаточный коэффициент асинхронного электродвигателя;  $T_H$  – постоянная времени двигателя.

Статический передаточный коэффициент двигателя определяется как отношение угловой скорости вращения двигателя  $\omega$  к частоте питающей сети  $f$ . Номинальная частота питания  $f_H = 50$  Гц, а значение номинальной угловой скорости вращения двигателя  $\omega_H$  рассчитывается из номинальной частоты вращения ротора по формуле:

$$\omega_H = \frac{2 * \pi * n}{60} = \frac{2 * 3,14 * 1450}{60} = 151,76 \text{ рад/с}$$

Передаточная функция тиристорного преобразователя:

$$W_{ТП} = \frac{k_{ТП}}{T_{ТП} p + 1} = \frac{2,5}{0,0063p + 1}$$

Передаточный коэффициент тиристорного преобразователя определяется в статическом режиме при номинальном значении выходного воздействия по формуле:

$$k_{ТП} = \frac{f_{ТП}}{I_{вх.н}} = \frac{50}{20} = 2,5,$$

где  $f_H$  – частота на выходе тиристорного преобразователя, обеспечивающая номинальный режим работы двигателя;  $I_{вх.н}$  – управляющий ток на входе ТПЧ, который обеспечивает номинальную частоту на выходе

Поскольку управление ТПЧ осуществляется током  $4 \div 20$  мА, а частоту двигателя необходимо изменять в диапазоне  $0 \div 50$  Гц, то номинальной частоте двигателя ( $f_H = 50$  Гц) будет соответствовать входное напряжение управления ТПЧ  $I_{вх.н} = 20$  мА.

Постоянная времени тиристорного преобразователя определяется по формуле:

$$T_{ТП} = T_{\phi} + \frac{1}{2 * m * f_H},$$

где  $T_{\phi}$  – постоянная времени цепи системы импульсно-фазового управления (СИФУ) ТПЧ, включая фильтр;  $m$  – число фаз ТПЧ.

Значение постоянной времени цепи СИФУ тиристорных преобразователей обычно составляет  $0,003 \div 0,005$  с, поэтому при моделировании принято принимать значение  $T_{\phi}$  из данного диапазона. С учётом относительной новизны выбранного частотного преобразователя принимаем минимальное значение  $T_{\phi} = 0,003$  с. Поскольку ТПЧ осуществляет управление трёхфазным двигателем, то число фаз  $m = 3$ . Номинальное значение выходной частоты  $f_n$  составляет 50 Гц.

Датчик уровня как элемент структурной схемы представляет собой безынерционное звено. В резервуаре КНС планируется поддерживать уровень на отметке 0,9 метра, что соответствует примерно 10 мА на выходе датчика. Отсюда найдем передаточную функцию датчика уровня:

$$W_{\text{ду}} = k_{\text{ду}} = \frac{I_{\text{ду}}}{h} = \frac{10}{0,9} = 11,11.$$

Моделирование САР выполнено в пакете Matlab. При моделировании уровень жидкости в резервуаре принимается равным нулю, двигатель насоса остановлен. Поступление сточных вод считается постоянным.

В результате моделирования были получены переходные характеристики объекта управления (рисунок 2) и органа управления (рисунок 3).

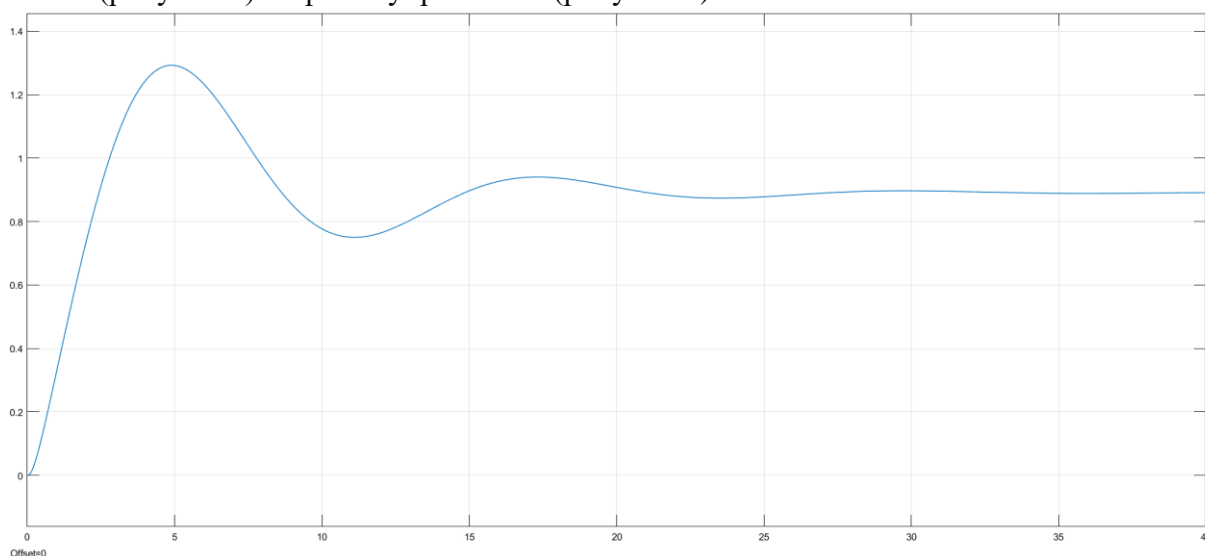


Рисунок 2 – Переходная характеристика объекта управления

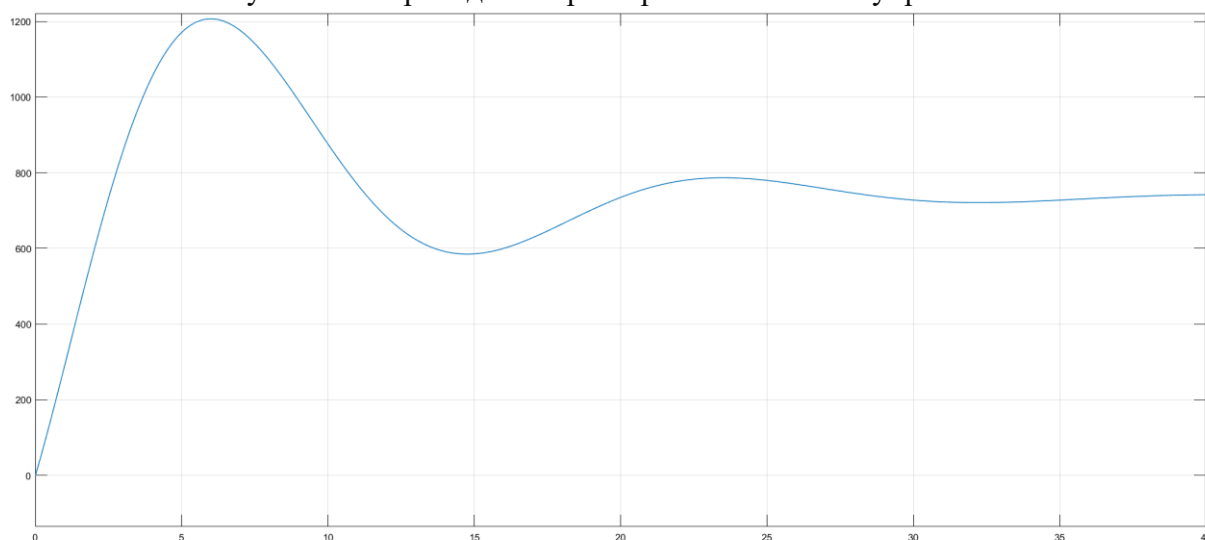


Рисунок 3 – Переходная характеристика органа управления

Как видно из графиков, в начальный момент времени резервуар быстро заполняется сточными водами, а двигатель насоса с задержкой около 2 сек. Разгоняется до примерно

90% от номинальной скорости. Такая задержка не критична с позиции заполнения резервуара. В течение 20 сек. наступает установившийся режим работы. Поскольку изменение потока жидкости, поступающий в резервуар носит инерционный характер, дальнейшие колебания уровня жидкости и, соответственно, оборотов двигателя будут незначительны. Оборудование насосной станции будет использоваться в комфортных условиях.

### Список литературы

1. Модернизация автоматизированной системы управления канализационной насосной / Н. Ю. Пономарев, А. А. Широков // Инновации основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности [Электронный ресурс] : сб. материалов VI Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности, Екатеринбург, 23-24 марта 2018 г. : Изд-во УМЦ УПИ, 2018. - С. 184-186.

2. Синтез системы автоматического регулирования уровня бумажной массы в напорном ящике / О. А. Билоус // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 8, ч. 1. - С. 93-98.

УДК 676

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАСЛОБАКЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ СМАЗКИ БДМ

Брюханов Д.А.<sup>1</sup>, Исаков С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург

**Ключевые слова:** бумагоделательная машина, централизованная система смазки, моделирование, линии тока масла.

**Аннотация.** Произведено компьютерное моделирование движения масла в баках различных конструкций. Получены картины движения и линии тока масла, распределения давления. Результаты подтверждают теоретические картины движения масла.

## STUDY OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN THE OIL TANK CENTRALIZED LUBRICATION SYSTEM PM

Bryukhanov D. A.<sup>1</sup>, Isakov S. N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

**Key words:** paper machine, centralized lubrication system, modeling, oil flow lines.

**Abstract.** Computer modeling of oil movement in tanks of various designs is made. Motion patterns and oil flow lines, pressure distribution are obtained. The results confirm the theoretical patterns of oil movement.

Бумагоделательная машина очень сложная техническая система, к которой предъявляются технологические, энергетические и др. требования. Её работа должна быть обеспечена на определенном уровне качества выпускаемой продукции, надежности, ремонтпригодности и т.д. При повышении скорости и увеличения размеров бумагоделательных машин (БДМ) необходимо использовать централизованную систему смазки (ЦСС).

К основным функциям к ЦСС можем отнести [1]: уменьшения износа и трения, охлаждения узлов трения и их очистка, очистка масла от посторонних элементов, в т.ч. воды и воздуха, подача к узлам трения заданных объемов масла и др.

«Центральное» место в ЦСС занимает маслобак (рисунок 1), в котором масло должно храниться во время плановых и аварийных ремонтах, при эксплуатации масло должно «от-