**УДК 62-531.3**
**МРНТИ 50.43.15**

# СТАБИЛИЗАЦИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОМ РЕЗЕРВУАРЕ

**Смирнов А.П.[1], Риттер Д.В.[1], Риттер Е.С.[1]**
*[1]СКГУ им. М.Козыбаева, Петропавловск, Казахстан*

**Аннотация**

В статье рассмотрена проблема работы насосной установки с проточным резервуаром, в котором поддерживается постоянный уровень жидкости изменением частоты вращения электродвигателя насоса с помощью преобразователя частоты. Управление частотой вращения электродвигателя насоса выполнено от измерительного преобразователя уровня жидкости в резервуаре, таким образом, образуется обратная связь. Как известно, при использовании частотного регулятора в замкнутой следящей системе с обратной связью существует проблема устойчивости системы, вызванная задержками сигнала в интегрирующих цепях, и система может входить в режим автогенерации. Поэтому в статье исследована проблема устойчивости системы против возникновения автогенерации. Для этого составлена структурная схема насосной установки, где учтены все цепи задержки. По структурной схеме составлена математическая модель установки в программе MATLAB Simulink и проведена симуляция переходного процесса на воздействие внешнего возмущения. Для устойчивости работы насосной установки предложена фазовая коррекция системы введением фазового фильтра. Приведена принципиальная схема фазового фильтра.

**Ключевые слова:** преобразователь частоты, насос, поддержание уровня, резервуар.

# ӨЗДІК ҚАУІПСІЗДІГІНДЕГІ ДЕҢГЕЙДІ ТҰРАҚТАНДЫРУ

**Смирнов А.П.[1], Риттер Д.В.[1], Риттер Е.С.[1]**
*[1]Атындағы СҚМУ Қозыбаев, Петропавл, Қазақстан*

**Аңдатпа**

Мақалада сорғы агрегатының ағынды резервуармен жұмыс істеу мәселесі қарастырылған, онда тұрақты сұйықтық деңгейі жиілік түрлендіргішінің көмегімен сорғының қозғалтқышының айналу жиілігін өзгерту арқылы сақталады. Сорғы қозғалтқышының айналу жылдамдығын бақылау резервуардағы сұйықтық деңгейін өлшейтін түрлендіргіш арқылы жүзеге асырылады, осылайша кері байланыс пайда болады. Өздеріңіз білетіндей, тұйықталған кері байланысты бақылау жүйесінде жиілікті реттегішті қолдану кезінде интегралдық тізбектердегі сигналдардың кешігуі салдарынан жүйенің тұрақтылығы туралы мәселе туындайды және жүйе автоматты түрде генерациялау режиміне енуі мүмкін. Сондықтан мақалада жүйенің тұрақтылығы авто-буынның пайда болуына қарсы тұру мәселесі қарастырылады. Ол үшін сорғы қондырғысының блок-схемасы жасалады, онда барлық кідіріс тізбектері ескеріледі. Құрылымдық сызбаға сәйкес MATLAB Simulink бағдарламасында қондырғының математикалық моделі жасалды және сыртқы бұзылыстың әсерінен өтпелі процесті модельдеу жүргізілді. Сорғы қондырғысының тұрақтылығы үшін фазалық сүзгіні енгізу арқылы жүйені фазалық түзету ұсынылады. Фазалық сүзгінің схемалық диаграммасы келтірілген.

**Түйінді сөздер:** жиілікті түрлендіргіш, сорғы, деңгейге қызмет көрсету, резервуар.

# STABILIZATION OF A LIQUID LEVEL IN A FLOW RESERVOIR

**A.P. Smirnov[1], D.V. Ritter[1], E.S. Ritter[1]**
*[1]NKSU named M. Kozybaev, Petropavlovsk, Kazakhstan*

**Abstract**

The article considers the problem of the operation of a pumping unit with a flow tank, in which a constant liquid level is maintained by changing the speed of the pump motor using a frequency converter. The control of the rotational speed of the pump motor is made from the measuring transducer of the liquid level in the tank, thus, feedback is formed. As you know, when using a frequency controller in a closed-loop feedback tracking

system, there is a system stability problem caused by signal delays in integrating circuits, and the system may enter auto-generation mode. Therefore, the article explores the problem of the stability of the system against the occurrence of auto-generation. For this, a block diagram of the pumping unit is compiled, where all delay circuits are taken into account. According to the structural diagram, a mathematical model of the installation was compiled in the MATLAB Simulink program and a simulation of the transient process on the influence of an external disturbance was carried out. For the stability of the pump installation, a phase correction of the system is proposed by introducing a phase filter. A schematic diagram of a phase filter is given.

**Key words:** frequency converter, pump, level maintenance, reservoir.

## Введение

Системы частотного регулирования насосов и насосных станций широко применяются в ЖКХ, в инженерных системах промышленных предприятий, в энергетике. Применение технологий частотного регулирования для управления гидравлическими параметрами позволяет снизить удельные потребление энергии на перекачку, уменьшить затраты на эксплуатацию насосного оборудования и обеспечить более надежное его функционирование.

Но при использовании частотного регулятора в замкнутой следящей системе с обратной связью существует проблема устойчивости вызванная задержками сигнала в интегрирующих цепях.

## Методы исследования

На 1 изображена схема установки подачи воды потребителю через накопительный резервуар воды.

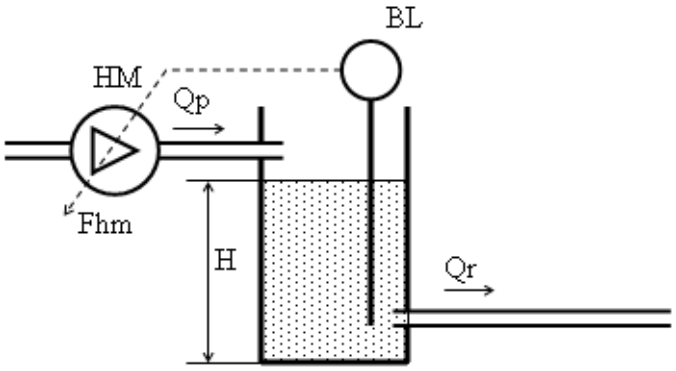


Рисунок 1 Схема установки подачи воды потребителю через накопительный резервуар воды

Вода вытекает из резервуара воды к потребителю по трубе с расходом Qr, и одновременно вода втекает в резервуар по трубе с расходом Qp. При этом уровень воды H в резервуаре поддерживается постоянным частотой вращения ротора насоса HM от сигнала преобразователя уровня воды BL [1].

На Рисунке 2 изображена структурная схема установки подачи воды потребителю.

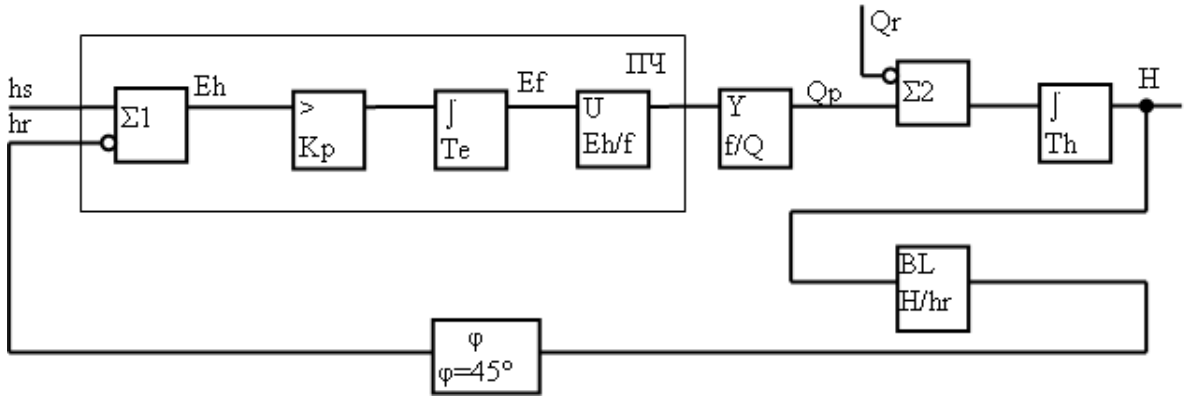


Рисунок 2 Структурная схема установки подачи воды потребителю.

На схеме изображены сумматор Σ1, усилитель ошибки Kp , интегратор скорости разгона (торможения) Te, преобразователь ошибки в частоту U Eh/f. Эти функциональные узлы входят в состав типового преобразователя частоты ПЧ для асинхронного электродвигателя [2].

На схеме изображены преобразователь Y частоты вращения ротора насоса НМ в расход воды Qp, сумматор Σ2, интегратор Th, являющийся функцией накопления уровня H в резервуаре, преобразователь уровня BL, который преобразует уровень воды H в резервуаре в электрический сигнал высоты hr [3] и фазовый фильтр φ, который уменьшает фазовый сдвиг для устойчивости замкнутой следящей системы.

Входные и выходные сигналы на схеме – сигнал задания уровня воды в резервуаре hs, сигнал уровня воды в резервуаре hr, сигнал ошибки уровня воды в резервуаре Eh, сигнал расхода Qp воды, которая втекает в резервуар, сигнал расхода Qr воды, которая вытекает из резервуара. Также показан уровень воды H в резервуаре, который является выходным параметром замкнутой следящей системы.

На схеме не изображены интеграторы (или задержки) реакции электродвигателя и преобразователя BL ввиду их малости в сравнении Te и Th.

Постоянная времени интегрирования Te и Th интегратора – это время, которое требуется интегрирующему звену, чтобы значение выходного сигнала достигло такой же величины, как значение входного сигнала.

Постоянная времени интегрирования Te интегратора устанавливается в преобразователе частоты ПЧ.

Постоянная времени интегрирования Th интегратора измеряется в установке или вычисляется по формуле:

$$Th = \frac{\frac{hr}{Ef} \cdot S}{Ku \cdot Ky \cdot Kbl}, \qquad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения резервуара, м$^2$;
Ku – коэффициент преобразования преобразователя U, Гц/В;
Ky - коэффициент преобразования преобразователя Y, м$^3$/с/Гц;
Kbl – коэффициент преобразования преобразователя BL, В/м.
На 3а изображена амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики прямого канала установки. На рисунке видно, что амплитудно-частотная характеристика имеет

наклон -40 дБ/дек с граничной частотой $\omega_1 = \sqrt{\frac{Kp}{Te \cdot Th}}$, а фазовая характеристика прямого канала близкая к -180°. Поэтому замкнутая система неустойчивая без фазовой коррекции.

**Результаты исследования**

Для обеспечения устойчивости замкнутой системы введена фазовая коррекция фазовым фильтром φ. На Рисунке 3б изображена амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики разомкнутого канала установки. На Рисунке видно, что фазовая характеристика разомкнутого канала имеет сдвиг фазы около -135°, достаточный для устойчивости системы.

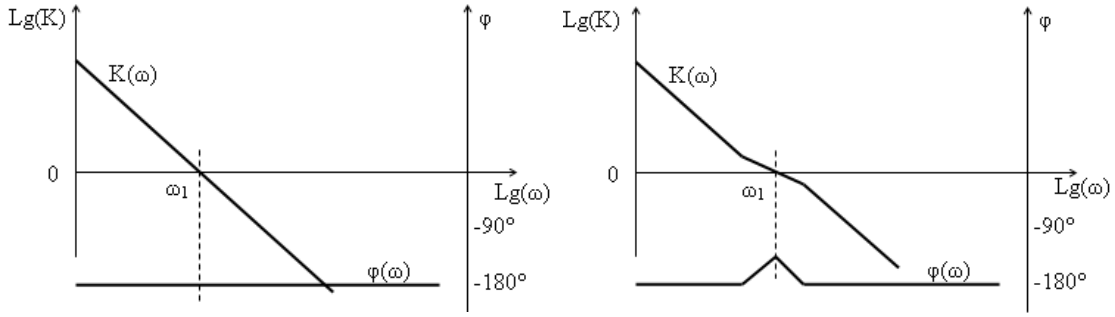


Рисунок 3 Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики установки

На 4 изображена электрическая принципиальная схема фазового фильтра.

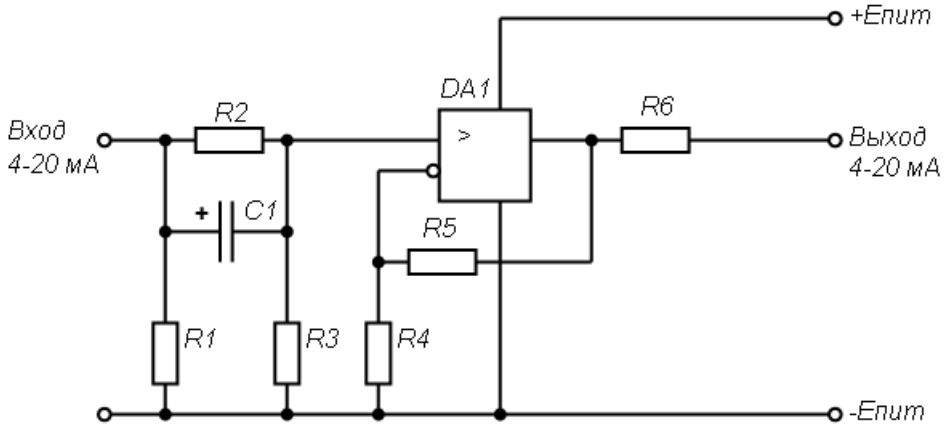


Рисунок 4 Электрическая принципиальная схема фазового фильтра

На схеме резисторы R1-R3 с конденсатором C1 образуют фазосдвигающий фильтр с фазовым сдвигом φ=45° ($\omega_1$). Операционный усилитель DA1 с резисторами R4-R6 масштабируют небольшое напряжение фазосдвигающего фильтра в стандартный уровень сигнала ГСП 4-20 мА.

На Рисунке 5 изображена переходная характеристика установки подачи воды потребителю, полученная симулированием в программе MATLAB Simulink.

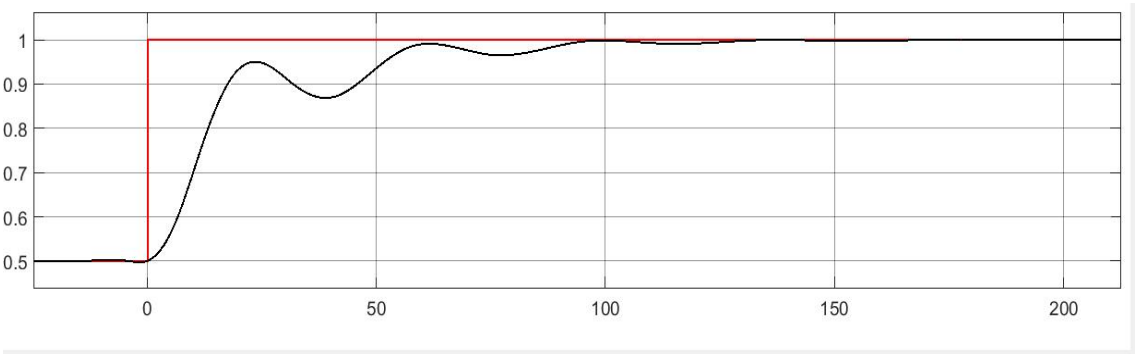


Рисунок 5 Переходная характеристика установки подачи воды

## Заключение

Введение фазовой коррекции фазовым фильтром в обратную связь позволяет получить устойчивую систему.

**Литература:**

1. Фащиленко В.Н., Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий:учебное пособие. – М.: Горная Книга, 2011. – 260 с.
2. Преобразователь частоты векторный ОВЕН ПЧВХХ: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://owen.ru/uploads/25/re_pchv_2244.pdf.
3. Датчик уровня поплавковый ПДУ-И: Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://owen.ru/uploads/198/re_pdu-i_1-ru-58002-1.5_a4.pdf.