

**Методические рекомендации**  
**ко второму этапу студенческой олимпиады «Газпром»**  
**по направлению «Управление в технических системах»**

Второй этап олимпиады состоит из двух заданий:

- решение теоретических задач;
- выполнение практических заданий.

**Задание 1**

Решение *теоретических задач* предполагает научные знания из перечисленных ниже дисциплин, как правило, включаемых в учебные планы вузов, осуществляющих подготовку бакалавров и магистров по направлению «Управление в технических системах»:

- Математическое моделирование объектов и систем управления;
- Идентификация и диагностика систем управления;
- Теория автоматического управления;
- Оптимальное управление;
- Адаптивное управление;
- Современные проблемы теории управления, включая вопросы нейросетевого управления и нечетких систем управления;
- Технические средства автоматизации и управления;
- Схемотехника;
- Автоматизация проектирования средств и систем управления.

**Рекомендуемая литература**

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Учебник в 2-х томах. М.: Физматлит, 2003. 283 с.; 2004. 464 с.
2. Теория автоматического управления: Учебник для вузов в 2-х томах / Под ред. акад. А.А. Воронова. М.: Высш. шк., 1986
3. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; Под ред. В.Б. Яковлева. М.: Высш. шк., 2009. 567 с.

4. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования М.: Высшая школа, 2006. 368 с.
5. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб.: Питер, 2005. 336с.
6. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. СПб.: Питер, 2006. 272с.
7. Певзнер Л.Д. Теория систем управления. М. Изд-во МГГУ, 2002. 472 с.
8. Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ, 2004. 911 с.
9. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти томах / Под ред. К.А.Пупкова М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2004.
10. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. СПб.: Наука, 1999. 467 с.
11. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студентов вузов. М.: Издат. центр «Академия», 2009. 352 с.
12. Рей У. Методы управления технологическими процессами. М.: Мир, 1983. 368 с.
13. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2005. 292 с.
14. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк. 2002. 183 с.
15. Душин С.Е., Красов А.В., Кузьмин Н.Н. Моделирование систем управления. Учебное пособие. М.: Изд-во «Студент», 2012.
16. Малков А.В., Першин И.М. Системы с распределенными параметрами. Анализ и синтез. М.: Научный мир, 2012. 476с
17. Боголюбова М.Н. Системный анализ и математическое моделирование: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 104 с.
18. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. СПб.: Профессия, 2009. 592 с.

19. Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП: Уч.пособ. СПб: СПбГЛТА. 2006. 152 с.
20. Решетникова Г.Н. Моделирование систем. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТУСУР, 2005.
21. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: Учебник для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ, 2003.
22. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Наука, 1997.
23. Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей: Учеб. пособие: М.: Изд-во МГУ, 1983.
24. Автоматическое управление в химической промышленности: Учеб. / Под ред. проф. Е.Г. Дудникова. М.: Химия, 1987.
25. Процессы и аппараты химической технологии. / Под ред. проф. А.А. Захаровой. М.: Издат. центр «Академия», 2006.
26. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.

### **Пример**

Модель аппарата, в котором необходимо регулировать уровень жидкости (например, абсорбер), в малой окрестности установившегося номинального (рабочего) режима может быть представлена линейным динамическим звеном первого порядка. Управляемая величина – уровень жидкости  $L$  – регулируется изменением расхода жидкости на выходе из аппарата (рис. 1) и измеряется безынерционным измерительным преобразователем  $I$ , с выхода которого сигнал поступает на вход ПИ-регулятора  $2$ . Сформированная регулятором команда передается на исполнительное устройство  $3$ , по своим инерционным свойствам соответствующее динамическому звену первого порядка. Исполнительное устройство открывает и закрывает клапан, который увеличивает сток жидкости из аппарата при увеличении уровня в нем либо уменьшает сток – при уменьшении уровня.

Составить уравнение динамики линейной системы регулирования в окрестности установившегося режима, связывающее уровень жидкости в аппарате  $L$  с притоком жидкости  $F_{вх}$  и заданным значением уровня, и изобразить структурную схему.

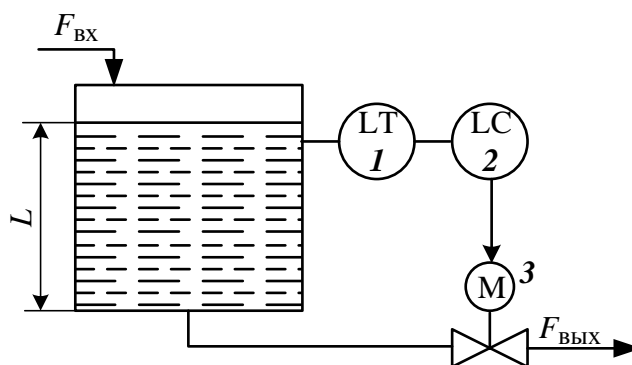


Рис. 1 – Схема системы регулирования уровня

**Методические указания к решению.** Составим уравнения динамики отдельных элементов системы регулирования.

Уравнение динамики в приращениях для **аппарата**:

$$T_0 \frac{d\Delta L}{d\tau} + \Delta L = K_0 (\Delta F_{\text{ВХ}} - \Delta F_{\text{ВЫХ}}), \quad (1)$$

где  $\Delta L = L - L_0$  – отклонение (приращение) уровня жидкости в аппарате от номинального установившегося значения  $L_0$ ;

$\Delta F_{\text{ВХ}} = F_{\text{ВХ}} - F_{\text{ВХ}0}$  – отклонение (приращение) притока жидкости в аппарат от номинального установившегося значения  $F_{\text{ВХ}0}$  (возмущающее воздействие);

$\Delta F_{\text{ВЫХ}}$  – изменение стока жидкости из аппарата за счет изменения степени открытия регулирующего органа исполнительного устройства (регулирующее воздействие);

$T_0$  – постоянная времени аппарата;

$K_0$  – коэффициент преобразования (усиления) звена.

Уравнение в приращениях для **измерительного преобразователя уровня (уровнемера)**

$$\Delta L_{\text{ИЗМ}} = K_{\text{ИП}} \Delta L, \quad (2)$$

где  $\Delta L_{\text{ИЗМ}}$  – изменение сигнала, соответствующего измеренному значению уровня в аппарате;

$K_{\text{ИП}}$  – коэффициент преобразования (усиления) измерительного преобразователя уровня.

Уравнение **ПИ-регулятора**

$$\Delta u = K_p \varepsilon + \frac{1}{T_a} \int_0^{\tau} \varepsilon d\tau = K_p (\Delta L_{\text{ИЗМ}} - \Delta L_{\text{ЗД}}) + \frac{1}{T_a} \int_0^{\tau} (\Delta L_{\text{ИЗМ}} - \Delta L_{\text{ЗД}}) d\tau, \quad (3)$$

где  $\Delta L_{\text{изм}}$  – изменение командного сигнала, передаваемого с регулятора на исполнительное устройство;

$K_p$  – коэффициент пропорциональности регулятора;

$T_a$  – постоянная времени интегрирования;

$\varepsilon$  – ошибка регулирования.

Уравнение в приращениях для **исполнительного устройства**

$$T_{\text{иу}} \frac{d\Delta F_{\text{вых}}}{d\tau} + \Delta F_{\text{вых}} = K_{\text{иу}} \Delta u, \quad (4)$$

где  $T_{\text{иу}}$  и  $K_{\text{иу}}$  – постоянная времени и коэффициент усиления исполнительного устройства.

С учетом полученных уравнений, можно составить структурную схему линейной системы регулирования (рис. 2), характеризующей ее работу в малой окрестности номинального установившегося режима

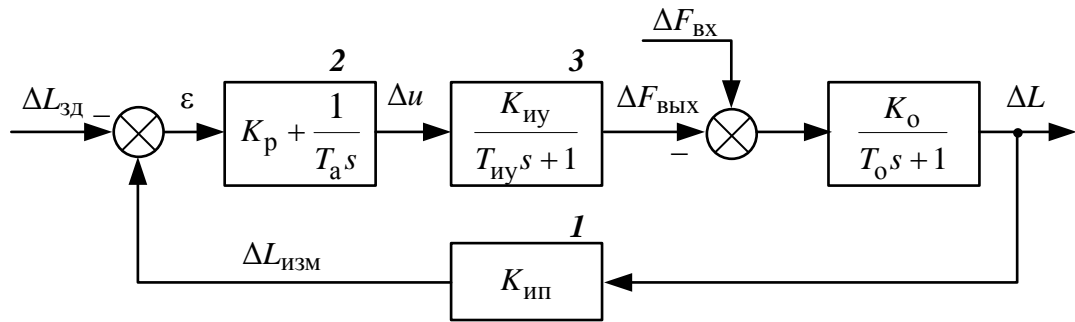


Рис. 2 – Структурная схема системы регулирования уровня

С целью получения уравнения динамики, из системы уравнений (1)–(4) исключаются переменные  $\Delta u$ ,  $\Delta L_{\text{изм}}$  и  $\Delta F_{\text{вых}}$ . Для этого необходимо подставить  $\Delta L_{\text{изм}}$  из уравнения (2) в уравнение регулятора (3):

$$\Delta u = K_p K_{\text{ипп}} \Delta L - K_p \Delta L_{\text{зд}} + \frac{K_{\text{ипп}}}{T_a} \int_0^{\tau} \Delta L d\tau - \frac{1}{T_a} \int_0^{\tau} \Delta L_{\text{зд}} d\tau. \quad (5)$$

Полученное выражение для  $\Delta u$  подставляется в уравнение (4):

$$T_{\text{иу}} \frac{d\Delta F_{\text{вых}}}{d\tau} + \Delta F_{\text{вых}} = K_{\text{иу}} K_p K_{\text{ипп}} \Delta L - K_{\text{иу}} K_p \Delta L_{\text{зд}} + \frac{K_{\text{иу}} K_{\text{ипп}}}{T_a} \int_0^{\tau} \Delta L d\tau - \frac{K_{\text{иу}}}{T_a} \int_0^{\tau} \Delta L_{\text{зд}} d\tau. \quad (6)$$

Выражаем  $\Delta F_{\text{вых}}$  из уравнения (1)

$$\Delta F_{\text{ВЫХ}} = \Delta F_{\text{ВХ}} - \frac{T_0}{K_0} \cdot \frac{d\Delta L}{d\tau} - \frac{1}{K_0} \Delta L, \quad (7)$$

и дифференцируем (7)

$$\frac{d\Delta F_{\text{аио}}}{d\tau} = \frac{d\Delta F_{\text{ао}}}{d\tau} - \frac{T_i}{K_i} \frac{d^2\Delta L}{d\tau^2} - \frac{1}{K_i} \frac{d\Delta L}{d\tau}. \quad (8)$$

Далее, выражения  $\Delta F_{\text{ВЫХ}}$  и  $d\Delta F_{\text{ВЫХ}}/d\tau$  подставляются в уравнение (6):

$$\begin{aligned} & T_{\text{иу}} \frac{d\Delta F_{\text{ВХ}}}{d\tau} - \frac{T_0 T_{\text{иу}}}{K_0} \cdot \frac{d^2\Delta L}{d\tau^2} - \frac{T_{\text{иу}}}{K_0} \cdot \frac{d\Delta L}{d\tau} + \\ & + \Delta F_{\text{ВХ}} - \frac{T_0}{K_0} \cdot \frac{d\Delta L}{d\tau} - \frac{1}{K_0} \Delta L = \\ & = K_{\text{иу}} K_{\text{р}} K_{\text{ип}} \Delta L - K_{\text{иу}} K_{\text{р}} \Delta L_{\text{зд}} + \\ & + \frac{K_{\text{иу}} K_{\text{ип}}}{T_{\text{а}}} \int_0^{\tau} \Delta L d\tau - \frac{K_{\text{иу}}}{T_{\text{а}}} \int_0^{\tau} \Delta L_{\text{зд}} d\tau. \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнение (9) дифференцируется и, затем, преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} & \frac{T_0 T_{\text{иу}}}{K_0} \cdot \frac{d^3\Delta L}{d\tau^3} + \frac{(T_0 + T_{\text{иу}})}{K_0} \cdot \frac{d^2\Delta L}{d\tau^2} + \\ & + \frac{(1 + K_0 K_{\text{ип}} K_{\text{р}} K_{\text{иу}})}{K_0} \cdot \frac{d\Delta L}{d\tau} + \frac{K_{\text{ип}} K_{\text{иу}}}{T_{\text{а}}} \Delta L = \\ & = T_{\text{иу}} \frac{d^2\Delta F_{\text{ВХ}}}{d\tau^2} + \frac{d\Delta F_{\text{ВХ}}}{d\tau} + K_{\text{р}} K_{\text{иу}} \frac{d\Delta L_{\text{зд}}}{d\tau} + \frac{K_{\text{иу}}}{T_{\text{а}}} \Delta L_{\text{зд}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Все слагаемые уравнения (10) можно разделить на коэффициент при  $\Delta L$ , в результате чего получаем уравнение динамики системы регулирования уровня жидкости:

$$\begin{aligned} & a_3 \frac{d^3\Delta L}{d\tau^3} + a_2 \frac{d^2\Delta L}{d\tau^2} + a_1 \frac{d\Delta L}{d\tau} + a_0 \Delta L = \\ & = b_2 \frac{d^2\Delta F_{\text{ВХ}}}{d\tau^2} + b_1 \frac{d\Delta F_{\text{ВХ}}}{d\tau} + c_1 \frac{d\Delta L_{\text{зд}}}{d\tau} + c_0 \Delta L_{\text{зд}}. \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$a_3 = \frac{T_0 T_{\text{иу}} T_{\text{а}}}{K_0 K_{\text{ип}} K_{\text{иу}}}; \quad a_2 = \frac{(T_0 + T_{\text{иу}}) T_{\text{а}}}{K_0 K_{\text{ип}} K_{\text{иу}}};$$

$$a_1 = \frac{(1 + K_o K_{ип} K_p K_{иу}) T_a}{K_o K_{ип} K_{иу}}; \quad a_0 = 1;$$

$$b_2 = \frac{T_{иу} T_a}{K_{ип} K_{иу}}; \quad b_1 = \frac{T_a}{K_{ип} K_{иу}};$$

$$c_1 = \frac{K_p T_a}{K_{ип}}; \quad c_0 = \frac{1}{K_{ип}}.$$

## Задание 2

Второй задание олимпиады включает в себя пять практических заданий по программированию на языках стандарта промышленного логического контроллера IEC 61131-3.

Стандарт IEC 61131-3 описывает синтаксис и семантику пяти языков программирования промышленных логических контроллеров (ПЛК):

1. LD (Ladder Diagram) – графический язык программирования, являющийся стандартизованным вариантом класса языков релейно-контактных схем. Логические выражения на этом языке описываются в виде объединенных в цепи контактов, расположенных между двумя вертикальными шинами питания. Для расширения возможностей языка LD в структуру программы возможно добавление функций и функциональных блоков, реализованных на других языках стандарта.

2. FBD (Functional Block Diagram) – графический язык программирования. Программа, написанная на данном языке, по сути своей напоминает принципиальную схему электронного устройства. В отличие от LD «проводники» в FBD могут передавать сигналы любого типа (логический, аналоговый, время и т. д.).

3. ST (Structured Text) – текстовый высокоуровневый язык общего назначения, по синтаксису представляющий собой адаптированный Паскаль. Вместо процедур Паскаля в ST используются компоненты программ стандарта IEC.

4. IL (Instruction List) – текстовый язык низкого уровня, дословно – список инструкций. Выглядит как типичный язык ассемблера. В рамках стандарта IEC 61131-3 к архитектуре конкретного процессора не привязан. Язык IL позволяет работать с любыми типами данных, вызывать функции и функциональные блоки, реализованные на любом языке.

5. SFC (Sequential Function Chart) – графический язык, используемый для описания алгоритма работы программы в виде шагов (step) и переходов (transition) между ними. Шаг представляет собой определенный набор действий над переменными. Переход – это набор условных логических выражений, разрешающий передачу управления к следующей паре шаг-переход. SFC имеет возможность распараллеливания алгоритма. Диаграммы SFC являются высокоуровневым наглядным графическим инструментом, однако в конечном счете, действия нижнего уровня необходимо будет писать на других языках стандарта.

Для создания программ на языках стандарта IEC 61131-3 будет использоваться программное обеспечение CoDeSys, разработанное фирмой 3S-Smart Software Solutions GmbH (Кемптен, Германия). В CoDeSys для программирования доступны все пять определяемых стандартом IEC 61131-3 (МЭК 61131-3) языков. Встроенные компиляторы CoDeSys генерируют машинный код, который затем загружается в контроллер. При подключении к контроллеру среда программирования переходит в режим отладки. В нем доступен мониторинг/изменение/фиксация значений переменных, точки останова, контроль потока выполнения, горячее обновление кода, графическая трассировка в реальном времени и другие отладочные инструменты. Также имеется режим эмуляции, который позволяет осуществлять отладку разработанной программы без загрузки ее в ПЛК. Среда программирования ПЛК CoDeSys распространяется бесплатно и может быть без ограничений установлена на нескольких рабочих местах.



Для выполнения олимпиадных заданий можно выбрать любой язык программирования. Все программы будут запускаться на исполнение в режиме эмуляции.

Примерные темы олимпиадных заданий:

✓ реализовать предложенную логическую схему в виде программы для ПЛК;

✓ разработать программное обеспечение для ПЛК, реализующее управления некоторым технологическим процессом. Например, при превышении уровня воды в цистерне, необходимо перекрыть трубопровод отсечным клапаном.

Для выполнения заданий понадобится знание принципов работы следующих стандартных блоков языка МЭК 61131-3 – TON, TOF, TP, SHR, SHL, STU, STD.

#### **Рекомендуемая литература**

1. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования [Текст] / И.В. Петров ; под ред. В.П. Дьяконова. - М.: СОЛОН-Пресс, 2004.

2. Петров В.Н. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2003.

3. Программируемые контроллеры : руководство для инженера . Э. Парр. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний 2007 г.

4. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования. – Введ. 2017-01-04. – 232 с.