



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электромеханика и промышленная автоматика»

А.А. ШКРОМАДО
Р.В. ШЕСТОВ
А.Н. БИРЮКОВ

СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лабораторный практикум

Самара
Самарский государственный технический университет
2017

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 004.4

С Системы цифрового управления: лабораторный практикум / *А.А. Шкромадо, Р.В. Шестов, А.Н. Бирюков.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 66 с.: ил.

Приведены теоретические положения и рассмотрена программная реализация систем управления, содержащих цифровой ПИД-регулятор, с различными видами выходных управляющих сигналов.

Для студентов высших технических учебных заведений, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

УДК 004.4

Рецензенты: доцент кафедры «автоматизация и управление технологическими процессами» к.т.н. *Сусарев С. В.*

Директор ООО «Паскаль» г. Сызрань *Мартынов О. Г.*

© А.А. Шкромадо, Р.В. Шестов,
А.Н. Бирюков, 2017

© Самарский государственный
технический университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы автоматизации в качестве устройств управления практически повсеместно используют цифровые управляющие устройства – программируемые контроллеры. Это могут быть как полнофункциональные контроллеры, в которых программа может быть полностью изменена (заменена) при программировании, так и отдельные аппаратные блоки с функцией регулирования (например, измерители-регуляторы) в которых программа уже записана на заводе-изготовителе, а изменению подлежат только коэффициенты (параметры настройки) регулятора. Так или иначе, инженерам АСУ требуются знания и навыки как по расчету и заданию параметров настройки для готовых программ ПИД-регулирования, так и написания и модификации таковых программ самостоятельно.

В данном лабораторном практикуме в качестве теоретической основы рассматриваются типовые структуры ПИД-регуляторов, включая цифровую реализацию; раскрывается влияние каждой из составляющих на работу регулятора и поведение объекта управления, приводятся некоторые методы расчета параметров настройки регулятора, затрагиваются особенности реальных регуляторов и согласования их с объектом управления.

Практическая часть позволяет получить навыки разработки программ ПИД-регулирования на языке Function Block Diagram (FBD), согласования управляющего сигнала регулятора с исполнительным устройством и объектом управления, разработки и расчета параметров моделей объектов с самовыравниванием и без такового, а также закрепления полученных в курсах изучения дисциплин «SCADA-системы» и «Технические и программные средства комплексной автоматизации» навыков разработки интерфейса оператора, выбора режима управления и применения языка Structured Text (ST).

Обучающимся поэтапно предлагается ознакомиться с основными теоретическими сведениями по рассматриваемому материалу, после чего выполнить практическую часть лабораторной работы с подробным описанием каждого шага и его значения. Для отработки и закрепления полученных навыков обучающимся требуется выполнить самостоятельное задание. Для контроля усвоения теоретических положений в конце каждой работы предусмотрены контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПИД-РЕГУЛЯТОР И ЕГО МОДИФИКАЦИИ

Цель работы: изучить принцип формирования управляющего выходного сигнала ПИД-регулятора, способы настройки ПИД-регулятора и основные факторы, влияющие на его работу.

Задача работы: разработать технологический экран управления процессом приготовления моющего раствора, экраны трендов по параметрам процесса и задания параметров регуляторов, а также программы ПИД-регулирования параметров процесса, совмещенные с эмуляторами этих параметров на языке FBD.

Программное обеспечение: инструментальная система Trace Mode 6.

1. Порядок выполнения работы:

2. Изучите теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы.

3. Выполните практические задания согласно методическим рекомендациям, описывающим содержание и порядок работы.

4. Составьте отчет по проделанной работе, включив в него результаты в соответствии с требованиями к содержанию отчета.

5. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

2. Теоретические сведения

Классический *пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД)* регулятор является комбинацией трех структурных звеньев (соответственно, пропорционального, интегрального и дифференциального) и описывается выражением (1):

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

где t – время, K_p – пропорциональный коэффициент или коэффициент передачи (безразмерный), T_i – постоянная времени интегрирования или время изодрома (размерность времени), T_d – постоянная времени дифференцирования или время предварения (размерность времени).

Передаточная функция такого ПИД-регулятора имеет вид (2):

$$W(s) = K_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s \quad (2)$$

Регулятор с подобной структурой называется **параллельным ПИД-регулятором**, т.к. все три структурных звена работают независимо друг от друга и имеют несвязанные параметры настройки K_p , T_i , T_d .

Если какая-либо часть отсутствует, то такой регулятор называется соответственно, **пропорциональным (П)** или **пропорционально-интегральным (ПИ)** (**пропорционально-дифференциальные (ПД)** регуляторы используются крайне редко).

Существует достаточно большое количество модификаций этих выражений. В частности, вместо коэффициента пропорциональной составляющей K_p в выражении может фигурировать полоса пропорциональности X_p (также часто обозначается D , измеряется в процентах), а вместо постоянной интегрирования T_i – коэффициент интегральной составляющей K_i , причем эти величины обратно пропорциональны (3), что особенно важно помнить и учитывать при расчете параметров регулятора. Кроме постоянной дифференцирования может быть коэффициент дифференциальной составляющей, но эти величины прямо пропорциональны (3):

$$X_p = \frac{1}{K_p} \cdot 100\% ; K_i = \frac{1}{T_i} ; K_d = T_d \quad (3)$$

Также чрезвычайно высокую популярность имеет форма регулятора, где изменение K_p влияет также и на остальные настроечные параметры, что соответствует последовательному соединению пропорционального звена с тремя параллельно соединенными звеньями – интегрального, дифференциального звена и усилительного звена со статическим коэффициентом передачи «1», и описывается передаточной функцией вида (4):

$$W(s) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i' s} + T_d' s \right) \quad (4)$$

Регулятор с такой структурой называется **идеальным ПИД-регулятором**. Существует также **последовательная форма ПИД-регулятора**, встречающаяся значительно реже и потому здесь не рассматриваемая.

Структуры регуляторов (2) и (4) эквиваленты и могут быть легко преобразованы. Чаще всего формулы расчета параметров регуляторов приводят для структуры (4), однако пересчет параметров в форму (2) может быть выполнен, используя соотношения (5):

$$T_i = \frac{T_i'}{K_p}; \quad K_i = \frac{K_p}{T_i'}; \quad T_d = K_d = K_p \cdot T_d' \quad (5)$$

Каждое структурное звено и соответствующая им комбинация, образующая регулятор, обеспечивает определенные функции и имеет свои особенности, достоинства и недостатки, обусловленные в т.ч. и взаимным их влиянием друг на друга.

Пропорциональный регулятор. Данный тип регулятора получается из (2) установкой $T_i = \infty$ (задается максимальное значение, которое может хранить данный параметр или тип данных) и $T_d = 0$.

Как видно из (1), данная составляющая обеспечивает выходной сигнал регулятора $u(t)$, пропорциональный величине отклонения $e(t)$ регулируемого параметра от заданного значения (уставки). Следует учитывать, что всегда для правильного вычисления рассогласования уставка (задание) и сигнал обратной связи должны быть представлены в одних и тех же единицах измерения, что достигается введением соответствующих переводных коэффициентов.

П-регуляторы являются наиболее быстродействующими (см. пункт «Время регулирования» далее) и простыми в настройке из всех ПИД-модификаций (настраивается только один параметр – коэффициент пропорциональности K_p либо полоса пропорциональности X_p), однако никогда не могут полностью устранить рассогласование регулируемой величины $e(t)$ – в установившемся режиме присутствует статическая ошибка, которая тем меньше, чем больше коэффициент пропорциональности K_p . Однако увеличение K_p приводит к уменьшению запаса по фазе замкнутой системы, ухудшается робастность системы; падает качество регулирования из-за возникающих колебаний (рис. 1), которые при дальнейшем увеличении K_p становятся незатухающими и процесс становится расходящимся. Проще говоря, задание больших значений K_p делает регулятор быстрее и «отзывчивее» (рис. 1), но может сделать систему вовсе неуправляемой.

Задание слишком больших значений K_p приводит к тому, что П-регулятор начинает работать как двухпозиционный. С другой стороны, практически обычно применимы П-регуляторы с $K_p > 10$.

Пропорциональный регулятор обычно обеспечивает хорошие показатели качества регулирования для объектов с $\tau/T < 0.2$ (см. теоретические сведения ЛРН₂ в [8]).

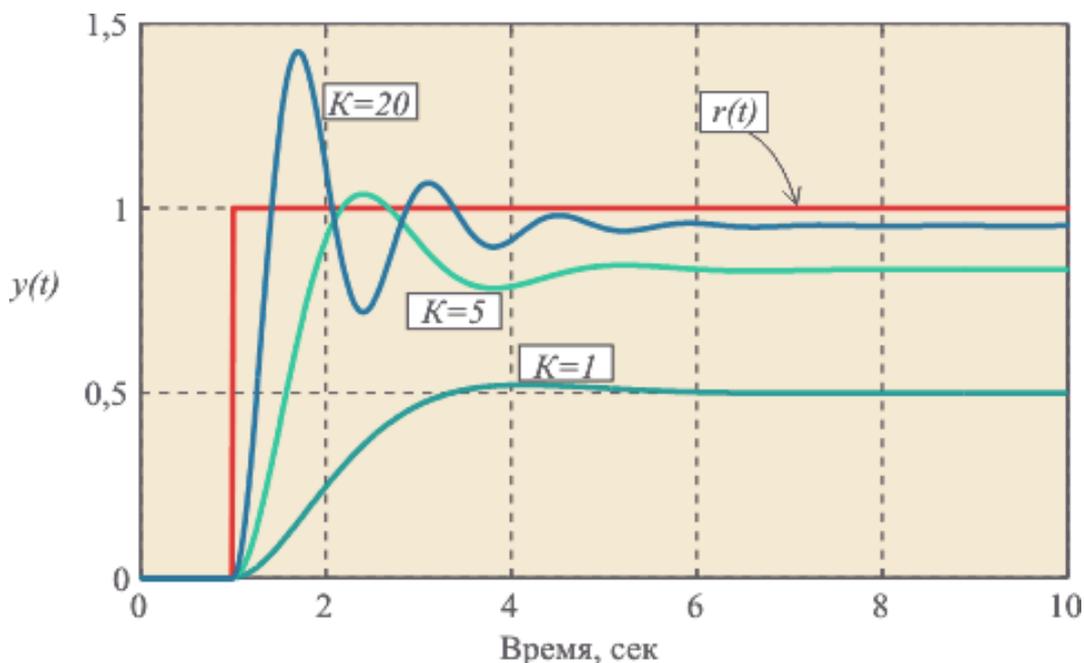


Рис. 1. Изменение параметра $y(t)$ во времени при подаче единичного скачка $r(t)$ на вход системы при разных K_p

Пропорционально-интегральный регулятор. Данный тип регулятора получается из (2) установкой $T_d=0$. Интегральная составляющая суммирует значения рассогласований $e(t)$ с соответствующим знаком, полученные за определенный период t , и формирует управляющий сигнал $u(t)$, пропорциональный результирующей, т.е. ПИ-регулятор вырабатывает управляющий сигнал пропорциональный рассогласованию $e(t)$ и интегралу от рассогласования $e(t)$. Интегрирование рассогласования позволяет регулятору «учесть» предыдущие значения технологического параметра, т.е. является своего рода «памятью» о поведении объекта управления.

Интегральный компонент вступает в действие сразу после пропорционального, обеспечивающего быстрое (со скоростью работы исполнительного механизма) приближение к заданной величине, а неустранимая П-составляющей статическая ошибка уже устраняется интегральной составляющей. Таким образом, наличие интегральной составляющей позволяет свести статическую ошибку к нулю с точки зрения принципа работы регулятора и отработать даже малейшие отклонения регулируемого параметра, однако реально некоторая величина ошибки неустранима. Главным образом вследствие наличия зон нечувствительности и люфта исполнительных устройств.

ПИ-регулятор обладает самым низким быстродействием (см. пункт «Время регулирования» далее) среди модификаций ПИД (кроме чистого И-регулятора,

т.к. часть рассогласования устраняется пропорциональной составляющей, и накопленная интегральная сумма становится меньше), поэтому применяется в управлении сравнительно инерционными процессами. Однако ввиду наличия интегральной составляющей, данный регулятор малочувствителен к высокочастотным измерительным шумам и возмущениям, что является выходом из ситуации при затруднениях применения ПИД-регуляторов в соответствующих условиях.

Как видно, настройке подлежат два параметра – коэффициент пропорциональности K_p , имеющий те же особенности, что и при настройке П-регулятора (рис. 2, рис. 3), и время издрорма T_i . Время издрорма T_i – это то время, за которое изменится управляющий сигнал под действием интегральной составляющей на такую же величину, на которую он предварительно изменился под воздействием пропорциональной составляющей, т.е. время за которое пропорциональная составляющая удваивается, поэтому часто T_i называют *временем удвоения*.

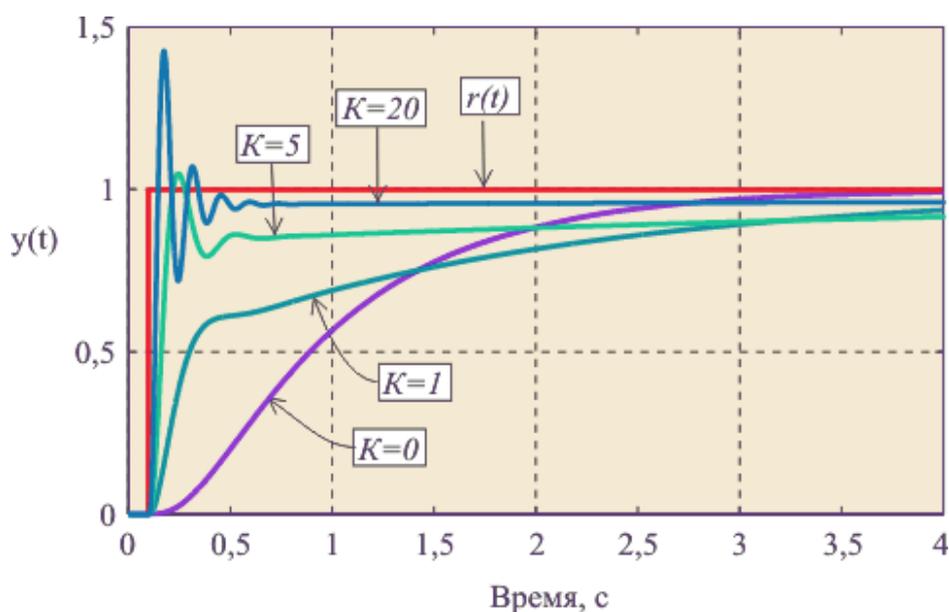


Рис. 2. Реакция замкнутой системы с ПИ-регулятором на скачок $r(t)$ при $T_i=1с$ при разных K_p

Сравнительное влияние изменения коэффициента пропорциональности K_p и времени издрорма T_i на переходный процесс показано на рисунках 2 и 3.

Напомним, что помимо времени издрорма T_i в уравнениях может фигурировать коэффициент интегральной составляющей K_i , обратно пропорциональный T_i (3).

С уменьшением времени интегрирования T_i (ростом K_i), как и в случае с увеличением K_p , растет скорость реакции регулятора, но увеличивается и коле-

бательность переходного процесса (рис. 2, рис. 3). При слишком малых значениях T_i система автоматического регулирования может перейти в неустойчивое состояние.

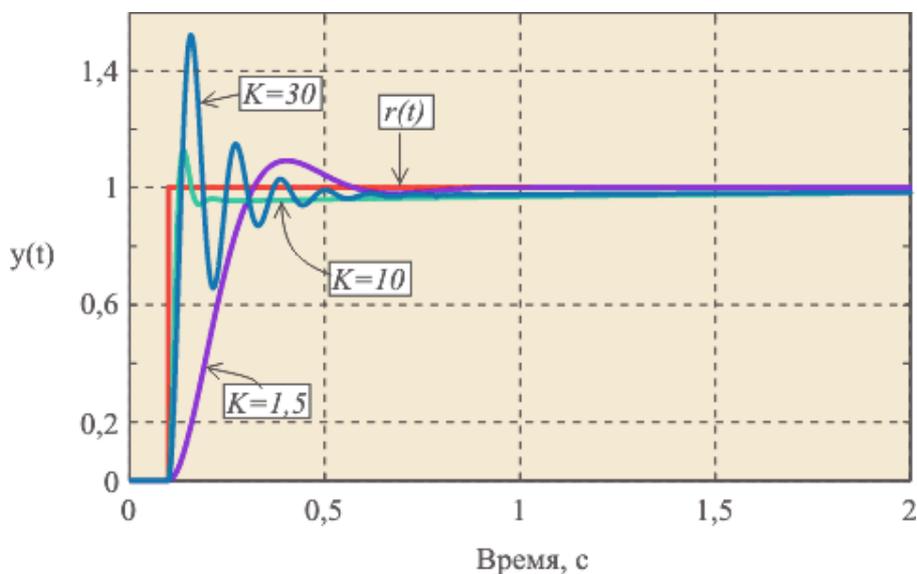


Рис. 3. Реакция замкнутой системы с ПИ-регулятором на скачок $r(t)$ при $T_i=0,1с$ при разных K_p

Особо отметим, что с точки зрения степени влияния регулятора на процесс, который можно оценить по показателю динамического коэффициента регулирования R_d , ПИ-регулятор не имеет существенного преимущества перед П-регулятором. Поэтому, если величина статической ошибки не превышает допустимого значения, то использование ПИ-регулятора нецелесообразно, т.к. он увеличивает время регулирования почти в два раза (см. пункт «Время регулирования» далее) по сравнению с П-регулятором.

ПИ-регулятор следует с осторожностью применять с астатическими объектами (не приходящими самостоятельно в некое установившееся состояние, т.е. не обладающие свойством самовыравнивания). Кроме того, ПИ-регуляторы, как правило, не применяют для управления исполнительными механизмами, уже содержащими в своем составе интегрирующее звено, например, регулирующими клапанами, дисковыми затворами, шаговыми двигателями и т.д.

Пропорционально-дифференциальный регулятор. Данный тип регулятора получается из (2) установкой $T_i=\infty$. Введение дифференциальной составляющей позволят воздействовать на исполнительное устройство, учитывая первую производную по отклонению регулируемого параметра от заданного значения, т.е. реагировать не только на имеющееся рассогласование, но и пытаться, анализируя скорость и направление (знак) изменения параметра, «предсказать» величину управляющего сигнала и предотвратить возникновение рас-

согласования в принципе. Именно поэтому настроечный параметр T_d называется также *временем предварения*.

Время дифференцирования (время предварения) T_d – это интервал времени между моментами достижения исполнительным механизмом одинакового положения при наличии дифференциальной составляющей и без нее. Чем больше время дифференцирования T_d , тем больше скачок в перемещении регулирующего органа исполнительного механизма. Второй настроечный параметр – K_p имеет тот же физический смысл и особенности, рассмотренные выше.

ПД-регулятор на практике используется крайне редко, т.к. по своим эксплуатационным свойствам работает хуже П-регулятора – страдает от статической ошибки и порождает ряд трудностей в настройке дифференциального компонента. Кроме того, введение дифференциальной составляющей хотя и может сделать регулятор более «отзывчивым», т.е. снизить величину отклонения при отработке небольших по амплитуде и частых возмущений, но в условиях шумов в измерительном канале и постоянной работе в условиях высокочастотных возмущений приводит к частым случайным колебаниям управляющего сигнала и наоборот увеличивает дисперсию ошибки регулирования.

При достаточно малой постоянной времени дифференцирования T_d дифференциальная составляющая, тем не менее, положительно влияет на контур регулирования, т.к. внося положительный фазовый сдвиг, повышает запас устойчивости системы, но при неправильной настройке – задании слишком больших значений T_d – может вывести систему на границу устойчивости и даже вызвать возникновение незатухающих колебаний.

Основная область применения ПД-регуляторов – управление интегрирующими исполнительными механизмами или объектами интегрирующего типа без самовыравнивания, т.е. содержащими интегрирующее звено, и с малым запаздыванием объекта управления – $\tau/T < 0.2$. Однако даже в этих случаях они без особых потерь и в угоду простоте настройки заменяются на П-регуляторы и даже позиционные регуляторы.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный-регулятор. ПИД-регулятор является наиболее сложной из рассматриваемой структур и, соответственно, наиболее подходит для управления сложными объектами, т.к. сложность (порядок) регулятора должен соответствовать сложности (порядку) объекта управления.

Параметрами настройки ПИД-регуляторов являются коэффициент пропорциональности регулятора K_p , постоянная времени интегрирования T_i и постоянная времени дифференцирования T_d .

Сам ПИД-регулятор является суммой достоинств и недостатков звеньев, входящих в его состав. При резком (скачкообразном) изменении регулируемой величины на короткий момент времени на объект регулирования оказывает большое воздействие дифференциальная составляющая ПИД-регулятора (т.к. скорость изменения параметра в этот момент огромна). Затем управляющий сигнал регулятора резко уменьшается до значения, определяемого величиной произведения пропорциональной составляющей на имеющееся рассогласование, после чего оставшаяся статическая ошибка устраняется уже за счет интегральной составляющей регулятора.

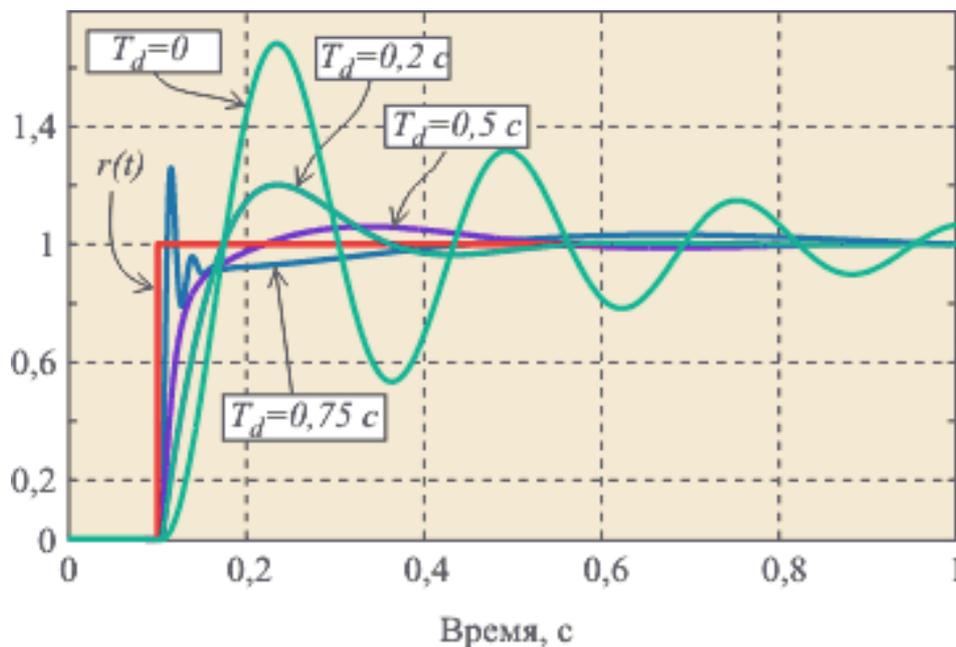


Рис. 4. Реакция замкнутой системы с ПИД-регулятором на скачок $r(t)$ при $T_i=0,015$ с, $K_p=6$ при разных T_d

По своему быстродействию, оцениваемому по отношению времени регулирования к постоянному времени объекта t_p/T , ПИД в среднем в 1,5...1,7 раза превосходит ПИ-регулятор благодаря наличию дифференциальной составляющей, но несколько уступает П-регулятору (см. «Время регулирования» далее) ввиду влияния интегральной составляющей, затягивающей переходный процесс.

Интегральная составляющая обеспечивает нулевую статическую ошибку. При слишком малых T_i может ввести систему в колебательный режим с высоким показателем колебательности M вплоть до потери устойчивости и требует осторожного применения ПИД-регулятора с интегрирующими объектами, не наделенными свойством самовыравнивания.

Дифференциальная составляющая увеличивает при правильно рассчитанных T_d запас устойчивости, уменьшая время регулирования t_p и обеспечивая минимальное значение динамического коэффициента регулирования R_o (т.е. оказывая наибольшее положительное влияние на переходный процесс – рисунок 4), но с ростом T_d может сделать систему излишне «дерганой» и неустойчивой. Кроме того, как уже отмечалось выше, Д-составляющая ПИД-регулятора может сделать невозможным его применение в «зашумленных» процессах регулирования и ее эффективность падает с ростом запаздывания в системе. При τ/T близких к единице, показатели качества процесса при применении ПИД сопоставимы с применением ПИ-регулятора. Например, при $\tau/T < 0.2$ ПИД позволяет уменьшить максимальное отклонение (от задания) в полтора раза, а при $\tau/T \approx 0.4 \dots 0.5$ уже только на 20...30%.

Отметим, что несмотря на общую тенденцию к ухудшению показателей качества регулирования при росте запаздывания, ПИД-регулятор, как наиболее сложный из рассмотренных здесь, остается наиболее эффективным при увеличении τ/T .

Цифровая реализация ПИД-регулятора. Поскольку современный ПИД-регулятор чаще всего представляет собой программу, исполняемую на ПЛК, компьютере или даже микроконтроллере, то большой интерес представляет дискретная форма ПИД-регулятора, работающая с сигналом в цифровой форме. Цифровой сигнал – это аналоговый сигнал, к которому применены операции дискретизации по времени и квантования по уровню. Шаг квантования определяется аппаратными средствами – разрядностью АЦП модуля аналогового ввода, а интервал дискретизации помимо аппаратной зависимости от частоты выборки (переключения) каналов АЦП в модуле определяется также частотой запуска программы во время рабочего цикла контроллера. В данном комплексе работ интервал дискретизации определяется временем пересчета узла (см. Настройка времени пересчета узла, ЛР№2 в [9]).

Теоретически, согласно теореме Котельникова, частота дискретизации должна быть в два раза больше максимальной частоты помехи в спектре. Тогда такой дискретный сигнал полностью эквивалентен исходному аналоговому и все свойства аналогового регулятора распространяются и на цифровой, в т.ч. возможно использование тех же формул расчета параметров и применение после дискретизации низкочастотного фильтра для удаления помех. В противном случае (при низкой частоте дискретизации) возможно появление алиасных частот, т.е. искажение полезного сигнала ввиду наложения на него помех, которые в этом случае невозможно отфильтровать. Увеличение частоты дискрети-

зации выше, чем в соответствии с теоремой Котельникова, не приводит к росту количества полезной информации, а лишь увеличивает вычислительные затраты на обработку сигнала.

На практике величина интервала дискретизации Δt выбирается исходя из условия $T_{95}/15 < \Delta t < T_{95}/6$, где T_{95} – время достижения переходной характеристикой 95% по амплитуде сигнала, или же как $\tau/6 < \Delta t < \tau/4$, где τ – величина транспортного запаздывания. Кроме того, в отсутствии точных данных об объекте при выборе Δt можно воспользоваться упрощенным правилом Зиглера-Никольса, согласно которому $\Delta t \approx 0,1 T_{кр}$, где $T_{кр}$ – период критических колебаний объекта управления.

Следует учитывать, что за время Δt должно успевать обрабатывать исполнительное устройство (например, это может быть время включения ТЭНа).

Уравнение цифрового ПИД-регулятора (6), соответствующее параллельной структуре ПИД-регулятора (1), может быть получено путем замены операторов дифференцирования и интегрирования конечными разностями и конечными суммами:

$$u_i = K_p \cdot e_i + \frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^k e_i \cdot \Delta t + T_d \frac{e_i - e_{i-1}}{\Delta t}, \quad (6)$$

где i – номер такта (но T_i – постоянная интегрирования).

Цифровому ПИД-регулятору в идеальной форме соответствует выражение (7):

$$u_i = K_p \cdot \left(e_i + \frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^k e_i \cdot \Delta t + T_d \frac{e_i - e_{i-1}}{\Delta t} \right) \quad (7)$$

Однако на практике чаще распространена **инкрементальная форма цифрового ПИД-регулятора**, позволяющая вместо абсолютных значений работать с приращениями управляющего сигнала Δu_i на каждом такте пересчета Δt .

Для цифрового ПИД-регулятора в идеальной форме выражение для инкрементального представления будет выглядеть как (8):

$$\Delta u_i = K_p \cdot \left(e_i - e_{i-1} + \frac{1}{T_i} e_i \cdot \Delta t + T_d \frac{(e_i - e_{i-1}) - (e_{i-1} - e_{i-2})}{\Delta t} \right) \quad (8)$$

Значение управляющего сигнала на i -том такте вычисляется как сумма его значения на предыдущем шаге и значения величины приращения (инкремента), т.е. $u_i = u_{i-1} + \Delta u_i$.

В инкрементальной форме ПИД-регулятора отсутствует интеграл по ошибке, т.е. в результате дифференцирования приращение управляющего сигнала Δu_i зависит от рассогласования e_i и его первой и второй производной. Та-

ким образом, инкрементальный цифровой ПИД – это пропорционально-дифференциально-дифференциальный регулятор (ПДД).

Подобные регуляторы можно применять в случае управления исполнительным устройством или объектом интегрирующего типа (например, регулирующим клапаном, где интегрируется (накапливается) в результате выдачи управляющего сигнала определенной величины в течении некоторого времени позиция штока).

Типовые процессы регулирования. В разных технологических процессах может потребоваться настройка регулятора на разные желаемые показатели качества переходного процесса (время переходного процесса, величина перерегулирования и т.д.). В автоматизации выделяют три типовых процесса регулирования: граничный апериодический процесс с минимальным временем регулирования (рис. 5), процесс с 20%-перерегулированием и минимальным временем первого полупериода колебаний (рис. 6), процесс с минимальной квадратичной

площадью отклонения $J = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min$ (минимум интегрального критерия качества) (рис. 7).

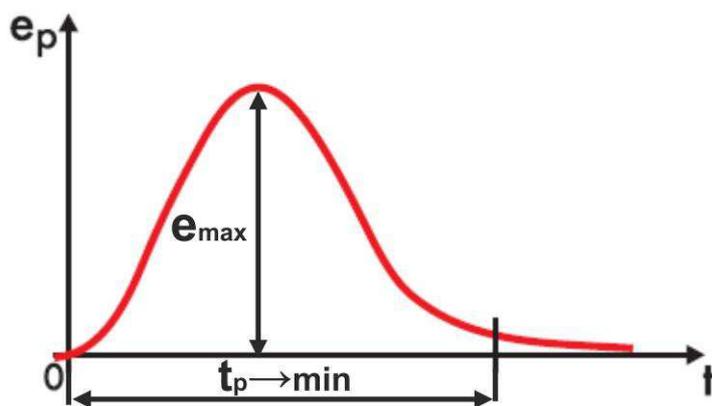


Рис. 5. Граничный апериодический процесс с минимальным временем регулирования

Граничный апериодический процесс характеризуется наиболее «мягким» (минимальным) регулирующим воздействием на процесс. Данный типовой процесс не допускает перерегулирования, виду чего характеризуется минимальным временем переходного процесса t_p , однако допускает наибольшую величину максимального динамического отклонения e_{max} . Применяется в процессах, не

допускающих двустороннего (как в положительную, так и отрицательную сторону) отклонения регулируемого параметра от задания и не терпящих наличия продолжительного периода времени, в течение которого имеется рассогласование (более допустимой величины), но позволяющих значительное по амплитуде отклонение регулируемого параметра от уставки в ходе переходного процесса сразу после воздействия возмущения без его (параметра) последующего перехода через уставку и отклонения уже в другом направлении.

Процесс с 20%-перерегулированием характеризуется уже большим регулирующим воздействием. Настройка на данный типовой процесс применяется для объектов, допускающих перерегулирование (до 20%) и отклонение регулируемого параметра от задания как в положительную, так и отрицательную сторону. Наличие перерегулирования и более высокая колебательность увеличивают время переходного процесса t_p , но зато позволяют уменьшить величину максимального динамического отклонения e_{max} и, кроме того, позволяет обеспечить минимальное время первого полупериода колебаний t_1 , что особенно актуально, если именно эта часть переходного процесса представляет наибольший интерес. Таким образом, если не допустить значительное отклонение важнее, чем быстрее вернуться к заданному значению (уставке), оптимальнее настройка на процесс с 20%-перерегулированием. По статистике, большинство систем автоматического регулирования настроены именно на данный типовой процесс, т.к. он является своего рода промежуточным между апериодическим и процессом с минимальной квадратичной площадью отклонения.

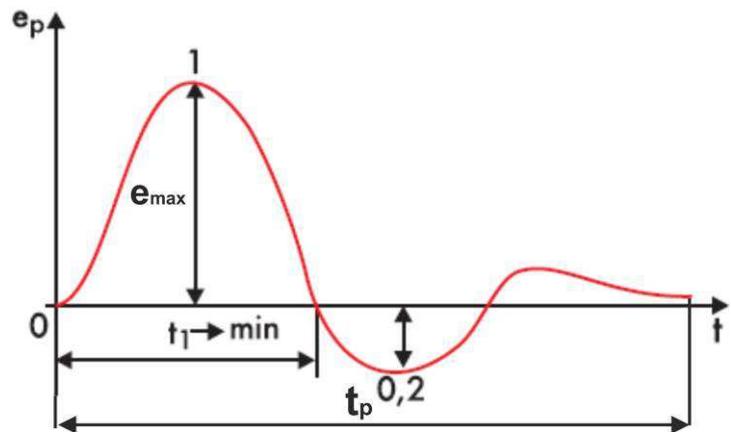


Рис. 6. Процесс с 20% перерегулированием и минимальным временем первого полупериода колебаний

И, наконец, если решающую роль играет минимизация величины максимального динамического отклонения e_{max} , то следует настраиваться на процесс с **минимальной квадратичной площадью отклонения**. Этот типовой процесс обеспечивает наибольшее регулирующее воздействие, а «расплатой» за уменьшение динамического отклонения является значительно большее перерегулирование с амплитудой порядка 40...45%, возросшая колебательность и максимальное (из рассмотренных типовых процессов) время установления регулируемой величины (время переходного процесса) t_p . Применяется для объек-

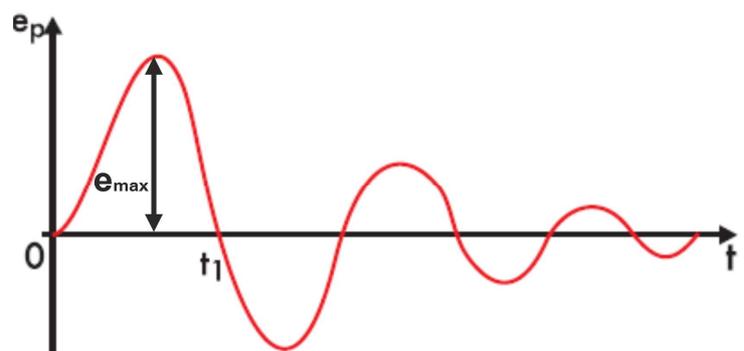


Рис. 7. Процесс с минимальной квадратичной площадью отклонения

тов, допускающих множественные колебания регулируемого параметра, и длительное время отклонения регулируемой величины от уставки, но требующих минимизации амплитуды самого отклонения.

Время регулирования. Время регулирования (время переходного процесса) t_p наряду с максимальным динамическим отклонением e_{max} , перерегулированием σ , показателем колебательности M и др., является важнейшим показателем качества переходного процесса. Время переходного процесса зависит от динамических свойств объекта, выбранного закона регулирования и настроек регулятора. При любом из рассмотренных законов продолжительность переходного процесса может быть различной в зависимости от настроек регулятора, но она не может быть менее определенного значения, минимального для регулятора данного типа. Характеристикой степени воздействия регулятора на объект служит отношение времени переходного процесса t_p к времени запаздывания объекта τ .

Относительное время переходного процесса t_p/τ в зависимости от выбранного закона регулирования и типового процесса представлено в таблице 1.

Минимальное время переходного процесса достигается, как уже отмечалось, при настройке на граничный апериодический процесс.

Таблица 1

Относительное время переходного процесса t_p/τ

Регулятор	Типовые процессы регулирования		
	апериодический	20%-ное перерегулирование	$J = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min$
П	4,5	6,5	9
ПИ	8	12	16
ПИД	5,5	7	10

Величина t_p/τ для разных типов регуляторов (П, ПИ, ПИД) – величина постоянная для разных τ/T и определяется только выбором настройки на тот или иной типовой процесс.

Настройка ПИД-регулятора по аналитическим формулам. Для расчета параметров регулятора необходимо знать к какому типу относится данный объект (с самовыравниванием или без) и параметры объекта управления – коэффициент передачи K , постоянную времени T и время запаздывания τ (см. ЛР№2 в [8]). Зная эти параметры, можно вычислить коэффициенты настройки П, ПИ или ПИД-регулятора для любого из трех типовых процессов. Формулы расчета для структуры регулятора с зависимыми настройками (4) для объекта с самовыравниванием приведены в таблице 2.

Формулы расчета параметров регулятора для объекта без самовыравнивания, описываемого передаточной функцией реального интегрирующего звена (9), приведены в таблице 3.

$$W(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)} \cdot e^{-\tau s} \quad (9)$$

Для расчета параметров регуляторов для астатических объектов требуется знать отношение запаздывания объекта к его постоянной времени τ/T .

Таблица 2

Формулы расчета параметров регулятора статического объекта

Регулятор	Типовые процессы регулирования		
	апериодический	20%-ное перерегулирование	$J = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min$
П	$K_p = \frac{0,3}{K \cdot \tau / T}$	$K_p = \frac{0,7}{K \cdot \tau / T}$	$K_p = \frac{0,9}{K \cdot \tau / T}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6}{K \cdot \tau / T}$ $T_i = 0,8\tau + 0,5T$	$K_p = \frac{0,7}{K \cdot \tau / T}$ $T_i = \tau + 0,3T$	$K_p = \frac{1}{K \cdot \tau / T}$ $T_i = \tau + 0,35T$
ПИД	$K_p = \frac{0,95}{K \cdot \tau / T}$ $T_i = 2,4\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,2}{K \cdot \tau / T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,4}{K \cdot \tau / T}$ $T_i = 1,3\tau$ $T_d = 0,5\tau$

Таблица 3

Формулы расчета параметров регулятора астатического объекта

Регулятор	Типовые процессы регулирования		
	апериодический	20%-ное перерегулирование	$J = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min$
П	$K_p = \frac{0,4}{\tau / T}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau / T}$	–
ПИ	$K_p = \frac{0,4}{\tau / T}$ $T_i = 6T$	$K_p = \frac{0,7}{\tau / T}$ $T_i = 3T$	$K_p = \frac{1}{\tau / T}$ $T_i = 4T$
ПИД	$K_p = \frac{0,6}{\tau / T}$ $T_i = 5\tau$ $T_d = 0,2\tau$	$K_p = \frac{1,1}{\tau / T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,4}{\tau / T}$ $T_i = 1,6\tau$ $T_d = 0,5\tau$

Большой популярностью пользуется в силу своей простоты метод настройки ПИД-регулятора по *Зиглеру-Никольсу*. Для настройки требуется

знать два параметра: a и L ($L=\tau$), которые определяют по отклику объекта на единичный скачок, как показано на рисунке 8.

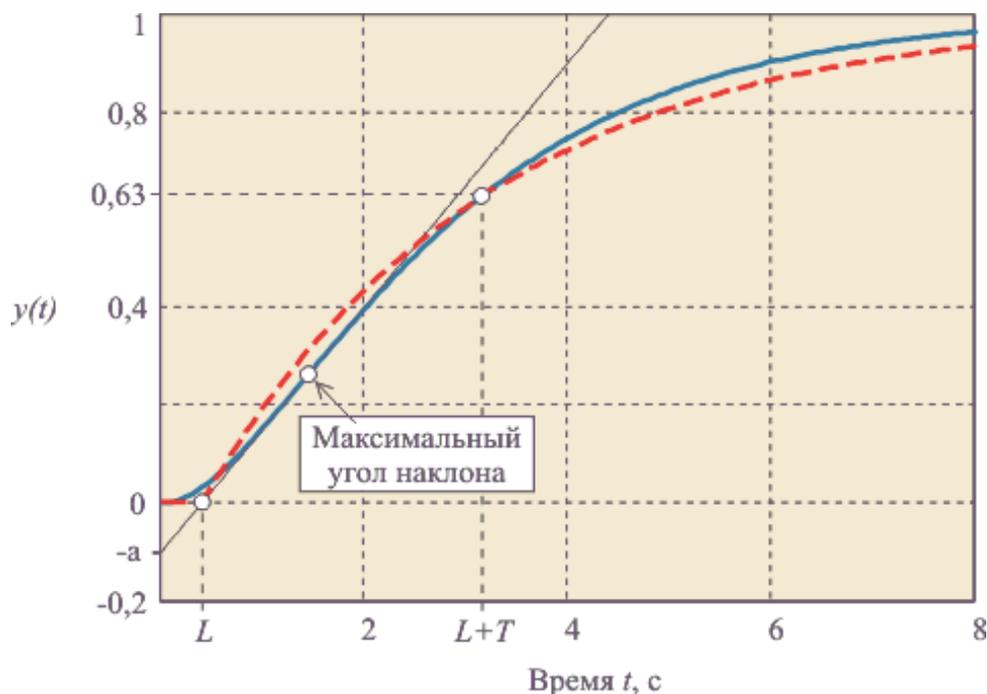


Рис. 8. Определение параметров a и τ по переходной характеристике объекта

Тем не менее, рассчитанный таким образом регулятор обеспечивает малый запас устойчивости – процесс имеет значительную колебательность и медленное затухание колебаний, т.к. параметры регулятора в этом методе определялись исходя из настройки на процесс с минимальной квадратичной площадью отклонения с декрементом затухания колебаний, равному 4.

Формулы расчета параметров ПИД-регулятора в параллельной форме, описываемого выражением (1), для объекта с самовыравниванием по методу Зиглера-Никольса приведены в таблице 4.

Используя параметры a и L также можно рассчитать параметры ПИД-регулятора по **методу Chien, Hrones u Reswick (CHR)**. Рассчитанный по данной методике регулятор обеспечивает большой запас устойчивости, т.к. настройка производится на граничный апериодический типовой процесс и процесс с 20% перерегулированием. Кроме того, метод CHR дает две разные системы параметров регулятора – одна из них получена при наблюдении отклика на изменение уставки (табл. 5), вторая – при наблюдении отклика на внешние возмущения (табл. 6).

Таблица 4

Формулы расчета параметров регулятора по методу Зиглера-Никольса

Регулятор	K_p	T_i	T_d
П	$1/a$	-	-
ПИ	$0,9/a$	$3L/K_p$	-
ПИД	$1,2/a$	$0,9L/K_p$	$0,5L/K_p$

Таблица 5

Формулы расчета параметров регулятора по методу CHR по отклику на изменение уставки

Регулятор	апериодический процесс			20% перерегулирование		
	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
П	$0,3/a$	-	-	$0,7/a$	-	-
ПИ	$0,35/a$	$1,2L/K_p$	-	$0,6/a$	L/K_p	-
ПИД	$0,6/a$	L/K_p	$0,5L/K_p$	$0,95/a$	$1,4L/K_p$	$0,47L/K_p$

Нужно отметить, что рассчитанный по методу CHR коэффициент пропорциональной составляющей K получается меньше, чем по Зиглеру-Никольсу.

Таблица 6

Формулы расчета параметров регулятора по методу CHR по отклику на внешние возмущения

Регулятор	апериодический процесс			20% перерегулирование		
	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
П	$0,3/a$	-	-	$0,7/a$	-	-
ПИ	$0,6/a$	$4L/K_p$	-	$0,7/a$	$2,3L/K_p$	-
ПИД	$0,95/a$	$2,4L/K_p$	$0,42L/K_p$	$1,2/a$	$2L/K_p$	$0,42L/K_p$

Экспериментальные методы настройки регулятора. Как правило, результаты расчетов, полученные с использованием любого из методов, можно улучшить, произведя непосредственную подстройку регулятора на объекте. Эта необходимость возникает ввиду использования методами настройки упрощенных моделей объекта, не в полной мере соответствующих действительности, и идентификации параметров объектов, служащих исходными данными для расчета, с определенными погрешностями.

При выполнении такой подстройки нужно руководствоваться следующими правилами:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;
- с уменьшением интегральной составляющей рассогласование с течением времени уменьшается быстрее;

– уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;

– увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

Указанные правила позволяют произвести и настройку регулятора непосредственно на объекте управления без определения структуры и параметров его математического описания. Конечно, при условии, что объект, допускает проведение активного эксперимента, предполагающего непосредственное влияние на процесс.

Для объектов, допускающих выведение на границу устойчивости, можно использовать **метод незатухающих колебаний**. Согласно этому методу у регулятора отключается интегральная ($T_i = \infty$) и дифференциальная ($T_d = 0$) составляющие, т.е. он превращается в П-регулятор. Затем одновременно со скачкообразным увеличением задания (уставки) увеличивается пропорциональный коэффициент K_p до возникновения незатухающих колебаний. Значение K_p фиксируется как критический коэффициент усиления регулятора $K_{кр}$. Также фиксируется значение периода возникших при этом критических колебаний $T_{кр}$. По найденным $K_{кр}$ и $T_{кр}$ рассчитываются параметры настройки регулятора по таблице 7.

Таблица 7

Формулы расчета параметров регулятора по методу незатухающих колебаний

Регулятор	K_p	T_i	T_d
П	$0,55K_{кр}$	-	-
ПИ	$0,45K_{кр}$	$T_{кр}/1,2$	-
ПИД	$0,6K_{кр}$	$T_{кр}/2$	$T_{кр}/8$

Для объектов, не допускающих возникновения незатухающих колебаний, возможно использование **метода затухающих колебаний**. В данном методе ПИД регулятор точно также, как и в методе незатухающих колебаний, используется первоначально как П-регулятор. Путем увеличения коэффициента пропорциональности K_p с одновременной подачей прямоугольного импульса добиваются возникновения колебаний с декрементом затухания $D=4$. Затем фиксируется период возникших при этом колебаний T_k и рассчитываются постоянная времени интегрирования T_i и дифференцирования T_d : $T_i = T_k/6$; $T_d = T_k/1,5$. После выставления времени интегрирования T_i и дифференцирования T_d декремент затухания обычно изменяется, поэтому следует подстроить K_p (обычно уменьшить на 20...30%), чтобы снова обеспечить его значение $D=4$.

Для упрощенной настройки цифрового регулятора в инкрементальной форме (8) Зиглер и Никольс рекомендуют придерживаться отношений $\Delta t/T_i=0,2$; $T_d/\Delta t=1,25$, где $\Delta t=0,1T_{кр}$, а K_p после подстраивать экспериментально для обеспечения декремента затухания $D=4$.

Особенности реальных регуляторов. При написании программ управления следует учитывать некоторые особенности реальных регуляторов.

Погрешность дифференцирования и шум. Дифференциальная составляющая усиливает высокочастотные помехи, короткие выбросы и шум, поэтому для их подавления последовательно с дифференциальной составляющей (как правило, на входе самого ПИД-регулятора) включают блоки, выполняющие фильтрацию пиков, экспоненциальное сглаживание, ограничение скорости изменения сигнала и т.д.

Интегральное насыщение. Данный эффект наблюдается в случае, когда выходной сигнал регулятора (а, соответственно, и исполнительное устройство) уже достиг граничного значения и более не способен уменьшить возникшее рассогласование (ограничение типа «насыщение»), которое при этом продолжает увеличиваться. Такое возможно как по максимальному значению (максимальное открытие клапана, максимальная мощность нагревательного элемента), так и минимальному (например, невозможность подать «отрицательную мощность» для нагревательного элемента) в случае, если, например, оператор задал значение уставки, выходящее за физически достижимые пределы. В этом случае накопленное интегральной составляющей рассогласование продолжает увеличиваться (интегрироваться) и, когда уставку снова возвращают в достижимый диапазон, регулятор вынужден сначала устранить уже накопленную ошибку, что негативно сказывается на качестве регулирования.

Для предотвращения этого эффекта используются различные алгоритмы, простейшим из которых является программный запрет интегрирования (отключение интегральной составляющей) в случае обнаружения роста рассогласования при одновременном достижении выходным сигналом регулятора граничного значения.

Безударное переключение. Алгоритм динамической балансировки. При изменении параметров настройки регулятора, резком изменении уставки или переходе с ручного управления на автоматическое и наоборот управляющий сигнал изменяется скачком, что вызывает выбросы регулируемого параметра. Для устранения этого эффекта выходной сигнал регулятора подвергается дополнительной обработке, ограничивающей скорость его изменения, т.е. допускающей

его изменение на каждом цикле выполнения программы не более, чем на определенную величину.

Выходные сигналы регулятора. Выходной сигнал ПИД-регулятора обычно может быть в виде:

- непрерывного сигнала, соответствующего управлению аналоговым сигналом, где величина управляющего воздействия регулятора (обычно в процентах) задает амплитуду управляющего сигнала соответствующего унифицированного диапазона (например, 0% – 4 мА, 100% – 20 мА);

- широтно-импульсно модулированного (ШИМ) сигнала (соответствует дискретному сигналу) для управления исполнительными устройствами без реверсивного режима, где величина управляющего воздействия регулятора (обычно в процентах) задает длительность (скважность) импульсов прямоугольной формы постоянной амплитуды и постоянного периода следования (0% – импульс в пределах периода не подается, 100% – длительность импульса равна длительности периода);

- пары широтно-модулированных импульсных сигналов (см. предыдущий пункт) типа «больше»-«меньше» для управления реверсивными устройствами, когда положительная величина управляющего сигнала (0...100%) формируется на выходе «больше» и увеличивает значение регулируемой величины, а отрицательная (-100...0%) – на выходе «меньше» и уменьшает значение регулируемой величины.

Для преобразования непрерывного сигнала регулятора в ШИМ необходимо пропустить его через широтно-импульсный модулятор, а для получения пары импульсных сигналов – через импульсный регулятор, имеющий реверсивный режим. Если реверсивный режим не используется, то можно задействовать только один выход («больше» или «меньше» в зависимости от направления действия регулятора) импульсного регулятора.

Скважность импульсов дискретного сигнала имеет то же значение, что и амплитуда непрерывного сигнала, задавая «условную мощность» исполнительного устройства – количество энергии, время работы, скорость перемещения, позицию и зависящие от них величины в зависимости от выбранного канала регулирования и числа контуров управления.

Существуют решения, в которых используется каскадное соединение регуляторов, когда расчет опорного значения регулируемой во внутреннем контуре величины осуществляется ПИД-регулятором, а непосредственное управление исполнительным устройством осуществляется уже трехпозиционным регулятором. Например, ПИД-регулятор осуществляет регулирование температуры че-

го-либо во внешнем контуре, а положение плунжера клапана, определяющего расход теплоносителя, регулируется во внутреннем контуре трехпозиционным регулятором.

Выходной сигнал регулятора должен быть согласован с исполнительным устройством. Аналоговый (непрерывный) сигнал применяется для управления различными блоками преобразователей – электропневматическим позиционером, обеспечивающим требуемое положение штока; контроллером преобразователя частоты, управляющим скоростью вращения ротора электродвигателя переменного тока.

Дискретный сигнал с ШИМ-преобразователя используется для управления, например, термоэлектрическим нагревателем, нереверсивным электродвигателем через контактные реле (пускатели) и твердотельные реле.

Дискретный сигнал с импульсных выходов чаще всего применяют для управления через контактные реле (пускатели) и твердотельные реле реверсивным электродвигателем; электроприводом или пневмоприводом (запорно-) регулирующего клапана, парой исполнительных устройств противоположного направления действия и др.

Согласование регулятора с объектом. Направление действия регулятора всегда должно быть противоположно направлению действия объекта управления для обеспечения отрицательной обратной связи.

Предположим, объектом является теплообменник, в котором регулирование температуры нагреваемой среды осуществляется изменением расхода промежуточного теплоносителя регулирующим клапаном с электроприводом – исполнительным устройством. Регулятор температуры управляет положением регулирующего органа клапана, т.е. с точки зрения технологических переменных – расходом теплоносителя. Направление действия регулятора совпадает с направлением действия исполнительного устройства – максимальное положение регулирующего органа обеспечивается при максимальном значении сигнала управления регулятора. В отсутствии расхода теплоносителя (клапан пропускает минимальное количество) температура также минимальна. При увеличении расхода теплоносителя (увеличении сигнала управления) увеличивается температура среды. В этом случае можно говорить об объекте управления прямого направления действия, т.к. направление изменения выходной координаты объекта (температуры) совпадает с направлением изменения входной (расхода теплоносителя, определяемого положением рабочего органа).

При увеличении температуры выше заданной, регулятор должен уменьшить расход теплоносителя, т.е. соответственно уменьшить величину сигнала

управления и позицию рабочего органа. Напротив, при уменьшении температуры ниже заданной, регулятору требуется увеличить величину сигнала управления и позицию рабочего органа. Иными словами, можно говорить о регуляторе с обратной характеристикой, поскольку направление изменения выходного сигнала регулятора (сигнала управления) не совпадает с направлением изменения регулируемого параметра.

Для определения направления действия регулятора с непрерывным выходным сигналом можно воспользоваться таблицей 8, а импульсным – таблицей 9.

Таблица 8

Выбор направления действия регулятора с непрерывным сигналом

Направления действия объекта управления (ОУ) и исполнительного механизма (ИМ)			Регулятор
ОУ	ИМ	ОУ и ИМ	
Прямое	Прямое (НЗ)	Прямое	Обратный
Прямое	Обратное (НО)	Обратное	Прямой
Обратное	Прямое (НЗ)	Обратное	Прямой
Обратное	Обратное (НО)	Прямое	Обратный

Таблица 9

Выбор направления действия регулятора с импульсным сигналом

Направления действия объекта управления (ОУ) и исполнительного механизма (ИМ)			Регулятор
ОУ	ИМ	ОУ и ИМ	
Прямое	Прямое	Прямое	Обратный
Обратное	Прямое	Обратное	Прямой
Обратное	Прямое	Обратное	Прямой

Таким образом, для объектов прямого направления действия необходимо применять регуляторы с обратной характеристикой, а для объектов обратного действия – регуляторы с прямой характеристикой. Данное утверждение верно при условии, что измерительный преобразователь и исполнительное устройство имеют также прямое направления действия.

3. Содержание и выполнение работы

Разработаем проект системы управления процессом приготовления моющего раствора. На основном экране оператора должно быть представлено отображение следующих технологических элементов: кожухотрубного теплообменника, в котором осуществляется нагрев растворителя промежуточным теплоносителем; емкости с термоэлектрическим нагревателем, в которой нагре-

вается реагент; транспортных насосов растворителя и реагента, а также двухкомпонентного гидродинамического насоса-смесителя, служащего для перемешивания между собой двух компонентов и дальнейшей выдачи с установки. В рассматриваемой части процесса требуется регулировать температуру растворителя на выходе трубного пространства теплообменника путем воздействия на электропривод клапана регулирования расхода теплоносителя в межтрубное пространство (через регулирование положения штока клапана), температуру реагента за счет управления пускателем ТЭНа импульсами переменной ширины и частоту вращения крыльчатки насоса-смесителя путем выдачи опорного сигнала задания преобразователю частоты, в свою очередь управляющему электродвигателем насоса. Все три параметра регулируются по ПИД-закону.

На экране следует предусмотреть: индикацию температуры растворителя, температуры реагента, частоты вращения крыльчатки насоса, текущего положения штока клапана, направления перемещения штока клапана, состояния ТЭНа; задание и индикацию уставки по температуре растворителя, температуре реагента, заданной частоты вращения крыльчатки, заданной позиции штока в ручном режиме позиционирования; двухпозиционную кнопку переключения режима управления позиционированием штока (ручное/автоматическое) с отображением текущего режима; кнопки вызова экрана настройки параметров регулятора температуры растворителя, температуры реагента, а также частоты вращения крыльчатки; кнопки вызова экрана тренда по температуре растворителя, температуре реагента, а также частоте вращения крыльчатки.

На каждом экране настройки должны быть цифровые индикаторы-поля ввода значений пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих. Экран настройки регулятора температуры растворителя также должен содержать цифровой индикатор-поле ввода значения времени полного хода штока клапана.

Технологические параметры процесса имеют следующие диапазоны изменения и значения по умолчанию: температура реагента 15...90°C (номинально 50...70°C, максимально 100°C при начальной температуре 10°C), время разогрева около 10 минут; температура растворителя 20...80°C (номинально 40...60°C, максимально 80°C при начальной температуре 20°C), время разогрева около 10 минут; частота вращения крыльчатки насоса (0...1500 об/мин, номинально 1200...1500 об/мин); время полного хода штока – 100 секунд; зона нечувствительности электропривода клапана при заданном времени перемещения – 1%.

Создание проекта, узла, шаблона экрана. Откройте инструментальную систему Trace Mode 6 и создайте новый проект, нажав кнопку «Создать новый проект»  на панели инструментов «Главная». Сохраните проект, нажав кнопку «Сохранить текущий проект»  на панели инструментов «Главная». Выберите местоположение проекта и задайте его имя (см. Создание и сохранение проекта [8]).

Создайте узел проекта типа RTM, нажав ПКМ на слое «Система» в навигаторе проекта и в контекстном меню выбрав «Создать узел → RTM». (см. Создание узла проекта [8]). Создайте шаблон экрана, аналогично нажав ПКМ на созданном узле RTM_1 и выбрав в контекстном меню «Создать компонент → Экран» (см. Создание шаблона экрана оператора [8]).

Нажмите ЛКМ на слое «Шаблоны экранов» в навигаторе проекта и затем нажмите ПКМ в его правой части на шаблоне «Экран#1» и в контекстном меню выберите пункт «Переименовать». Введите название «Мнемосхема» и нажмите *Enter*. Вернитесь обратно в слой «Система» в узел RTM_1.

Добавление графических элементов из библиотеки. Переключитесь в слой «Ресурсы» в навигаторе проекта, нажмите ПКМ на нем и выберите в контекстном меню «Создать группу → Графические_элементы» (см. Добавление ресурса «Графические элементы» [8]).

Последовательно разверните пункты слоя «Библиотека компонентов → Пользовательская → Library_1 → Object_1 → Resources → Cooling&Heating». Выберите шаблон графического объекта (ГО) «Cooling&heating_2» и перетащите его, зажав ЛКМ, в созданную группу «Графические_элементы». Теперь данный объект добавлен в ваш проект. Аналогично добавьте в проект ГО «Industrial_2» из группы «Industrial», ГО «Pump_1» и «Pump_2» из группы «Pumps» и ГО «Motor_2» из группы «Motors». Элементы получают имена «Графический_объект_N», где N – номер объекта.

Нажмите ЛКМ на ГО «Графический_объект_1» и, не отпуская ее, перетащите ГО на открытый на редактирование в РПД шаблон экрана.

Разместите элементы в указанных на рисунке 9 позициях, нажав ЛКМ на соответствующем ГО и, не отпуская ее, перетащив ГО на открытый на редактирование в РПД шаблон экрана: «Cooling&heating_2» – элемент 1 (кожухотрубный теплообменник нагрева растворителя), «Industrial_2» – элемент 2 (емкость хранения реагента с нагревателем), «Pump_1» – элемент 3 (насос растворителя), «Pump_2» – элемент 4 (насос реагента), «Motor_2» – элемент 6 (насос-смеситель).

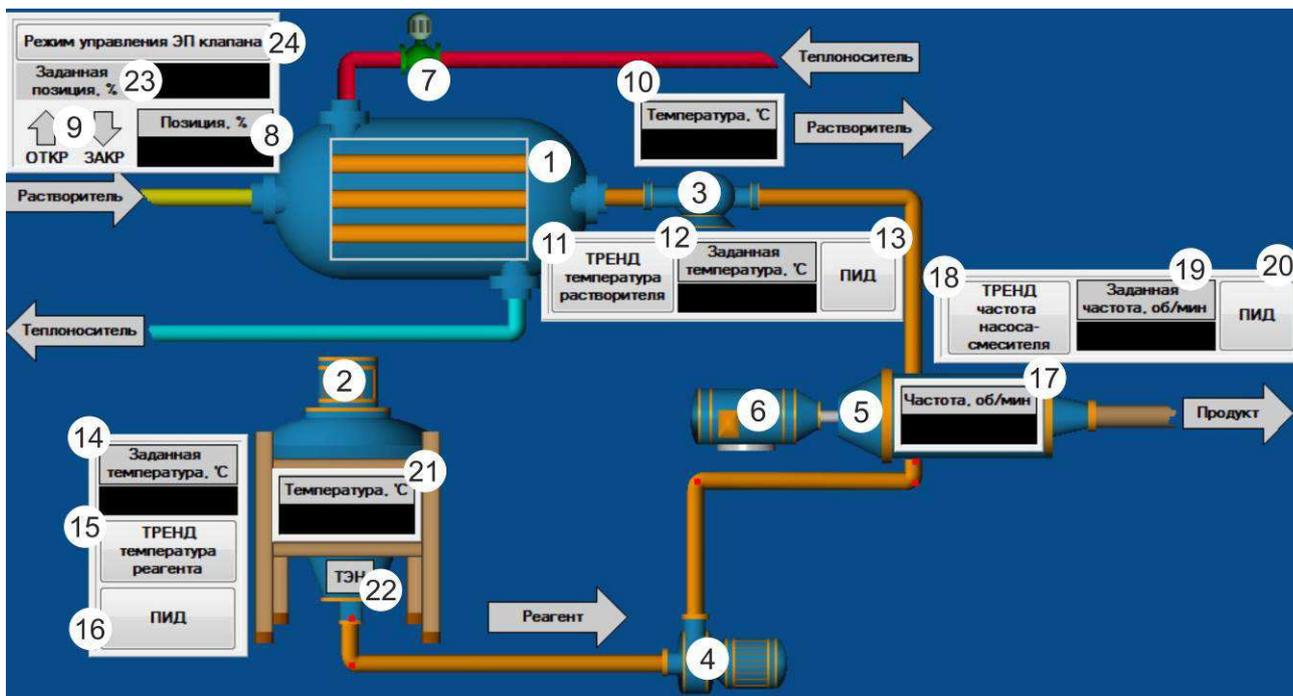


Рис. 9. Экран управления процессом «Мнемосхема»

Графические объекты могут быть отредактированы через их представительные группе «Графические_элементы» и в дальнейшем эти изменения отразятся на экране.

Создание насоса-смесителя. ГЭ «Емкость». Насос-смеситель схематично отобразим с помощью ГЭ «Емкость». Раскройте группу «Объемные фигуры»  и выберите из раскрывающегося списка ГЭ «Емкость» . Разместите в позиции элемента 5 (рис. 9) (см. Создание ГЭ «Емкость» [8]).

В свойствах ГЭ «Емкость» измените цвет в пункте «Базовый цвет» свойства «Материал» на голубой. Отредактируйте свойства «Верхний край» и «Нижний край», выбрав из списка соответствующую форму краев.

Оранжевые кольца на насосе можно отобразить с помощью ГЭ «Цилиндр»  из группы «Объемные фигуры». Разместите три ГЭ «Цилиндр» и измените цвет в пункте «Базовый цвет» свойства «Материал» на оранжевый. В свойстве «Ориентация» выберите из списка пункт «Горизонтально».

Создание труб. ГЭ «Труба». Из группы «Объемные фигуры» аналогично ГЭ «Емкость» выберите ГЭ «Труба» . Соедините графические объекты (элементы 1...6) между собой трубами, размещая нажатиями ЛКМ узлы труб и завершая их создание ПКМ (см. Создание ГЭ «Труба», [8]). В свойстве «Толщина» ГЭ «Труба» введите значение «15», а в свойстве «Базовый цвет» выберите их списка соответствующий цвет. Отредактируйте свойства «Край 1» или «Край 2» для труб, выходящих за пределы мнемосхемы.

Указатели направления потока. ГЭ «Стрелка». ГЭ «Текст». Выберите из группы «Плоские фигуры»  ГЭ «Стрелка» . (См. Создание плоских фигур. ГЭ «Стрелка», [8]). Изобразите указатели потока как показано на рисунке 9.

Поверх указателей разместите статический текст (см. Создание статических надписей. ГЭ «Текст», ЛРН№1 в [8]). Для этого выберите на панели ГЭ инструмент «Текст» . В свойствах ГЭ «Текст» в поле свойства «Текст» на вкладке «Общие свойства»  введите соответствующие надписи.

Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль. Измените цвет текста – выберите черный, нажав на раскрывающийся список свойства «Цвет текста». Уберите рамку текста. Для этого в подпункте «Стиль» свойства «Контур» на вкладке «Общие свойства»  нажмите ЛКМ на изображении линии и выберите в списке пустой пункт (без линии). Уберите заливку текста. Для этого, используя подпункт «Стиль» свойства «Заливка» (свойство нужно развернуть), нажмите ЛКМ справа на цветовой заливке и выберите в списке пункт «Без заливки».

Регулирующий клапан расхода теплоносителя. ГЭ «Клапан». Разместим на трубе подачи теплоносителя регулирующий клапан (элемент 7). Для этого из группы «Объемные фигуры» выберем ГЭ «Клапан»  (см. Создание ГЭ «Клапан», ЛРН№1 в [8]).

В свойствах ГЭ «Клапан» измените цвет в пункте «Базовый цвет» свойства «Материал» на зеленый. Для того чтобы изменить внешний вид клапана, как показано на рисунке 9, и отобразить электропривод используйте значения из списков свойств «Форма клапана» и «Форма привода» соответственно.

Статический и динамический текст. ГЭ «Текст». Будем использовать пары статического и динамического текста соответственно для создания наименования индикатора или поля ввода и самого индикатора или поля ввода.

Группы элементов 8, 10, 17 и 21 создаются следующим образом. Первоначально размещается подложка, выполняемая ГЭ «Рамка» , находящимся в группе «Прямоугольники» . Поверх ГЭ «Рамка» размещается два ГЭ «Текст» . Верхний элемент служит в качестве статической надписи, а нижний – в качестве индикатора значения. Для установки видимости взаимного расположения ГЭ «Текст» относительно ГЭ «Рамка» воспользуйтесь пунктами «Переместить вверх»  или «Переместить вниз»  контекстного меню выделенного ГЭ.

В свойствах ГЭ «Текст» в поле свойства «Текст» на вкладке «Общие свойства»  введите соответствующие надписи: «Позиция, %» для элемента 8, «Температура, 'С» для элемента 10 и 21, «Частота, об/мин» для элемента 17.

Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль, выбрав их в списке. Измените цвет текста – выберите черный, нажав на раскрывающийся список свойства «Цвет текста» (раскрывать свойство не требуется).

Для отображения цифровых индикаторов (динамического текста) разместите ГЭ «Текст»  в позициях элементов 8, 10, 17, 21). Разверните пункт свойств «Текст → Вид индикации» на вкладке «Общие свойства»  каждого элемента и выберите из списка вместо «Нет динамизации» пункт «Значение». В свойстве «Привязка» выполните привязку к вновь созданным аргументам «Позиция» (элемент 8, отображает позицию штока клапана), «Темпер_раств» (элемент 10, температура растворителя), «Обороты» (элемент 17, частоты вращения крыльчатки насоса) и «Темпер_реаг» (элемент 21, температура реагента) с типом «IN» и типом данных «REAL».

Для ГЭ «Текст», отображающих температуру, в пункте «Формат» свойства «Текст» выберите из раскрывающегося списка «Float» (с плавающей точкой). Уменьшите количество знаков дробной части с трех до одного, исправив «%.3f» на «%.1f». Для оставшихся ГЭ «Текст», отображающих обороты крыльчатки и позицию штока клапана, выберите формат «Integer» (целочисленный).

В свойстве «Заливка → Цвет заливки» выберите из палитры черный цвет. В свойстве «Цвет текста» выберите желтый.

Поля для ввода значений и статические подписи к ним, обозначенные номерами 12, 14, 19, 23 на рисунке 9, создаются аналогично элементам, рассмотренным несколькими абзацами выше, посредством ГЭ «Текст» , размещенных поверх ГЭ «Рамка» .

В свойствах статического ГЭ «Текст» в поле свойства «Текст» на вкладке «Общие свойства»  введите соответствующие надписи: «Заданная температура, 'С» для элементов 12 и 14, «Заданная частота, об/мин» для элемента 19 и «Заданная позиция, %» для элемента 23. Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль. Нажав на раскрывающийся список свойства «Цвет текста», измените цвет текста на черный.

Для отображения введенных значений (динамического текста) разместите ГЭ «Текст»  в позициях элементов 12, 14, 19, 23). Разверните пункт свойств

«Текст → Вид индикации» на вкладке «Общие свойства»  каждого элемента и выберите из списка вместо «Нет динамизации» пункт «Значение». В свойстве «Привязка» выполните привязку к вновь созданным аргументам «Уставка_раств» (элемент 12, отображает заданную температуру растворителя), «Уставка_реаг» (элемент 14, заданная температура реагента), «Уставка_обор» (элемент 19, заданная частота вращения крыльчатки насоса) и «Поз_ручн» (элемент 23, заданное вручную значение положения штока клапана) с типом «IN» и типом данных «REAL».

Для ГЭ «Текст», задающих температуру, в пункте «Формат» свойства «Текст» выберите из раскрывающегося списка «Float» (с плавающей точкой). Уменьшите количество знаков дробной части с трех до одного, исправив «%.3f» на «%.1f». Для оставшихся ГЭ «Текст», задающих обороты крыльчатки и позицию штока клапана, выберите формат «Integer» (целочисленный).

В свойстве «Заливка → Цвет заливки» выберите из палитры черный цвет. В свойстве «Цвет текста» выберите зеленый.

Для организации ввода данных в созданные поля в свойствах динамического текста в позициях элементов 12, 14, 19, 23 переключитесь на вкладку «События» , нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* (См. Создание кнопок управления исполнительными устройствами. ГЭ «Кнопка» ЛР№1 в [8]) и в контекстном меню выберите пункт «Передать значение». В свойстве «Тип передачи» выберите из списка значение «Ввести и передать». В свойстве «Результат» нажмите на «...» и выберите в редакторе аргументов созданные ранее аргументы: «Уставка_раств» для элемента 12), «Уставка_реаг» для элемента 14), «Уставка_обор» для элемента 19 и «Поз_ручн» для элемента 23.

Реализуем запрос подтверждений на изменение уставки для элементов 12, 14 и 19. Для этого в пункте «Подтверждение» свойства «*MousePress*» на этой же вкладке «События» выберите из списка «True» и в пункте «Заголовок» введите текст «Внимание!». В пункте «Текст» этого же свойства введите «40...60°C» для элемента 12, «50...70°C» для элемента 14 и «500...1500 об/мин» для элемента 19.

Направление перемещения штока клапана. ГЭ «Стрелка». Выберите из группы «Плоские фигуры»  ГЭ «Стрелка»  и разместите две стрелки в позиции элемента 9, одну направив вверх (указывает на открытие клапана), а вторую – вниз (закрытие клапана). Под стрелкой вверх поместите статический текст «ОТКР», а над стрелкой вниз – «ЗАКР», для чего выберите на панели ГЭ инструмент «Текст»  и в свойствах ГЭ «Текст» в поле свойства «Текст» введите соответствующие надписи. Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в

свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль. Измените цвет текста на черный, нажав на раскрывающийся список свойства «Цвет текста».

Настройте изменение цвета при активации соответствующего направления перемещения штока (см. Создание плоских фигур. ГЭ «Стрелка», ЛРН№1 в [8]). Раскройте пункт свойств «Заливка → Цвет заливки» и в пункте «Вид индикации» выберите из списка «Arg=Const». В поле «Константа» введите значение «1». В пункте «Если ЛОЖНО» выберите из списка серый цвет. Привязку (пункт «Привязка») для стрелки открытия выполните к вновь созданному аргументу «ОТКР» с типом «IN» и типом данных «USINT», а для стрелки закрытия – к вновь созданному аргументу «ЗАКР» с аналогичным типом и типом данных.

Создание анимации работы ТЭНа. ГЭ «Прямоугольник». Разместите на емкости хранения реагента (элемент 2) ГЭ «Прямоугольник»  (элемент 22) из группы «Прямоугольники» (см. Создание анимации работы ТЭНа. ЛРН№2 в [8]) и, раскрыв свойство «Заливка → Цвет заливки», в пункте «Вид индикации» выберите из списка «Arg=Const». В поле «Константа» введите значение «1». В пункте «Если ЛОЖНО» выберите из списка серый цвет. Привязку (пункт «Привязка») выполните к вновь созданному аргументу «ТЭН» с типом «IN» и типом данных «USINT».

Поверх прямоугольника разместите ГЭ «Текст». Для установки видимости взаимного расположения ГЭ «Текст» относительно ГЭ «Прямоугольник» воспользуйтесь пунктами «Переместить наверх»  или «Переместить вниз»  контекстного меню выделенного ГЭ. В свойстве «Текст» элемента текст введите значение «ТЭН» (см. Создание статических надписей. ГЭ «Текст» ЛРН№1 в [8]).

Создание кнопки выбора режима управления клапаном. ГЭ «Кнопка». Для переключения режимов автоматического и ручного управления электроприводом клапана используем двухпозиционную кнопку.

Выберите на панели ГЭ инструмент «Кнопка» . Разместите кнопку (элемент 24), как показано на рисунке 9. В свойстве «Два состояния» из списка выберите значение «True». В свойстве привязка выполните привязку к вновь созданному аргументу «Режим» с типом «IN» и типом данных «USINT».

Выполним динамизацию надписи кнопки в зависимости от текущего активного режима управления. Раскройте свойство «Текст» на вкладке «Общие свойства»  и в пункте «Вид индикации» выберите из списка «Arg=Const». В пункте «Привязка» выберите созданный ранее аргумент «Режим». В поле «Константа» введите значение «1». В поле «Если ИСТИННО» введите «АВТОМАТ», а в поле «Если ЛОЖНО» – «РУЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ».

Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль, выбрав их в списке.

Настроим активацию принудительного задания положения штока и свяжем его с нажатием левой кнопки мыши на двухпозиционной кнопке. Переключитесь на вкладку «События» . Нажмите ПКМ на свойстве «MousePress». В контекстном меню выберите пункт «Передать значение». Оставьте в свойстве «Тип передачи» значение «Прямая». В пустое поле свойства «Значение» введите «0» (команда активации ручного управления). В свойстве «Результат» нажмите на «...» и установите привязку с созданным ранее аргументом «Режим».

Аналогично настроим противоположное действие – активацию автоматического управления клапаном – и свяжем его с отпусканием левой кнопки мыши на двухпозиционной кнопке. Нажмите ПКМ на свойстве «MouseReleas» и в контекстном меню выберите пункт «Передать значение». Оставьте в свойстве «Тип передачи» значение «Прямая». В пустое поле свойства «Значение» введите «1» (команда активации автоматического управления). В свойстве «Результат» выберите в редакторе аргументов созданный ранее аргумент «Режим».

Для выполнения дальнейших действий предварительно потребуется создать несколько экранов.

Создание всплывающих экранов и настройка их свойств. Создайте дополнительно пять шаблонов экрана, нажав ПКМ на созданном узле RTM_1 и выбрав в контекстном меню «Создать компонент → Экран».

Нажмите ЛКМ на слое «Шаблоны_экранов» в навигаторе проекта и затем нажмите ПКМ в его правой части на шаблоне «Экран#2» и в контекстном меню выберите пункт «Переименовать». Введите название «Тренд_обороты». Задайте остальным экранам следующие наименования: «Тренд_темп_reag», «Тренд_темп_раств», «Настройка_обор», «Настройка_темп_reag», «Настройка_темп_раств».

Соответственно три экрана будут использоваться для отображения трендов соответствующих параметров процесса, а еще три – для настройки регуляторов этих параметров.

Вернитесь обратно в слой «Система» в узел RTM_1. Откройте на редактирование двойным нажатием ЛКМ шаблон экрана «Тренд_обороты».

Нажмите дважды ЛКМ на любом свободном пространстве экрана, чтобы вызвать окно свойств самого экрана (см. Создание всплывающего окна, [8]). В раскрывающемся списке свойства «Размеры» выберите пункт «Произвольно» и в соответствующие поля введите значения высоты и ширины – «460» и «360». Также выберите у свойства «Всплывающее окно» значение «True».

Выберите на панели ГЭ «Тренд» . Разместите тренд на все свободное пространство экрана (рис. 10) (см. Создание графика технологического параметра. ГЭ «Тренд», ЛРН№1 в [8]).

На вкладке «Общие свойства»  ГЭ «Тренд» в свойстве «Заголовок» введите текст «Обороты крыльчатки насоса, об/мин». Перейдите на вкладку «Кривые» . Нажмите ПКМ на свойстве «Кривые» и в контекстном меню выберите пункт «Кривая». В свойстве «Привязка» создайте связь с вновь созданным аргументом «Обороты» с типом «IN» и типом данных «Real».

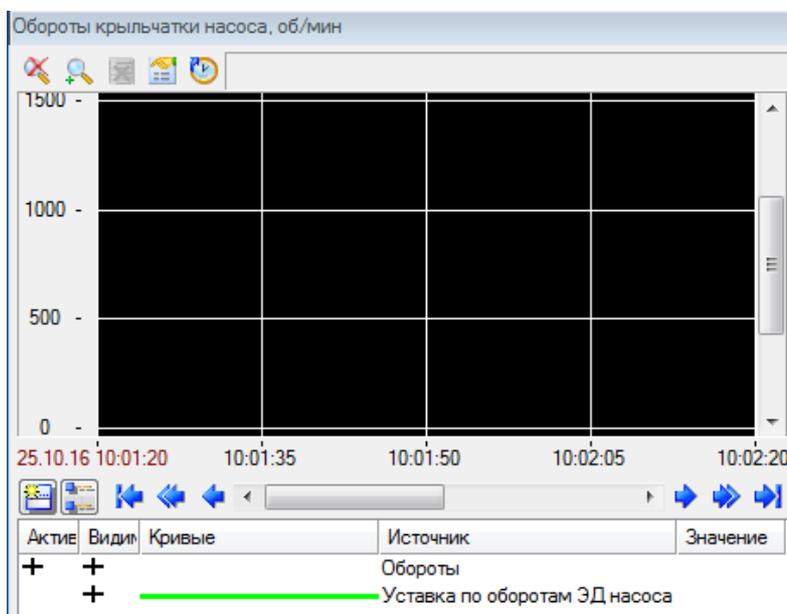


Рис. 10. Экран «Тренд_обороты»

В подпункте «Имя» введите текст «Обороты». В подпункте «Толщина линии» введите «3». В подпункте «Цвет» выберите из списка белый. В подпункте «Макс. значение» введите «1500».

Аналогично добавьте еще одну кривую, связав ее с вновь созданным аргументом «Уставка_обор», и установив зеленый цвет и толщину в 3 пикселя. Также в подпункте «Макс. значение» введите «1500». В подпункте «Имя» введите текст «Уставка по оборотам ЭД насоса».

Откройте на редактирование двойным нажатием ЛКМ шаблон экрана «Тренд_темпл_раств». Точно также установите аналогичные размеры экрана и сделайте его всплывающим. Выберите на панели ГЭ «Тренд»  и разместите тренд, как показано на рисунке 11.

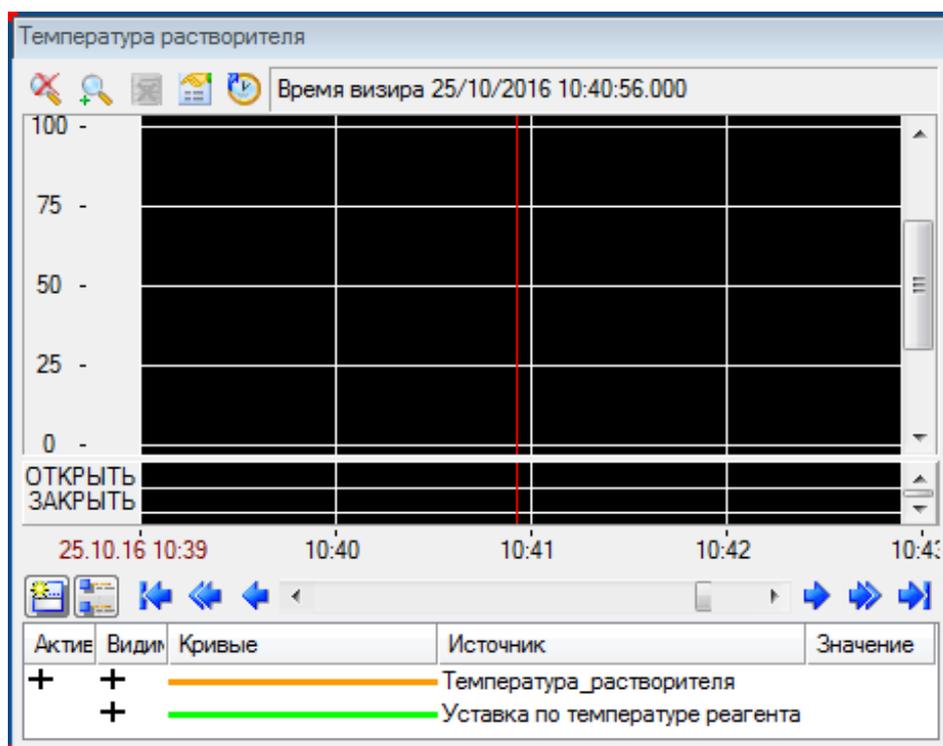


Рис. 11. Экран «Тренд_темп_раств»

Задайте заголовок «Температура растворителя» для ГЭ «Тренд». Создайте две кривых, установив для обеих толщину линии в 3 пикселя. Для первой кривой задайте имя «Температура растворителя», оранжевый цвет и привязку к вновь созданному аргументу «Темпер_раств» с типом «IN» и типом данных «REAL». Для второй – имя «Уставка по температуре растворителя», зеленый цвет и привязку к вновь созданному аргументу «Уставка_раств» с типом «IN» и типом данных «REAL».

Создайте еще две кривых. В пункте «Интерпретировать как» обеих кривых выберите «Статус». Для первой кривой задайте имя «ОТКРЫТЬ» и привязку к вновь созданному аргументу «ОТКР» с типом «IN» и типом данных «USINT», а для второй – имя «ЗАКРЫТЬ» и привязку к вновь созданному аргументу «ЗАКР» типом «IN» и типом данных «USINT». Данные кривые будут показывать состояние выходов, управляющих электроприводом клапана.

Откройте на редактирование шаблон экрана «Тренд_темп_реаг». Установите аналогичные размеры экрана и сделайте его всплывающим. Выберите на панели ГЭ «Тренд»  и разместите тренд, как показано на рисунке 12.

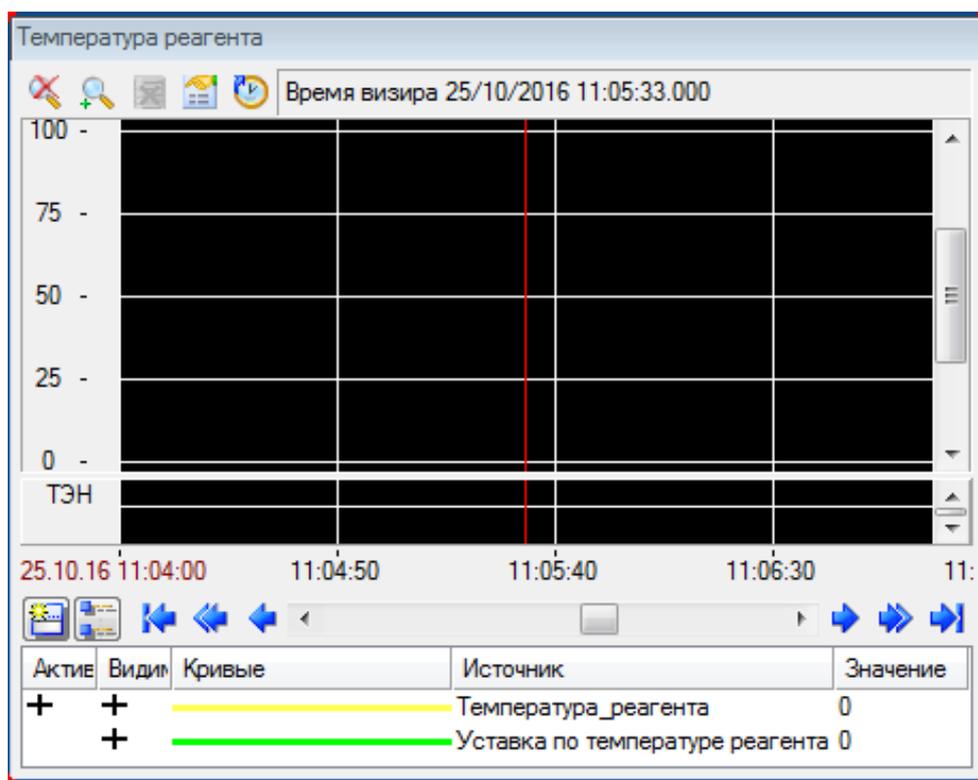


Рис. 12. Экран «Тренд_темп_реаг»

Задайте заголовок «Температура реагента» для ГЭ «Тренд». Создайте две кривых, установив для обеих толщину линии в 3 пикселя. Для первой кривой задайте имя «Температура реагента», желтый цвет и привязку к вновь созданному аргументу «Темпер_реаг» с типом «IN» и типом данных «REAL». Для второй – имя «Уставка по температуре реагента», зеленый цвет и привязку к вновь созданному аргументу «Уставка_реаг» с типом «IN» и типом данных «REAL».

Создайте еще одну кривую. В пункте «Интерпретировать как» выберите «Статус». Задайте имя «ТЭН» и привязку к вновь созданному аргументу «ТЭН» с типом «IN» и типом данных «USINT». Данная кривая будет показывать состояние нагревателя, установленного в емкости реагента.

Создадим экраны для задания и отображения параметров настройки ПИД-регуляторов технологических параметров.

Откройте на редактирование шаблон экрана «Настройка_обор».

Вызовите окно свойств экрана. В раскрывающемся списке свойства «Размеры» выберите пункт «Произвольно» и в соответствующие поля введите значения высоты и ширины – «144» и «108». Также выберите у свойства «Всплывающее окно» значение «True».

Поверх ГЭ «Рамка» разместите три ГЭ «Текст»  в столбец (рис. 13). Они будут выполнять роль статической надписи. Для установки видимости взаимного расположения ГЭ «Текст» относительно ГЭ «Рамка» воспользуйтесь пунктами «Переместить наверх»  или «Переместить вниз» .

В свойствах ГЭ «Текст» в поле свойства «Текст» на вкладке «Общие свойства»  введите соответствующие надписи: «КП» для верхнего элемента, «КИ» для среднего элемента, «КД» для нижнего элемента. В свойстве «Шрифт» всех элементов установите жирное начертание, 12 кегль. Измените цвет текста на черный, нажав на раскрывающийся список свойства «Цвет текста».

Для ввода и отображения введенных значений (динамического текста) коэффициентов регулятора разместите три ГЭ «Текст»  – по одному справа от каждой статической надписи. Разверните пункт свойств «Текст → Вид индикации» на вкладке «Общие свойства»  каждого элемента и выберите из списка вместо «Нет динамизации» пункт «Значение». В свойстве «Привязка» выполните привязку к вновь созданным аргументам «КП_об» (пропорциональная составляющая), «КИ_об» (интегральная составляющая), «КД_об» (дифференциальная составляющая) с типом «IN» и типом данных «REAL».

В свойстве «Заливка → Цвет заливки» выберите из палитры черный цвет. В свойстве «Цвет текста» выберите зеленый.

Для организации ввода данных в созданные текстовые поля в свойствах динамического текста переключитесь на вкладку «События» , нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и в контекстном меню выберите пункт «Передать значение». В свойстве «Тип передачи» выберите из списка значение «Ввести и передать». В свойстве «Результат» нажмите на «...» и выберите в редакторе аргументов созданные ранее аргументы: «КП_об», «КИ_об» и «КД_об».

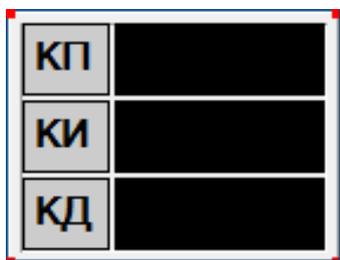


Рис. 13. Экран «Настройка_обор»

Нажмите сочетание клавиш *CTRL+A* для выделения всех элементов экрана. Затем нажмите ПКМ на любом элементе и выберите в контекстном меню  «Копировать».

Откройте на редактирование шаблон экрана «Настройка_темп_реаг». Выберите в раскрывающемся списке свойства экрана «Размеры» пункт «Произвольно» и в соответствующие поля введите значения высоты и ширины – «144» и «108». Выберите у свойства «Всплывающее окно» значение «True».

Нажмите ПКМ на свободном поле экрана и выберите в контекстном меню пункт  «Вставить». Так как для задания настроек регулятора температуры реагента потребуется точно также три текстовых элемента (рис. 13), отредактируем существующие поля ввода, изменив привязки в свойстве «Текст → Вид индикации → Привязка» на вкладке «Общие свойства»  и в свойстве «MousePress → Передать значение → Результат» на вкладке «События»  соответственно на «КП_реаг», «КИ_реаг» и «КД_реаг». Данные аргументы также вновь создаются для шаблона экрана «Настройка_темп_реаг» с типом «IN» и типом данных «REAL».

Нажмите сочетание клавиш *CTRL+A*. Затем нажмите ПКМ на любом элементе и выберите в контекстном меню  «Копировать».

Откройте на редактирование шаблон экрана «Настройка_темп_раств». Выберите в раскрывающемся списке свойства экрана «Размеры» пункт «Произвольно» и в соответствующие поля введите значения высоты и ширины – «144» и «148». Выберите у свойства «Всплывающее окно» значение «True».

Нажмите ПКМ на свободном поле экрана и выберите в контекстном меню пункт  «Вставить» (рис. 14). Отредактируйте существующие поля ввода, изменив привязки в свойстве «Текст → Вид индикации → Привязка» на вкладке «Общие свойства»  и в свойстве «MousePress → Передать значение → Результат» на вкладке «События»  соответственно на «КП_раств», «КИ_раств» и «КД_раств» – вновь созданные для шаблона экрана «Настройка_темп_раств» аргументы с типом «IN» и типом данных «REAL».

Добавьте четвертую пару статического и динамического текста, например, скопировав любую из созданных ранее пар элементов. В свойствах статического ГЭ «Текст» в поле свойства «Текст» введите надпись: «t пр».

Разверните пункт свойств «Текст → Вид индикации» на вкладке «Общие свойства»  динамического элемента «Текст» и в свойстве «Привязка» выполните привязку к вновь созданному аргументу «Тперприв» (время перемещения электроприводом штока на 100%) с типом «IN» и типом данных «REAL». Переключитесь на вкладку «События»  и в свойстве «MousePress → Передать значение → Результат» выберите в редакторе аргументов созданный ранее аргумент «Тперприв».

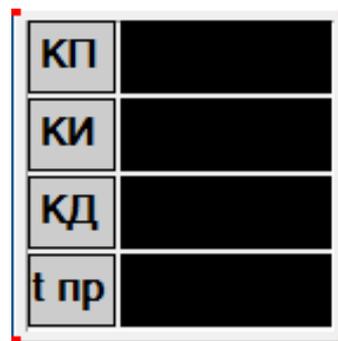


Рис. 14. Экран «Настройка_темп_раств»

Создание кнопок вызова всплывающих экранов. ГЭ «Кнопка». Для вызова всплывающих окон задания коэффициентов настройки соответствующих ПИД-регуляторов и трендов технологических параметров будем использовать кнопки.

Откройте на редактирование шаблон экрана «Мнемосхема» (см. Создание кнопки вызова всплывающего окна. ГЭ «Кнопка». [8]). Выберите на панели ГЭ инструмент «Кнопка» . Разместите кнопки в позициях элементов 11, 15 и 18 (рис. 9).

В поле свойства «Текст» на вкладке «Общие свойства»  для элемента 11 введите надпись «ТРЕНД», нажмите *CTRL+Enter*, введите надпись «температура», нажмите *CTRL+Enter*, введите «растворителя». Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль, выбрав их в списке.

Переключитесь на вкладку «События» . Затем нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и в контекстном меню выберите пункт «Перейти на экран». В подпункте «Перейти на экран» нажмите ЛКМ справа на поле выбора и выберите экран «Тренд_темп_раств».

Повторите процедуру для элемента 15, введя надпись «ТРЕНД», *CTRL+Enter*, «температура», *CTRL+Enter*, «растворителя» в поле свойства «Текст». В свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль, выбрав их в списке. На вкладке «События»  нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и в контекстном меню выберите пункт «Перейти на экран». В подпункте «Перейти на экран» выберите экран «Тренд_темп_реаг».

Аналогично поступите с элементом 18, введя надпись «ТРЕНД», *CTRL+Enter*, «частота», *CTRL+Enter*, «насоса-смесителя» в поле свойства «Текст». В свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль. На вкладке «События»  нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и в контекстном меню выберите пункт «Перейти на экран». В подпункте «Перейти на экран» выберите экран «Тренд_обороты».

Выберите на панели ГЭ инструмент «Кнопка» . Разместите кнопки в позициях элементов 13, 16 и 20.

В поле свойства «Текст» на вкладке «Общие свойства»  для элемента 13 введите надпись «ПИД». Нажатием ЛКМ на параметрах шрифта в свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль, выбрав их в списке. Переключитесь на вкладку «События» . Нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и

в контекстном меню выберите пункт «Перейти на экран». В подпункте «Перейти на экран» выберите экран «Настройка_темп_раств».

Повторите процедуру для элемента 16, введя надпись «ПИД» в поле свойства «Текст». В свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль. На вкладке «События»  нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и в контекстном меню выберите пункт «Перейти на экран». В подпункте «Перейти на экран» выберите экран «Настройка_темп_реаг».

Аналогично поступите с элементом 20, введя надпись «ПИД» в поле свойства «Текст». В свойстве «Шрифт» установите жирное начертание, 8 кегль. На вкладке «События»  нажмите ПКМ на свойстве *MousePress* и в контекстном меню выберите пункт «Перейти на экран». В подпункте «Перейти на экран» выберите экран «Настройка_обор».

Разработка программы ПИД-регулирования оборотов крыльчатки насоса-смесителя.

Данная программа предназначена для расчета опорного задающего воздействия (уставки), выраженного в процентах, и передаваемого далее на интегрированный контроллер преобразователя частоты. Значение 100% на выходе программы соответствует максимальным оборотам (в пределах номинального диапазона до 1500 об/мин) электродвигателя насоса, 0% – минимальным оборотам. Непосредственное управление двигателем, равно как и защита и обход недопустимых режимов работы, осуществляется контроллером преобразователя частоты.

Нажмите ПКМ на созданном узле *RTM_1* и выберите в контекстном меню «Создать компонент → Программа». Нажмите ЛКМ на слое «Шаблоны_программ» в навигаторе проекта и затем нажмите ПКМ в его правой части на шаблоне «Программа#1» и в контекстном меню выберите пункт «Переименовать». Введите название «Регулятор_оборотов» и нажмите *Enter*. Вернитесь обратно в слой «Система» в узел *RTM_1*.

Двойным нажатием ЛКМ на канале вызова программы, откройте ее на редактирование в *РШП*.

Нажмите ЛКМ на пункте «Аргументы» *РШП* и создайте в табличном редакторе аргументов программы пять аргументов со следующими параметрами: *Уставка_обор IN REAL*, *Обороты OUT REAL*, *КП_об IN REAL*, *КИ_об IN REAL*, *КД_об IN REAL*.

Нажмите ЛКМ на заголовке программы. В появившемся окне выбора языка программирования выберите графический язык *FBD*. Нажмите в окне выбора языка кнопку «Принять».

Нажмите на заголовок программы «Регулятор_оборотов» в дереве программы. Откройте палитру блоков FBD кнопкой «Показать/скрыть палитру FBD-блоков»  на панели и перейдите в раздел «Арифметические». Перетащите из библиотеки блок «Вычитание» X-Y, удерживая нажатой ЛКМ (рис. 15). Аналогично перенесите из раздела «Регулирование» библиотеки блок «Звено PID» PID и блок «Звено PID» OBJ и блок «Модель объекта» OBJ.

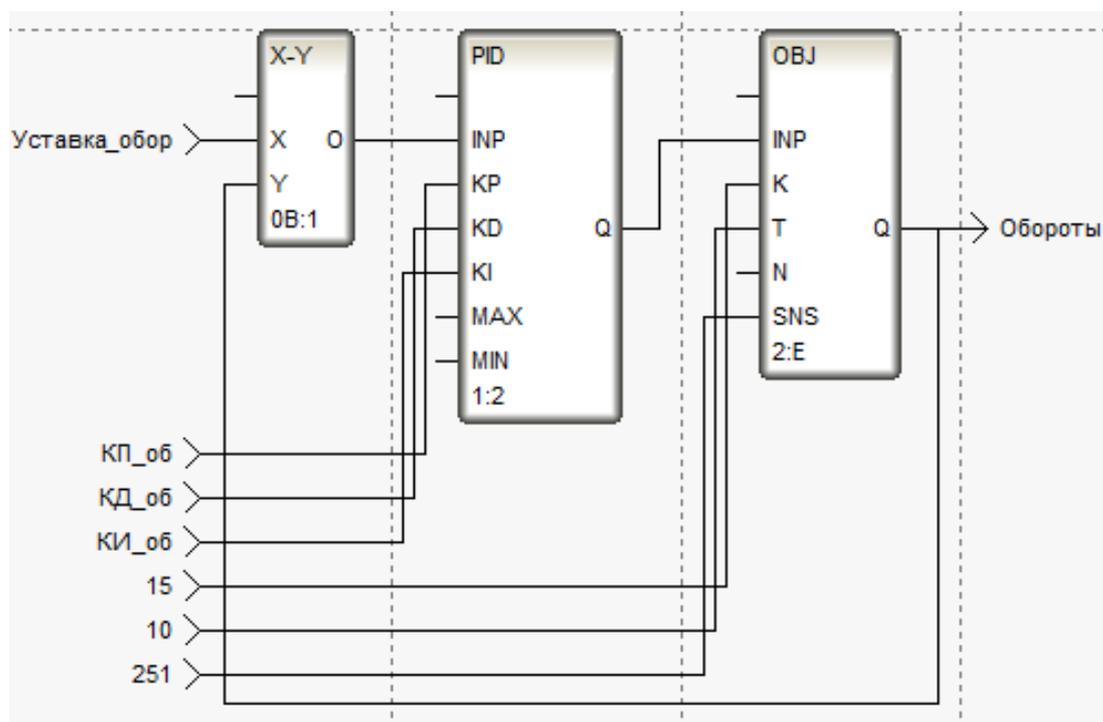


Рис. 15. Программа ПИД-регулирования оборотов

ПИД-регулятор в Trace Mode формирует выходное значение по закону (9)

$$Q_i = KP \cdot INP_i + \frac{KD \cdot (INP_i - INP_{i-1})}{\Delta t} + KI \cdot \Delta t \cdot \sum_{k=1}^i INP_k, \quad (9)$$

где INP – значение, поступившее на вход регулятора; i – текущий такт пересчета; KP , KD и KI – соответственно коэффициенты при пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющих; Δt – период пересчета блока в секундах (длительность такта).

Введение в алгоритм параметра «период пересчета» Δt исключает необходимость пересчета настроек регулятора при смене периода пересчета базы каналов узла.

Модуль подаваемого на вход (KI) отрицательного значения передается на выход. Далее при подаче на вход (KI) неотрицательного значения регулирование начинается с установленной величины.

На вход (INP) блока « PID » следует подавать значение рассогласования между заданным и измеренным (фактическим) значением регулируемой величины, которое в программе вычисляется с помощью блока « $X-Y$ ». Поэтому на вход (X) блока « $X-Y$ » подайте значение аргумента « $Уставка_обор$ », а на вход (Y) – значение оборотов крыльчатки насоса (например, с энкодера, подключенного к преобразователю частоты). Поскольку в данном случае реальный объект отсутствует, то подайте значение оборотов, вычисленное моделью объекта – блоком « OBJ » (см. Разработка программы эмулятора-регулятора температуры агента в емкости, ЛР №2 в [8]), соединив выход (Q) блока « OBJ » и вход (Y) блока вычитания « $X-Y$ ».

На входы (MIN) и (MAX) блока « PID » подаются значения, ограничивающие выходной управляющий сигнал регулятора, т.е. $MIN \leq Q \leq MAX$. При выходе управляющего сигнала за диапазон $[MIN...MAX]$ накопление интегральной составляющей прекращается. Если (MIN) и (MAX) не заданы, то по умолчанию выходной сигнал формируется в процентах $0...100$. Так как выходной сигнал по заданию требуется выразить в процентном отношении, то оставим данные входы пустыми.

Соответствующие входы (KP), (KI) и (KD) блока « PID » свяжите с аргументами « $KП_об$ », « $KИ_об$ » и « $KД_об$ », хранящими значения пропорционального, интегрального и дифференциального параметров настройки регулятора.

Выход (Q) блока « PID » является источником управляющего сигнала и в программе для управления реальным объектом должен быть связан с соответствующим выходным аргументом, однако поскольку в данном случае программа является комбинированной, т.е. в ней содержится и регулятор (блоки « $X-Y$ » и « PID ») и эмулятор объекта (блок « OBJ »), то свяжем выход (Q) блока « PID » непосредственно со входом (INP) модели объекта « OBJ ». Блок « OBJ » подробно рассматривался в «Разработка программы эмулятора-регулятора температуры агента в емкости» лабораторной работы №2.

На вход (K) блока « OBJ » подадим значение коэффициента передачи объекта управления. По формуле (2.2) получим (10):

$$K = \frac{X}{Y} = \frac{1500}{100} = 15 \left[\frac{\text{об / мин}}{\%} \right], \quad (10)$$

где X – технологический параметр – частота вращения крыльчатки насоса (максимально 1500 об/мин), Y – выходной сигнал регулятора (максимально

100%). Таким образом, при выдаче задающего сигнала в 100%, преобразователь частоты обеспечит, управляя электродвигателем, частоту вращения крыльчатки 1500 об/мин.

Вход (N) блока «*OBJ*» оставьте пустым, т.к. транспортное запаздывание пренебрежимо мало и потому $N=0$.

На вход (T) блока «*OBJ*» подадим значение постоянной времени объекта – насоса-смесителя. Экспериментально установлено, что разгон до номинальных оборотов происходит приблизительно за 15 секунд (столь большое значение выбрано для наглядности процесса на тренде), тогда по (2.5) получим $T \approx 15/3 \approx 5$ секунд. Учитывая, что за одну секунду пересчет узла выполняется дважды (см. Настройка времени пересчета узла, ЛР №2 в [9]), то $T=5 \cdot 2=10$ циклов.

Вход (SNS) предназначен для управления случайными помехами, вносимыми в работу объекта. Подайте на него значение «251» в десятичной системе исчисления, что соответствует добавлению к выходному сигналу случайной величины в диапазоне от 0 до 1%; добавлению к выходу синусоидального сигнала с амплитудой 2% от значения выхода; случайному увеличению коэффициента усиления в диапазоне от 0 до 2%; случайному увеличению постоянной времени в диапазоне от 0 до 2%; случайному изменению на 1 запаздывание. Данный шаг позволит проверить работоспособность регулятора.

Выход (Q) модели объекта «*OBJ*» свяжите с аргументом «*Обороты*».

Компиляция и отладка программы ПИД-регулирования оборотов крыльчатки насоса-смесителя. Для того, чтобы не задавать каждый раз параметры настройки регулятора, перейдите в аргументы программы (пункт «*Аргументы*» в дереве программы) и введите в поля «*Значение по умолчанию*» для аргументов «*КП_об*», «*КИ_об*» и «*КД_об*» рассчитанные значения коэффициентов регулятора.

Выполните компиляцию программы клавишей $F7$. Откройте окно переменных, нажав кнопку «*Переменные*»  на панели инструментов отладчика, и запустите программу на циклическое выполнение, нажав клавишу $F5$ (см. Компиляция и отладка ЛР№1 в [8]).

Введите заданное значение в аргумент «*Уставка_обор*» и наблюдайте за достижением данного значения по значению аргумента «*Обороты*». Проведите эксперимент с отключенными возмущениями (подайте «0» на вход (SNS)) и различными значениями уставки и параметров настройки регулятора.

Разработка программы ПИД-регулирования температуры реагента.

Программа предназначена для ПИД-регулирования (стабилизации) температуры в емкости хранения реагента за счет управления термоэлектрическим

нагревателем электрическими импульсами постоянной частоты и переменной длительности (ШИМ-управление).

Аналогично проделанному при создании предыдущей программы, создайте программу и канал ее вызова в узле, выполнив команду «Создать компонент → Программа». Переименуйте ее в «Регулятор_температур». Откройте шаблон программы на редактирование в РШП и в пункте «Аргументы» создайте в табличном редакторе аргументов программы шесть аргументов со следующими параметрами: *Уставка_reag IN REAL*, *Темпер_reag OUT REAL*, *ТЭН OUT USINT*, *КП_об IN REAL*, *КИ_об IN REAL*, *КД_об IN REAL*.

Нажмите ЛКМ на заголовке программы. В появившемся окне выбора языка программирования выберите графический язык FBD.

Перенесите из раздела «Арифметические» библиотеки FBD-блоки «Вычитание» X-Y и «Сложение» X+Y (рис. 16). Аналогично перенесите из раздела «Регулирование» блоки «Звено PID» PID и блок «Модель объекта» OBJ.

Из раздела «Управление» перенесите блоки «Зона нечувствительности» DZONE и «Импульсный регулятор» IREG, расположив так, как показано на рисунке 16.

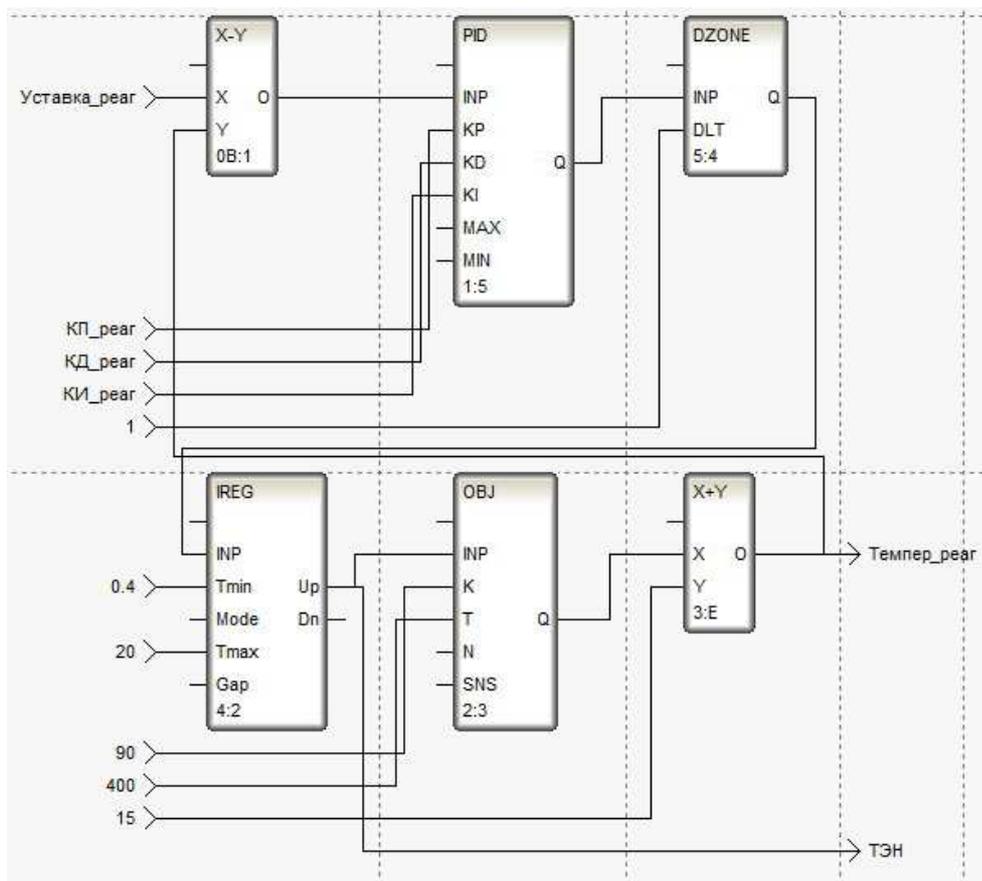


Рис. 16. Программа ПИД-регулирования температуры реагента

Пара блоков «X-Y» и «PID» выполняют функцию регулятора температуры аналогично тому, как было описано выше. Вход (X) блока «X-Y» свяжите с аргументом «Уставка_reag», а выход (O) со входом (INP) блока «PID». Входы (KP), (KI) и (KD) блока «PID» свяжите с аргументами «КП_reag», «КИ_reag» и «КД_reag». Выходной сигнал регулятора удобно выражать в процентах, поэтому входы (MAX) и (MIN) блока «PID» оставьте пустыми.

Для преобразования управляющего сигнала ПИД-регулятора «PID» в последовательность широтно-модулированных импульсов единичной амплитуды используем блок «IREG». Длительность импульсов определяется по формуле (11)

$$T_{имп} = \frac{T_{max} \cdot INP}{100}, \quad (11)$$

где INP – значение, поданное на вход (INP) блока «IREG» в диапазоне $[-100...100]$; T_{max} – максимальная длительность импульса в секундах. При $T_{имп} < T_{min}$, где T_{min} – минимальная длительность импульса в секундах, импульс не генерируется.

Длительность паузы между импульсами определяется как (12)

$$T_{пауз} = T_{max} - T_{имп} \quad (12)$$

Пока значение на входе (INP) является неотрицательным, импульсы формируются на выходе (Up), а при отрицательных значениях – на выходе (Dn). Если входное значение меняет знак, соответствующий выход обнуляется, и генерируется импульс на другом выходе. Если входное значение на входе (INP) изменяется с сохранением знака, то при увеличении значения INP во время генерации импульса, длительность импульса увеличивается, а при изменении значения INP в большую сторону во время паузы, генерируется импульс. При уменьшении значения INP во время генерации импульса, длительность импульса уменьшается, а при изменении значения INP в меньшую сторону во время паузы, длительность паузы увеличивается.

Подайте на вход (T_{max}) значение «20», а на вход (T_{min}) – «0.4». Таким образом, при $INP=100$ будет сформирован импульс длительностью в 20 секунд, и при условии, что значение на входе (INP) сохраняется без паузы будет подан следующий импульс также длительностью 20 секунд. При $INP=50$ будет сформирован импульс длительностью 10 секунд и последует десятисекундная пауза и т.д. При значении $INP < 2$, что соответствует длительности импульса в 0,4 секунды, импульс генерироваться не будет.

Следует учесть, что значение, подаваемое на вход (T_{min}), должно быть меньше длительности цикла пересчета узла (по умолчанию 0,55 секунды). Ина-

че при необходимости подачи импульса минимальной длительности он подан не будет. Естественно, что значение, подаваемое на вход (T_{max}), должно быть больше длительности цикла пересчета узла.

Конечно, выбор значений T_{min} и T_{max} должен производиться, прежде всего, исходя из характеристик исполнительного устройства. В данном случае ограничена минимальная длительность включения ТЭНа (T_{min}) для снижения износа коммутационной аппаратуры.

Вход (*Gap*) позволяет учесть «люфт» исполнительного устройства за счет изменения длительности первого после смены направления движения импульса. Поскольку для пускателя и самого нагревателя «люфтом» можно пренебречь, то оставим этот вход не задействованным.

Вход (*Mode*) предназначен для управления режимами работы блока. В данном случае задания особых режимов не потребуется, поэтому также оставим на входе нулевое значение (пустой вход).

Поскольку у ТЭНа нет реверсивного режима (т.е. режима охлаждения), то все сигналы управления будем снимать с выхода (*Up*). Свяжите этот выход со входом (*INP*) блока «*OBJ*». Также к выходу (*Up*) блока «*IREG*» привяжите аргумент управления исполнительным устройством «*ТЭН*».

Объект представлен парой блоков: моделью объекта «*OBJ*» и блоком сложения «*X+Y*». Блок сложения необходим для учета начальной температуры реагента, от которой осуществляется нагрев, составляющей в данном случае 15°C. В связи с этим выход (*Q*) блока «*OBJ*» соедините со входом (*X*) блока «*X+Y*», а на вход (*Y*) подайте константу «15». Выход (*O*) блока сложения соедините со входом (*Y*) блока вычитания «*X-Y*», реализовав тем самым отрицательную обратную связь. Также к выходу (*O*) блока сложения «*X+Y*» привяжите аргумент «*Темпер_реаг*», в который будет записываться рассчитанное значение технологического параметра температуры реагента.

Параметры объекта управления определим по формулам (2.2) и (2.5), тогда $K=(100-10)/1=90^{\circ}\text{C}$, а $T\approx(600/3)\cdot 2\approx 400$ циклов. Подадим соответствующие значения на входы (*K*) и (*T*) блока «*OBJ*». Вход (*SNS*) оставим не задействованным, т.е. не будем подавать искусственные возмущения на объект. На входе (*N*) зададим запаздывание в один цикл.

Для снижения износа коммутационной аппаратуры (пускателя) ТЭНа сократим количество пусков в области установившегося значения, соответствующего уставке. Для этого малые значения управляющего сигнала ПИД-регулятора (блок «*PID*») меньше 1%, возникающие при незначительном расхождении и при котором требуется кратковременное включение нагревате-

ля, будем игнорировать, т.е. считать равными нулю. Побочным эффектом данного решения является снижение точности регулирования, что, впрочем, не превышает допустимого отклонения и сопоставимо с измерительными погрешностями канала.

Для реализации данного решения используем блок «Зона нечувствительности» *DZONE*. Данный блок можно было установить как перед блоком «*PID*» (в этом случае была бы введена зона нечувствительности по температуре реагента), так и перед импульсным регулятором «*IREG*» (игнорирование управляющих импульсов малой длительности). Используем второе решение (рис. 16) в силу наличия тепловой асимметрии объекта.

Соедините выход (*Q*) блока «*PID*» со входом (*INP*) блока «*DZONE*», а выход (*Q*) блока «*DZONE*» со входом (*INP*) блока «*IREG*». На вход (*DLT*) блока «*DZONE*» подайте константу «*I*» - величину зоны нечувствительности.

Блок «Зона нечувствительности» работает достаточно просто – пока значение на его входе (*INP*) по модулю больше величины зоны нечувствительности, поданной на вход (*DLT*), на выход (*Q*) передается само значение со входа (*INP*). В противном случае выход (*Q*) равен нулю.

Отметим, что для расчета параметров ПИД-регулятора при разработке проекта в профессиональной версии можно использовать блок «Настройка *PID*-закона по параметрам объекта» *CALC* из раздела «Регулирование».

Блок «*CALC*» за основу для расчета берет параметры объекта управления, описываемого апериодическим звеном первого порядка с запаздыванием (2.1), подаваемые соответственно на входы (*Km*) – коэффициент передачи, (*Tm*) – постоянная времени (в циклах), (*Hm*) – время запаздывания в циклах. Значение, подаваемое на вход (*REG*) определяет тип регулятора, для которого выполняется расчет: «*0*» – ПИ-регулятор, «*I*» – ПИД-регулятор.

Рассчитанные значения коэффициентов пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих снимаются с выходов (*Kp*), (*Ki*) и (*Kd*) соответственно. Данные выходы соединяются с соответствующими входами блока «*PID*» или его аналога. Выход (*STS*) является статусным и индицирует ошибки – значение «*-I*» указывает на то, что входные данные не удовлетворят требованиям. К таким требованиям относятся: $K \geq 0$, $T \geq 0$, $N > 0$; $0 < N/T < 2$.

В профайлере базовой версии данный блок не обрабатывается, но работает в отладчике инструментальной системы. Поэтому данный блок можно вынести и, настроив и запустив на исполнение в отладчике базовой версии, записать рассчитанные им значения параметров настройки и подать на входы ПИД-регулятора как константы.

Компиляция и отладка программы ПИД-регулирования температуры реагента. Задайте в пункте «Аргументы» в дереве программы в полях «Значение по умолчанию» для аргументов «КП_реаг», «КИ_реаг» и «КД_реаг» рассчитанные значения коэффициентов регулятора.

Выполните компиляцию программы клавишей F7. Откройте окно переменных, нажав кнопку «Переменные»  на панели инструментов отладчика, и запустите программу на циклическое выполнение, нажав клавишу F5 (см. Компиляция и отладка, ЛР№1 в [8]).

Введите заданное значение в аргумент «Уставка_реаг» и наблюдайте за достижением данного значения по значению аргумента «Темпер_реаг», а также за состоянием ТЭНа (аргумент «ТЭН») – длительности импульсов в зависимости от значения управляющего сигнала на выходе ПИД-регулятора.

Проведите эксперимент с различными значениями уставки, параметрами настройки регулятора и величинами зоны нечувствительности. Проверьте работоспособность регулятора, подав возмущения на объект (константу «251» на вход (SNS)).

Разработка программы ПИД-регулирования температуры растворителя. Программа предназначена для ПИД-регулирования (стабилизации) температуры растворителя на выходе кожухотрубного теплообменника за счет управления электроприводом клапана, регулирующего расход теплоносителя, широтно-модулированными импульсами типа «БОЛЬШЕ» и «МЕНЬШЕ». Программа предусматривает два режима работы: автоматическое регулирование температуры, автоматическое регулирование положения штока клапана – температура при этом не регулируется.

Как и при создании предыдущей программы, выполните команду «Создать компонент → Программа». Переименуйте ее в «Регулятор_темп_раств». Откройте шаблон программы на редактирование в РШП и в пункте «Аргументы» создайте в табличном редакторе аргументов программы аргументы со следующими параметрами: *Уставка_раств IN REAL, Темпер_раств OUT REAL, ОТКР OUT USINT, ЗАКР OUT USINT, Позиция OUT REAL, Тнприв IN REAL, Конц_ОТКР OUT USINT, Конц_ЗАКР OUT USINT, КП_раств IN REAL, КИ_раств IN REAL, КД_раств IN REAL, Поз_ручн IN USINT, Режим IN USINT*. Назначение аргументов раскрывается по ходу лабораторной работы.

Нажмите ЛКМ на заголовке программы. В появившемся окне выбора языка программирования выберите графический язык FBD.

Разработку начнем с функции (пользовательского блока), служащего эмулятором перемещения штока клапана. Для ее создания переключитесь в пункт «*Функции*» в дереве структуры программы, нажмите кнопку «*Создать*»  и переименуйте функцию, нажав дважды ЛКМ на названии «*FUNCTION_001*» в «*ШТОК*». После этого перейдите в пункт «*Аргументы*» функции (см. Редактирование шаблона программы «Регулятор». Комбинирование языков МЭК 61131-3. Функции, ЛР№3 в [8]) и создайте, как это делалось ранее, с помощью кнопки «*Создать*»  аргументы со следующими параметрами: *OPN Вход USINT* (команда открытия от управляющей программы), *CLS Вход USINT* (команда закрытия от управляющей программы), *POS Выход REAL* (расчетное положение штока), *CE_OP Выход USINT* (концевое положение по открытию), *CE_CL Выход USINT* (концевое положение по закрытию), *TIME_TR Вход REAL* (время полного перемещения штока), *dP Выход REAL* (скорость перемещения штока % за цикл).

Нажмите на заголовок функции «*ШТОК*» в пункте «*Функции*» и в диалоге выберите язык «*FBD*». Откройте палитру блоков FBD кнопкой «*Показать/скрыть палитру FBD-блоков*»  на панели и перенесите и расположите в рабочем пространстве *РШП*, как показано на рисунке 17, следующие блоки:

- раздел «*Генераторы*»: «*Период вызова программы*» *TSTEP*;
- раздел «*Арифметические*»: 2 блока «*Деление*» X/Y , 3 блока «*Умножение*» $X*Y$, блок «*Вычитание*» $X-Y$, 2 блока «*Сложение*» $X+Y$;
- раздел «*Сравнение*»: блок «*Больше*» $>$, блок «*Меньше*» $<$, блок «*Больше или равно*» $>=$, блок «*Меньше или равно*» $<=$;
- раздел «*Логические*»: 2 блока «*Логическое умножение*» $X\&\&Y$;
- раздел «*Выбор*»: блок «*Ограничение*» *LIMIT*.

Блок «*TSTEP*» необходим для возврата периода пересчета программы в миллисекундах (см. Настройка времени пересчета узла, ЛР№2 в [9]), что будет использовано для расчета скорости перемещения штока. В отладчике блок всегда возвращает значение «1000».

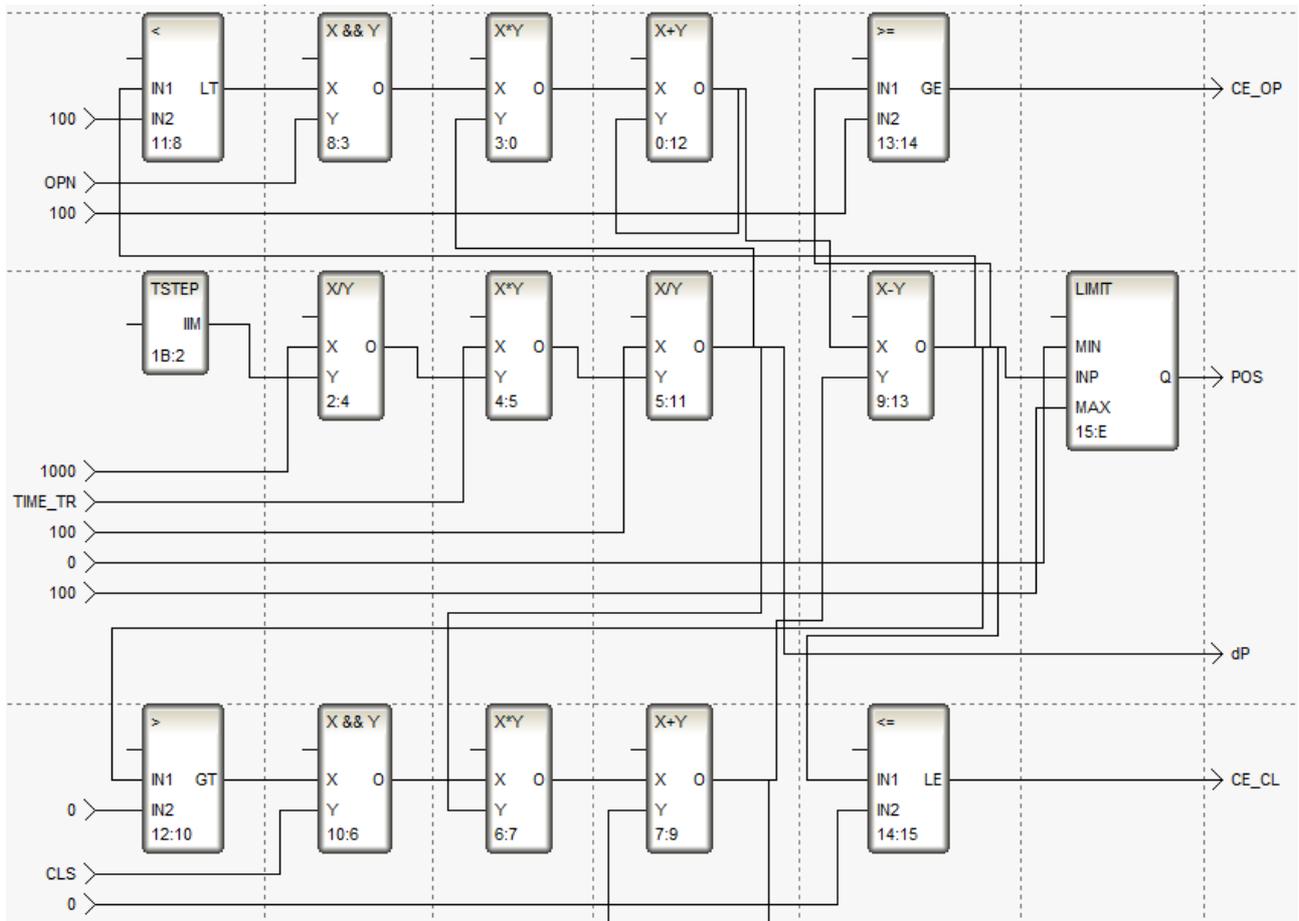


Рис. 17. Функция-эмулятор перемещения штока

Блок «X/Y» №2 необходим для определения количества циклов пересчета в одной секунде (1000 мс), поэтому на вход (X) подается константа «1000», а на вход (Y) – период вызова программы с выхода (ИМ) блока «TSTEP». Таким образом, в отладчике считается, что программа вызывается один раз в секунду.

Рассчитанное значение с выхода (O) блока «X/Y» поступает на вход (X) блока «X*Y» №4. На вход (Y) блока «X*Y» подается значение времени перемещения штока, содержащееся в аргументе функции «TIME_TR». В результате умножения получается число циклов пересчета, за которое шток совершает полный ход.

Блок «X/Y» №5 служит для вычисления скорости перемещения штока в процентах за цикл. Для этого на вход (X) подается константа «100» (полное перемещение – 100%), а на вход (Y) – рассчитанное число циклов, за которое происходит перемещение, с выхода (O) блока «X*Y» №4. К выходу (O) блока «X/Y» №5 привяжите аргумент «dP».

Увеличение положения штока клапана (открытие) возможно при одновременном выполнении двух условий: позиция штока не достигла 100% и активна команда на открытие. Для контроля позиции штока используем блок «Меньше»

<, на вход (*IN2*) которого подайте константу «100» (максимальное открытие), а вход (*IN1*) пока оставьте пустым – на него будет подано рассчитанное текущее положение штока. Пока текущее положение штока будет меньше 100, на выходе (*LT*) данного блока будет логическая единица («*TRUE*»), иначе – 0 («*FALSE*»).

Проверку одновременного выполнения двух условий организуем с помощью блока логического умножения «*X&&Y*» №8. На вход (*X*) подайте сигнал с выхода (*LT*) блока «*Меньше*», а ко входу (*Y*) привяжите аргумент функции «*OPN*» (команда открытия). Таким образом, при активной команде открытия (*OPN=1*) и расчетной позиции штока, меньшей 100%, на выходе (*O*) данного блока будет логическая единица («*TRUE*»).

Выход (*O*) блока «*X&&Y*» №8 соедините со входом (*X*) блока «*X*Y*» №3. На вход (*Y*) блока «*X*Y*» №3 подайте сигнал с выхода «*X/Y*» №5. В результате на выходе (*O*) блока «*X*Y*» №3 будет вычисляться шаг величины приращения позиции штока (скорость перемещения) по открытию за каждый цикл пересчета.

Накопление координаты (позиции) при активной команде открытия с рассчитанной скоростью (при условии, что не достигнуто максимальное положение) будет осуществляться блоком сложения «*X+Y*» №0. Поэтому на вход (*X*) данного блока заведите сигнал с выхода «*X*Y*» №3, а выход данного блока (*O*) соедините с собственным входом (*Y*).

Таким образом, блок «*X+Y*» №0 играет роль интегратора по положительному приращению позиции штока (открытию). Выход (*O*) блока «*X+Y*» №0 соедините со входом (*X*) блока вычитания «*X-Y*» №9, предназначенному для расчета результирующей положительного приращения позиции штока (открытия) и отрицательного приращения (закрытия).

Выход (*O*) блока вычитания «*X-Y*» №9 соедините со входом (*IN1*) блока «*Меньше*» <, который ранее был оставлен пустым.

Аналогично уменьшение положения штока клапана (закрытие) возможно при одновременном выполнении двух условий: позиция штока не достигла 0% и активна команда на закрытие. Для контроля позиции штока используем блок «*Больше*» >, на вход (*IN2*) которого подайте константу «0» (полное закрытие), а вход (*IN1*) подайте рассчитанное текущее положение штока с выхода (*O*) блока вычитания «*X-Y*» №9. Пока текущее положение штока будет больше 0, на выходе (*GT*) данного блока будет логическая единица («*TRUE*»), иначе – 0 («*FALSE*»).

Проверку одновременного выполнения двух условий также организуем с помощью блока логического умножения «*X&&Y*» №10. На вход (*X*) подайте

сигнал с выхода (*GT*) блока «*Больше*», а ко входу (*Y*) привяжите аргумент функции «*CLS*» (команда закрытия). Таким образом, при активной команде закрытия (*CLS=1*) и расчетной позиции штока, большей 0%, на выходе (*O*) данного блока будет логическая единица («*TRUE*»).

Выход (*O*) блока «*X&&Y*» №10 соедините со входом (*X*) блока «*X*Y*» №6. На вход (*Y*) блока «*X*Y*» №6 подайте сигнал с выхода «*X/Y*» №5. В результате на выходе (*O*) блока «*X*Y*» №6 будет вычисляться шаг величины приращения позиции штока по закрытию (скорость перемещения) за каждый цикл пересчета.

Накопление координаты (позиции) при активной команде закрытия с рассчитанной скоростью (при условии, что не достигнуто минимальное положение) будет осуществляться блоком сложения «*X+Y*» №7. Поэтому на вход (*X*) данного блока заведите сигнал с выхода «*X*Y*» №6, а выход данного блока (*O*) соедините с собственным входом (*Y*).

Таким образом, блок «*X+Y*» №7 играет роль интегратора по отрицательному приращению позиции штока (закрытию). Выход (*O*) блока «*X+Y*» №7 соедините со входом (*Y*) блока вычитания «*X-Y*» №9.

Блок «*Меньше или равно*» служит сигнализатором срабатывания датчика концевого выключателя по закрытию. Как только итоговое значения положения штока, поданное на вход (*INI*) данного блока, становится меньше или равно «0» – константы, подаваемой на вход (*IN2*), на выходе (*LE*) блока «*<=>*» формируется логическая единица («*TRUE*»). Это говорит о достижении штоком минимального положения. Выход (*LE*) блока «*<=>*» свяжите с аргументом «*CE_CL*».

Аналогично блок «*Больше или равно*» служит сигнализатором срабатывания датчика концевого выключателя по открытию. Как только итоговое значения положения штока, поданное на вход (*INI*) данного блока, становится больше или равно «100» – константы, подаваемой на вход (*IN2*), на выходе (*GE*) блока «*>=>*» формируется логическая единица («*TRUE*»). Это служит сигналом достижения штоком максимального положения. Выход (*GE*) блока «*>=>*» свяжите с аргументом «*CE_OP*».

Для ограничения рассчитанного значения положения штока используем блок ограничения «*LIMIT*». На вход (*INP*) подайте сигнал с выхода (*O*) блока «*X-Y*», а на входы (*MIN*) и (*MAX*) соответственно константы ограничения – «0» и «100».

Разработка функции-эмулятора перемещения штока завершена.

Нажмите на заголовок программы «*Регулятор_темпл_раств*». Приступим непосредственно к разработке программы ПИД-регулирования температуры растворителя.

Перенесите из библиотеки блок «X-Y» из раздела «Арифметические» №0 (рис. 18) и «PID» из раздела «Регулирование». Эта пара блоков будет выполнять функцию ПИД-регулятора температуры растворителя.

Ко входу (X) блока «X-Y» привяжите аргумент «Уставка_раств», в котором будет храниться заданная оператором температура растворителя. Вход (Y) пока оставьте пустым. Выход (O) блока «X-Y» свяжем со входом (INP) блока «Зона нечувствительности» DZONE из раздела «Управление». На вход (DLT) данного блока подадим константу «0.5», что позволит реализовать зону нечувствительности по температуре растворителя с величиной 0,5°C. Таким образом, значения рассогласования, меньшие 0,5°C, на вход звена «PID» поступать не будут – рассогласование будет равным нулю и, соответственно, регулятор будет «считать», что заданное значение достигнуто. Это позволит снизить частоту включения исполнительного устройства и, соответственно, повысить ресурс электропривода.

Выход (O) блока «DZONE» свяжите со входом (X) блока «X*Y», а на вход (Y) привяжите аргумент «Режим». Данный аргумент определяет выбор режима управления: режим управления положением штока оператором (*Режим=0*) и автоматическое регулирование температуры растворителя (*Режим=1*). Смысл этого шага в том, чтобы в режиме управления положением штока (режим автоматического регулирования температуры отключен), в котором *Режим=0*, прекратить накопление ошибки интегральной составляющей и обнулить выходной сигнал регулятора путем умножения величины рассогласования на ноль.

Выход (O) блока «X*Y» свяжите со входом (INP) блока «PID». К соответствующим входам блока «PID» (KP), (KD), (KI) привяжите аргументы «КП_раств», «КД_раств» и «КИ_раств». Так как в данном случае исполнительное устройство имеет реверсивный режим (открытие и закрытие – смена направления перемещения штока), то выходной сигнал будем выражать в процентном отношении со знаком направления, т.е. в диапазоне [-100...100]. Поэтому на вход (MAX) подайте константу «100», а на вход (MIN) – «-100».

Из раздела «Управление» перенесите блок «Апертура» APERT. Будем использовать данный блок для фильтрации небольших изменений управляющего сигнала звена «PID», чтобы снизить частоту включения электропривода клапана и особенно предотвратить частую смену направления перемещения штока.

Выход (Q) блока «PID» свяжите со входом (INP) блока «APERT». На вход (LIM) подайте константу «0.5», а выход (Q) свяжите с собственным входом (IQ). Блок реализует алгоритм $IF |INP-IQ| < LIM THEN Q:=IQ ELSE Q:=INP$. Таким образом, если модуль изменения сигнала на входе (INP) меньше порогово-

го значения на входе (LIM), то на выход (Q) передается предыдущее значение выхода на предыдущем цикле пересчета со входа (IQ). В противном случае, передается само значение со входа (INP). Иначе говоря, блок будет фильтровать изменения управляющего сигнала менее 0,5% независимо от направления перемещения штока.

Выход (Q) блока «*APERT*» свяжите со входом (INP) блока «*IREG*» из раздела «*Управление*», работа которого описывалась ранее. Установите минимальную длину импульса в 0,4 секунды, подав константу «0.4» на вход ($Tmin$). Для входа ($Tmax$) задайте значение, сопоставимое со временем полного перемещения исполнительного органа – константу «100».

На этом разработка части программы, касающейся режима автоматического ПИД-регулирования температуры растворителя, завершена. Разработаем часть программы, реализующую режим управления положением штока оператором.

Данная часть программы будет представлена тремя блоками: блоками «*Сложение*» $X+Y$ №6 и «*Вычитание*» $X-Y$ №7 из раздела «*Арифметические*» и блоком «*Трехпозиционный регулятор*» *PREG* из раздела «*Регулирование*». Работа блока «*PREG*» подробно рассматривалась в пункте «Создание программы трехпозиционного регулирования уровня с выбором способа управления на языке FBD».

Блоки сложения « $X+Y$ » и вычитания « $X-Y$ » нужны для вычисления пороговых значений на основании уставки и с учетом зоны нечувствительности по положению штока клапана, по результатам сравнения с которыми осуществляется выдача команд управления исполнительным устройством. Поэтому на входы (X) блоков « $X+Y$ » и « $X-Y$ » привяжите аргумент «*Поз_ручн*», в котором хранятся значения позиции штока, задаваемое оператором в режиме непосредственного позиционирования штока, а входы (Y) пока оставьте без привязки – к ним далее привяжем значение зоны нечувствительности. Это значение будет вычисляемым исходя из скорости перемещения штока: чем выше скорость, тем больше зона нечувствительности, поэтому оно не может быть задано константой.

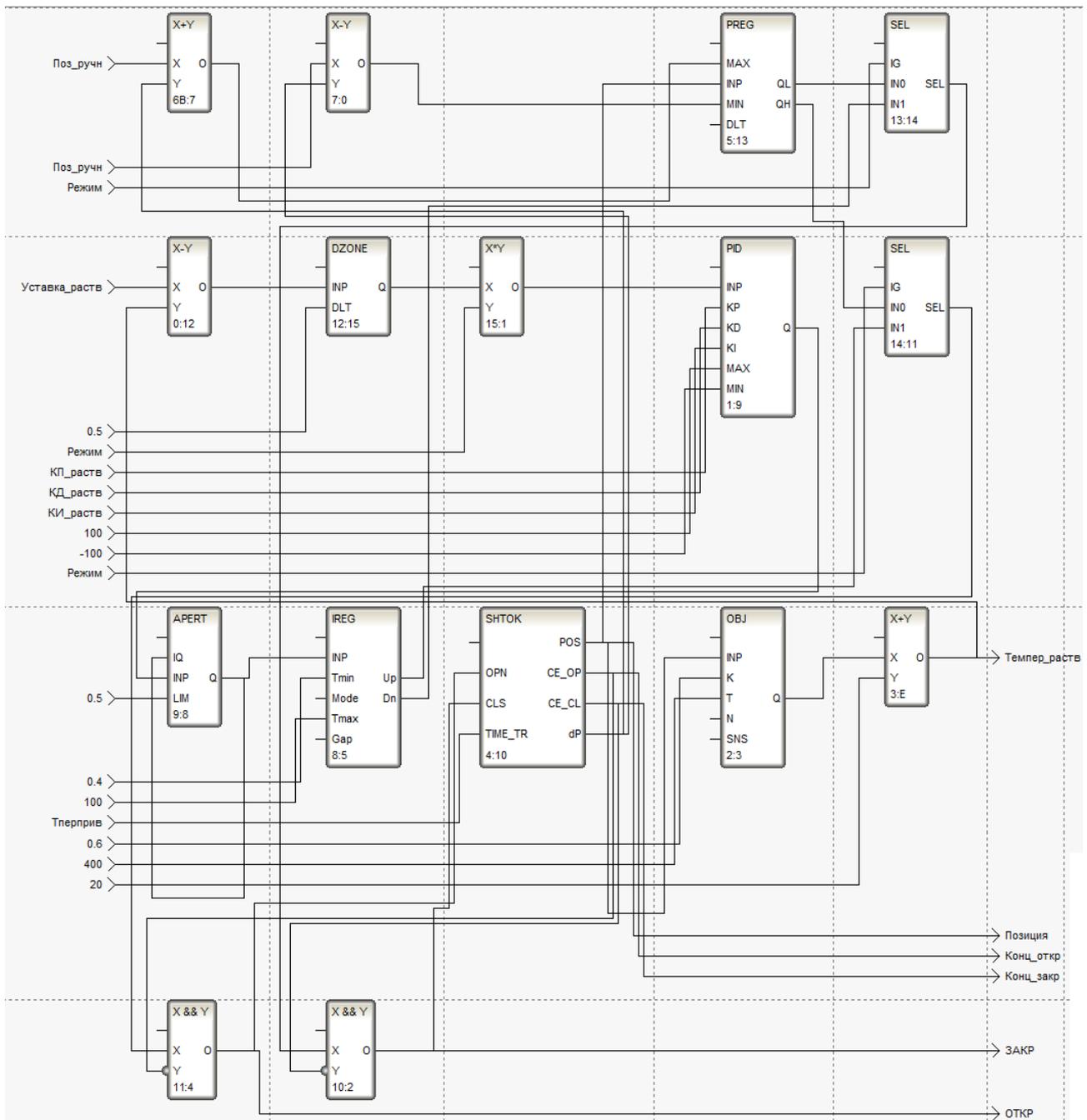


Рис. 18. Программа ПИД-регулирования температуры растворителя

Выход (*O*) блока сложения «*X+Y*» свяжите со входом (*MAX*) блока «*PREG*», а выход (*O*) блока вычитания «*X-Y*» – со входом (*MIN*). Вход (*INP*) пока оставьте пустым – на него в дальнейшем будет подано текущее положение штока клапана, с которым и будет осуществляться сравнение. Вход задания гистерезиса (*DLT*) в данном случае (в модели) можно оставить пустым. Таким образом, при $INP > MAX$ выходы $QL=1, QH=0$ (закрытие); при $INP < MIN$ выходы $QL=0, QH=1$ (открытие); при $MIN < INP < MAX$ выходы $QL=0, QH=0$ (электропривод остановлен – значение в пределах зоны нечувствительности).

Поскольку программа предполагает два режима управления, то выбор режима организуем с помощью блоков «Выбор из двух» *SEL* из раздела «Выбор». Данный блок передает на выход (*SEL*) значение со входа (*IN0*) или (*IN1*), номер которого задан на входе (*IG*).

Так как управляющих сигналов два: один на открытие, второй – на закрытие, то потребуется пара блоков. На входы (*IG*) обоих блоков «*SEL*» привяжите аргумент «Режим». Поскольку режиму управления положением штока оператором соответствует значение *Режим=0*, то на вход (*IN0*) блока «*SEL*» №13 подадим сигнал с выхода (*QL*) блока «*PREG*». Как видно, данный блок будет использоваться для выборки сигналов команд закрытия. Тогда на вход (*IN1*) заведем сигнал с выхода (*Dn*) импульсного регулятора «*IREG*». По этим же причинам, на вход (*IN0*) блока «*SEL*» №14 подадим сигнал с выхода (*QH*) блока «*PREG*», а на вход (*IN1*) – сигнал с выхода (*Up*) блока «*IREG*».

Разработаем части программы, реализующей режим управления положением штока оператором, завершена. Разработаем эмуляционную часть программы.

В данном случае эмуляция перемещения штока представлена функцией «*SHTOK*». В *РШП* она будет представлена одноименным блоком, находящимся в разделе «*Пользовательские*». Перенесите данный блок.

Выход (*POS*) блока «*SHTOK*», индицирующий текущую вычисленную позицию штока, свяжите со входом (*INP*) трехпозиционного регулятора «*PREG*». К этому же выходу привяжите аргумент «*Позиция*». Выход (*dP*), показывающий величину приращения позиции в процентах за каждый цикл пересчета (скорость) привяжите ко входам (*Y*) блоков «*X+Y*» №6 и «*X-Y*» №7.

К выходам (*CE_OP*) и (*CE_CL*), показывающим срабатывание концевых выключателей по положению штока клапана, привяжите соответственно аргументы «*Конц_откр*» (полностью открыто) и «*Конц_закр*» (полностью закрыто).

Поскольку срабатывание концевых выключателей должно приводить к снятию команд инициации включения электропривода клапана в соответствующем направлении, то реализуем это с помощью пары блоков логического умножения «*X&&Y*» (*I*) из раздела «*Логические*» – по одному для каждого направления перемещения. Соответствующий блок будет формировать активный (TRUE) окончательный сигнал управления электроприводом в случае, если подана команда управления «открыть» (выход (*O*) соответствующего блока «*SEL*» имеет состояние логической единицы) И НЕ сработал соответствующий концевой выключатель (выход *CE_OP* или *CE_CL* блока «*SHTOK*» имеет состояние логического нуля).

Блок «X&&Y» («И») №11 используем для окончательного формирования команды управления открытием, поэтому на вход (X) подайте сигнал с выхода блока выбора сигнала открытия «SEL» №14. На вход (Y) заведите сигнал с выхода концевого выключателя открытия (CE_OP) блока «SHTOK», а выход (O) блока «X&&Y» №11 соедините со входом (OPN) блока эмуляции «SHTOK». На данном входе принимаются команды управления электроприводом на открытие. К выходу (O) блока «X&&Y» №11 также привяжите аргумент команды управления открытием «ОТКР». Так как предполагается выполнение условия «НЕ» для сигнала концевого выключателя, то вход (Y) блока «X&&Y» №11 инвертируйте. Для этого нажмите ПКМ на входе блока и выберите в контекстном меню пункт  «Инвертировать».

Аналогично блок «X&&Y» («И») №10 используем для окончательного формирования команды управления закрытием, поэтому на вход (X) подайте сигнал с выхода блока выбора сигнала закрытия «SEL» №13. На вход (Y) заведите сигнал с выхода концевого выключателя закрытия (CE_CL) блока «SHTOK», а выход (O) блока «X&&Y» №10 соедините со входом (CLS) блока эмуляции «SHTOK». На данном входе принимаются команды управления электроприводом на закрытие. К выходу (O) блока «X&&Y» №10 также привяжите аргумент команды управления открытием «ЗАКР». Вход (Y) блока «X&&Y» №10 инвертируйте.

На вход (TIME_TR) блока «SHTOK» подайте значение аргумента «Тперприв», в котором хранится значение времени полного перемещения штока клапана.

Эмуляция теплообменного процесса, как и ранее, представлена парой блоков «Модель объекта» OBJ и «Сложение» X+Y №3.

На вход (K) подайте значение коэффициента передачи – константу «0.6», рассчитанную по формуле (13):

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{80 - 20}{100} = 0.6 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\%} \right] \quad (13)$$

На вход (T) подайте значение постоянной времени теплообменника – константу «400», значение которой определено по формуле (2.5) (14):

$$T \approx \frac{10 \cdot 60}{3} \cdot 2 \approx 400 \text{циклов} \quad (14)$$

Вход (SNS) оставим не задействованным, т.е. не будем подавать искусственные возмущения на объект. Запоздыванием пренебрежем и, ввиду этого, вход (N) оставим не задействованным.

Выход (*POS*) блока «*ШТОК*» свяжите со входом (*INP*) блока «*OBJ*». В результате, в зависимости от положения (позиции) штока клапана будет рассчитываться изменение температуры растворителя.

Блок «*X+Y*» №3 служит для учета начальной температуры растворителя на входе в теплообменник, от которой осуществляется его нагрев. Поэтому вход (*X*) блока «*X+Y*» №3 свяжите с выходом (*Q*) блока «*OBJ*», а на вход (*Y*) подайте значение константы «20». Выход (*O*) блока «*X+Y*» №3 свяжите со входом (*Y*) блока «*X-Y*» №0, реализовав тем самым отрицательную обратную связь. Также к выходу (*O*) блока «*X+Y*» №3 привяжите аргумент «*Темп_раств*», в который будет записываться рассчитанное значение температуры растворителя на выходе теплообменника.

Компиляция и отладка программы ПИД-регулирования температуры растворителя. Задайте в пункте «*Аргументы*» в дереве программы в полях «*Значение по умолчанию*» для аргументов «*КП_реаг*», «*КИ_реаг*» и «*КД_реаг*» рассчитанные значения коэффициентов регулятора, в аргументе «*Тперприв*» время полного перемещения штока – 100 секунд, а в аргументе «*Режим*» – единицу, что соответствует режиму автоматического регулирования температуры.

Выполните компиляцию программы клавишей *F7*. Откройте окно переменных, нажав кнопку «*Переменные*»  на панели инструментов отладчика, и запустите программу на циклическое выполнение, нажав клавишу *F5* (см. Компиляция и отладка ЛР№1 в [8]).

Введите заданное значение в аргумент «*Уставка_раств*» и наблюдайте за достижением данного значения по значению аргумента «*Темпер_раств*», а также за выдачей сигналов управления электроприводом клапана (аргументы «*ОТКР*» и «*ЗАКР*») и расчетным положением штока (аргумент «*Позиция*»).

Переключите программу в режим управления положением штока, введя «0» в аргумент «*Режим*». Задавайте положение штока в аргументе «*Поз_ручн*» и наблюдайте за перемещением штока в этом случае и соответствующем изменении температуры растворителя. Постарайтесь выйти на уставку по температуре растворителя, вручную задавая положение штока.

Уведите шток в крайнее положение и убедитесь, что сигналы управления снимаются при срабатывании концевых выключателей «*Конц_ОТКР*» и «*Конц_ЗАКР*».

Проведите эксперимент, изменяя время перемещения привода в аргументе «*Тперприв*» и наблюдая при этом за точностью позиционирования штока и воз-

никающей статической ошибке по температуре растворителя при задании малого времени перемещения (высокой скорости).

Проведите эксперимент с различными значениями уставки, параметрами настройки регулятора и величинами зоны нечувствительности. Проверьте работоспособность регулятора, подав возмущения на объект (константу «251» на вход (SNS)).

Поэкспериментируйте, менее константы зоны нечувствительности по температуре растворителя (вход (DLT) блока «DZONE») и апертуры выходного сигнала ПИД-регулятора (вход (LIM) блока «APERT»).

Создание и настройка базы каналов. Создадим каналы для организации обмена данными между экранами и программами (см. Создание базы каналов, ЛРН№1 в [8]). Разверните узел RTM_1 в навигаторе проекта и нажмите ПКМ на канале вызова шаблона экрана «Мнемосхема». Выберите в контекстном меню пункт «Свойства» . В открывшемся окне переключитесь на вкладку «Аргументы». Далее нажмите ЛКМ на кнопку «Создать по аргументам каналы с привязкой»  на панели работы с аргументами. Будет создано двенадцать каналов соответствующего аргументам типа и с соответствующими аргументам именами.

Повторите процедуру для каналов вызова шаблонов экранов «Настройка_обор», «Настройка_темп_реаг», «Настройка_темп_раств». В первом и втором случае будут созданы еще по три канала, а в третьем – еще четыре.

Теперь необходимо связать созданные каналы с остальными экранами и программами. Нажмите ПКМ на канале вызова шаблона экрана «Тренд_обороты» и выберите в контекстном меню пункт «Свойства» . В открывшемся окне переключитесь на вкладку «Аргументы». Перетащите каналы из узла в навигаторе проекта, удерживая ЛКМ, на строки аргументов с аналогичными именами в табличном редакторе привязок аргументов. Привязки будут созданы автоматически. Повторите процедуру для каналов вызова шаблонов экранов «Тренд_темп_реаг» и «Тренд_темп_раств».

Выполним привязку каналов к аргументам программ. Нажмите ПКМ на канале вызова шаблона программы «Регулятор_оборотов» точно также откройте свойства и затем вкладку «Аргументы» программы. Перетащите каналы на одноименные аргументы в табличном редакторе. Повторите процедуру для каналов вызова шаблонов программ «Регулятор_темп_реаг» и «Регулятор_темп_раств».

Зададим значения, которые должны будут быть записаны в определенные каналы при запуске проекта на исполнение в профайлере. Для этого нажмите

ПКМ на каналы «Режим» и выберите в контекстном меню пункт «Редактировать» . В бланке свойств канала установите флаг в поле «Отработать» и введите в поле «На старте» значение «1», что при старте активирует режим автоматического регулирования температуры.

Повторите процедуру для каналов «Уставка_обор», «Уставка_reag» и «Уставка_раств», введя значения заданных значений из номинального диапазона по условию, например, соответственно «1200», «60» и «60».

Для канала «Тперприв» аналогично задайте время перемещения штока, введя значение «100» в поле «На старте».

В завершение задайте рассчитанные значения коэффициентов настройки регуляторов соответственно для каналов «КП_об», «КИ_об», «КД_об», «КП_reag», «КИ_reag», «КД_reag», «КП_раств», «КИ_раств», «КД_раств».

Сохранение проекта и запуск на исполнение в профайлере. Нажмите ЛКМ кнопку «Сохранить»  и затем «Сохранить для МРВ»  на главной панели инструментов (см. Сохранение и подготовка проекта к запуску, ЛР№1 в [8]). Откройте профайлер кнопкой «Запустить профайлер»  на главной панели инструментов. В профайлере еще раз нажмите ЛКМ кнопку «Запуск/Останов» .

Проверьте работоспособность проекта и системы управления, наблюдая за выходом объекта на соответствующие технологические режимы по показаниям трендов и состоянием исполнительных устройств, при котором они достигаются. Изменяйте уставки и параметры настройки регуляторов. Экспериментируйте с режимом управления электроприводом клапана и изменением его быстродействия.

Итоговый результат разработки, запущенный на исполнение в профайлере, показан на рисунке 19.

Для останова профайлера нажмите ЛКМ кнопку «Запуск/Останов» . После этого закройте профайлер.

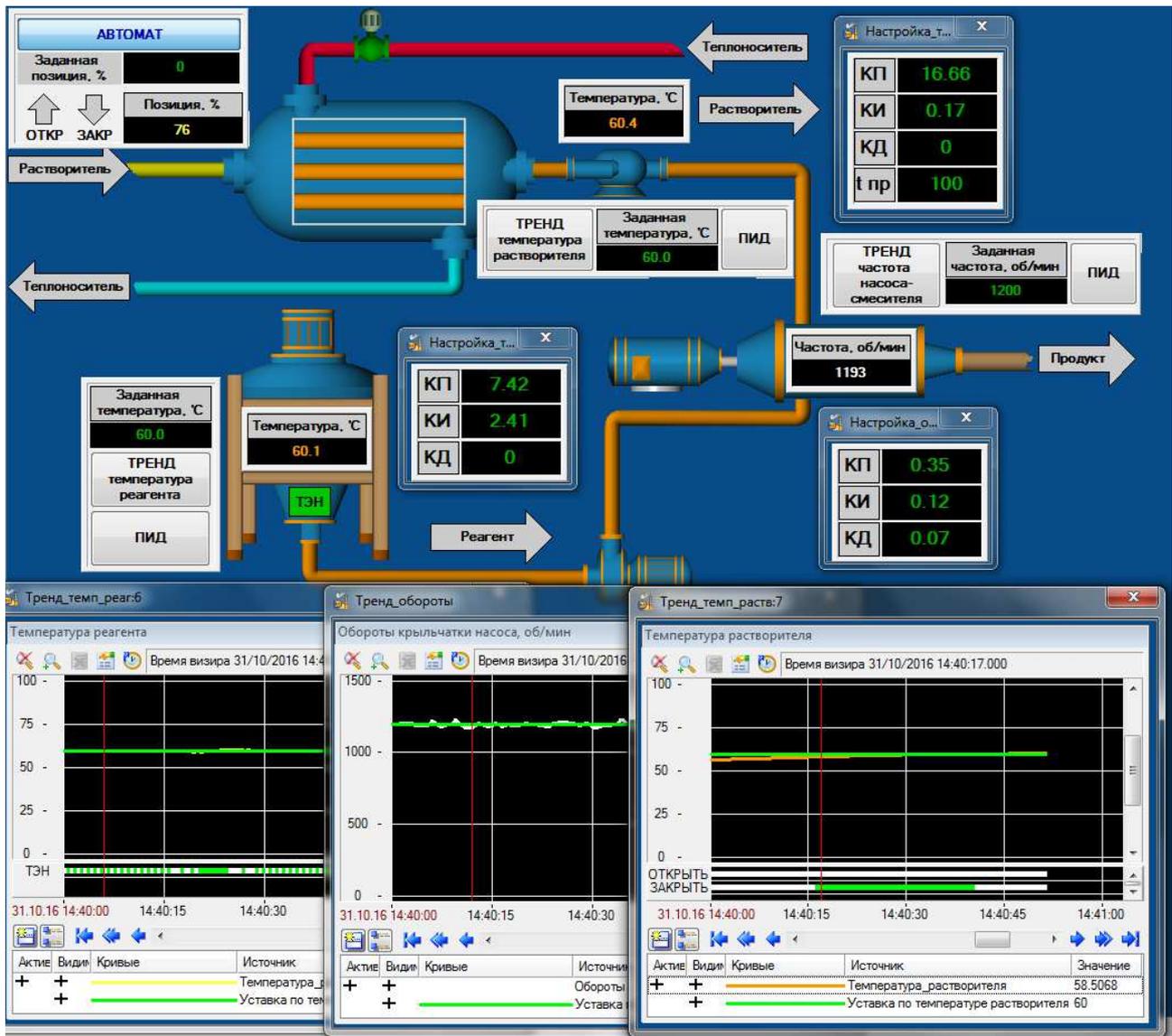


Рис. 19. Итоговый вид проекта, запущенного в профайлере

4. Содержание отчета

Отчет должен включать:

1) скриншоты экранов проекта, запущенного на исполнение в профайлере, с указанием типов использованных ГЭ и настраиваемых свойств этих ГЭ для экрана «Мнемосхема», любого из экранов «Тренд...» и любого из экранов «Настройка...» параметров регулятора;

2) скриншот программы ПИД-регулирования оборотов крыльчатки с текстовым пояснением ее работы и описанием алгоритма работы использованных функциональных блоков;

3) скриншот программы ПИД-регулирования температуры реагента с текстовым пояснением ее работы и описанием алгоритма работы использованных функциональных блоков, кроме блоков, рассмотренных при выполнении п. 2;

4) скриншот программы ПИД-регулирования температуры растворителя с текстовым пояснением ее работы и описанием алгоритма работы использованных функциональных блоков, кроме блоков, рассмотренных при выполнении п. 2 и п.3;

5) *самостоятельное задание*. Разработайте программу управления электродвигателем аппарата воздушного охлаждения, осуществляющего охлаждение технологической жидкости с 55°С до 40°С при номинальных оборотах 750 об/мин, максимальные обороты электродвигателя – 1000 об/мин;

6) вывод по проделанной работе.

5. Контрольные вопросы

1. Какие типы регуляторов объединены в ПИД-регуляторе?
2. Какие структуры ПИД-регулятора вам известны?
3. Какие параметры ПИД-регулятора подлежат настройке и каковы их возможные альтернативы в уравнении?
4. Охарактеризуйте работу пропорциональной составляющей.
5. Какие преимущества и недостатки дает введение интегральной составляющей?
6. Как влияет на работу регулятора увеличение и уменьшение пропорциональной и интегральной составляющих?
7. В каких случаях требуется введение дифференциальной составляющей и как она влияет на качество регулирования?
8. Каким образом выбирается период дискретизации для реализации цифрового ПИД-регулятора?
9. Что представляет собой инкрементальная форма цифрового ПИД-регулятора?
10. Какие типовые процессы вам известны?
11. Опишите порядок настройки по методу Зиглера-Никольса.
12. Опишите порядок настройки по методу CHR. Какие существуют варианты данного метода настройки?
13. Напишите формулы расчета параметров настройки ПИД-регулятора для объекта с самовыравниванием.
14. Опишите порядок действий при экспериментальной настройке регулятора без знания параметров объекта.
15. Каковы особенности реальных ПИД-регуляторов?
16. Какие управляющие сигналы могут быть у ПИД-регулятора?
17. Поясните смысл согласования направления действия регулятора с объектом.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) – одни из наиболее часто используемых типов регуляторов, в т.ч. и в промышленных системах автоматизации. Для специалистов в сфере автоматизации технологических процессов и производств актуальным является знания и умения в области настройки ПИД-регуляторов, а также разработки и модификации существующих программ, используя для этого языки программирования промышленных контроллеров стандарта МЭК 61131.

В данном лабораторном практикуме была рассмотрена реализация программ ПИД-регулирования на языке Function Block Diagram (FBD); должное внимание уделено освещению теоретических аспектов выбора структуры регулятора в соответствии с решаемой задачей и параметрами объекта управления, расчету параметров регуляторов и их влиянию на показатели качества переходного процесса; ограничениям на применение регуляторов и особенностям реальных регуляторов; согласованию регуляторов с исполнительными устройствами и объектом управления. Так же освещены порядок и принципы разработки интерфейса оператора, вопросы переключения режимов управления, фиксации событий и алармов и т.д.

Надеемся, что данное пособие будет полезным не только студентам направления «Автоматизация технологических процессов и производств», но и действующим специалистам АСУТП, занятым в сфере разработки прикладного программного обеспечения и работающим со SCADA-системами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. / В.И. Денисенко. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2009 – 608 с.: ил. - ISBN 978-5-9912-0060-8
2. Trace Mode 6. Руководство пользователя. Интегрированная SCADA/HMI-SOFTLOGIC-MES-EAM-HRM-система для разработки АСУ ТП, АСКУЭ и систем управления производством. 14-е изд. – М.: «AdAstra Research Group», Ltd, 2011. – 619 с. ил.
3. Копелович, А. П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович; ред. А. Л. Малый. - М. : Metallurgizdat, 1960. - 190 с.: ил.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В. Я. Ротач. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 396 с., ил. - ISBN: 978-5-383-00326-8
5. Андреев Е.Б. Программные средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности [Текст]:учеб. пособие для вузов/Е.Б.Андреев, В.Е.Попадько.-М.:ФГУП Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина.Ч.1.-2005.-268с. - ISBN 978-5-8365-0316-1
6. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения: Разработка сложных программных систем: Учебник для вузов.- 3- е изд.- СПб.:Питер,2004.-527с.:ил.-(Учебник для вузов) - ISBN 5-94723-145-X
7. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие для вузов.-СПб.:Профессия, 2009.- 592с. :ил. - ISBN 978-5-93913-176-6
8. Шкромадо А.А. SCADA-системы / А.А. Шкромадо, Р.В. Шестов, А.Н.Бирюков. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 64 с.: ил.
9. Шкромадо А.А. Технические и программные средства комплексной автоматизации / А.А. Шкромадо, Р.В. Шестов, А.Н.Бирюков. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 58 с.: ил.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Порядок выполнения работы.....	4
2. Теоретические сведения.....	4
3. Содержание и выполнение работы.....	24
4. Содержание отчета.....	61
5. Контрольные вопросы.....	62
6. Заключение.....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	64

Практикум

ШКРОМАДО Антон Алексеевич
ШЕСТОВ Руслан Владимирович
БИРЮКОВ Алексей Николаевич

СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Редакторы:

Е. С. Захарова
И. А. Назарова

Подписано в печать 27.02.17 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная
Усл. п. л. 4 Уч.-изд. л. 4
Тираж 100 экз. Рег. № 1/17sf

Федеральное государственное бюджетное образовательное
Учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
Филиал в г. Сызрани, 446001, г. Сызрань, ул. Советская 45