

РЕГУЛЯТОР ВЯЗКОСТИ ЖИДКИХ СРЕД

Г.М. Айрапетьянц, Н.И. Ульянов, С.Н. Адамов, Е.Г. Руденко

Рассмотрены и проанализированы существующие средства контроля вязкости жидких сред. Сформулированы требования к разработке систем контроля состояния жидких сред на базе автоматического вискозиметра. Предложена автоматическая схема регулирования вязкости в потоке на базе микропроцессорной техники, для различных технологических процессов в пищевой и химической отраслях промышленности. Рассчитана экономическая эффективность от внедрения регулятора вязкости в производство.

Введение

Модернизацию и реконструкцию химико-технологических, пищевых и других производств проводят с целью повышения качества и увеличения выпуска продукции, при уменьшении затрат на ее производство. Для решения этой задачи требуется переход на более совершенную технику и технологии, а также на современные системы управления процессами. Современные автоматизированные системы управления имеют в своем составе автоматический контроль качества сырья, компонентов, полупродуктов и продукции. Качество продукции определяется ее составом, физико-химическими свойствами, цветом, вязкостью, прозрачностью, кислотностью и др. В формализованном отображении состояний и свойств реального технологического процесса, его качественных показателей определяющее значение имеют информационно-физические преобразования (датчики), посредством которых измеряется и передается первичная информация.

Для эффективной системы «технологический процесс – управление» необходимо оперативное и своевременное информирование о появлении зарождающихся отклонений. Наличие такой обратной связи позволяет эффективно управлять ходом и параметрами технологического процесса [1].

Вязкость является важным параметром, определяющим химические и физические свойства химических и пищевых продуктов. Во многих случаях вязкость оказывает существенное влияние на качество готовой продукции. Этот параметр контролируется при производстве продуктов питания, растительных масел, а также в химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Существующие средства контроля вязкости жидкостей имеют ряд недостатков, таких как запаздывание передачи информации, габаритная аппаратура, узкий диапазон измерения, большие ошибки измерений и передачи показаний [2].

В представленной работе рассмотрены вопросы автоматического регулирования вязкостью среды в потоке, учитывающие параметры среды (температуру, расход, давление) и обеспечивающие возможность комплексного учета информативных параметров неоднородностей среды с высокой помехозащищенностью передачи информации в аналоговых или цифровых кодах. Это дает возможность ввода информации непосредственно в микропроцессорные комплексы и контроллеры без дополнительных преобразований.

Целью данной работы является разработка программной реализации регулятора динамической вязкости жидких сред, обеспечивающая более высокую разрешаемую способность и надежность функционирования технических средств при автоматизации технологических процессов.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ литературных источников, различных технологических схем показал, что для контроля состояния жидких сред используются различные методы оценки наличия и свойств неоднородных включений в технологически однородную среду. Основными ме-

тодами определения вязкости жидкой среды являются лабораторный, визуальный и автоматизированный [1–3].

На параметры и качество технологических процессов (ТП) пищевых производств оказывают влияние технологические среды, в условиях которой выполняется та или иная операция. При этом параметры такой среды определяются особенностями работы оборудования и текущим ходом всего ТП с его многообразными режимами и спецификой.

Прямые измерения концентрации, приходящиеся на определенный объем жидкости, трудоемки и применяются в лабораторных условиях при научных исследованиях и разработках новых методов и средств. По оценке вязкости сред лабораторными методами устанавливаются фиксированные обобщенные параметры, в которых интегрально проявляются некоторые особенности различных спектрально-энергетических воздействий. Технологические исследования проб позволяют получать текущие данные в определенные интервалы времени, определяемые нормативными требованиями. Но в процессе мониторинга и оперативного контроля необходима первичная информация о текущем состоянии и дифференцированных свойствах среды на различных стадиях производства.

Вискозиметры и вискозиметрические концентратометры предназначены для измерения вязкости в зависимости от концентрации содержащихся в них веществ, а также для оценки физического состояния этих сред [1–3].

Измерение вязкости основано на измерении гидростатического сопротивления потока контролируемой среды при движении относительно чувствительных элементов приборов, а также времени истечения среды через калиброванные отверстия под действием сил тяжести. Вязкость измеряется с помощью различных физических методов.

Наибольшее распространение получили методы измерения, такие как вибрационные низкочастотные основанные на зависимости степени затухания колебаний вибратора, погруженного в контролируемую жидкость, от ее вязкости; шариковый – заключающийся в измерении перемещения чувствительного элемента между двумя фиксированными положениями под действием постоянного возбуждающего усилия; капиллярный, действие которого основано на зависимости динамической вязкости от перепада давления на капиллярной трубке при постоянном расходе анализируемой жидкости, пропускаемой через капилляр.

Метод капиллярной вискозиметрии опирается на закон Пуазейля о вязкости жидкости, описывающий закономерности движения жидкости в капилляре. Формула Пуазейля справедлива для ламинарного потока жидкости, т.е. при отсутствии скольжения на границе жидкость – стенка капилляра. В капиллярном вискозиметре жидкость из одного сосуда под влиянием разности давления истекает в другой сосуд, при этом не все давление пойдет на преодоление вязкого сопротивления жидкости и часть ее будет расходоваться на сообщение жидкости неопределенной кинетической энергии. Поэтому в уравнение Пуазейля необходимо ввести некую поправку на кинетическую энергию, называемую поправкой Хаченбаха.

Метод капиллярной вискозиметрии вполне можно отнести к высокоточному методу вискозиметрии в силу того, что относительная погрешность измерений составляет нескольких процентов, в зависимости от подбора материалов вискозиметра и точности отсчета температуры, давления, а также иных параметров, участвующих в методе капиллярного истечения. Необходимо связать эти параметры и перепад давления измеряемой среды. Эта задача может быть выполнена с помощью ЭВМ и разработки программного обеспечения. Для проведения исследования и разработки программы управления с последующим испытанием системы был выбран технический вискозиметр, разработанный фирмой UNDE для измерения вязкости расплава полиэтилентерефталата. Конструкция представляла собой продуктовый трубопровод, в который была врезана труба меньшего диаметра, как сужающее устройство. На концах этой трубки устанавливаются датчики давления и по разности давления (перепаду) судят о вязкости продукта. Температура расплава и расход корректируются по таблицам, а задание для регулирования каждого параметра вводится

отдельно [4].

Разработка системы регулирования вязкости. При непрерывном производстве синтетического материала следует установить вязкость расплава продукта и сохранять ее постоянство. Непосредственное и немедленное измерение интересующей величины материала невозможно, так что для измерения вязкости проводятся четыре отдельных измерения. Установка желаемой величины вязкости производится пониженным давлением в дегазаторе.

Дополнительно подключенный к дегазатору измерительный участок служит для измерения температуры расплава, давления и перепада давления над отрезком трубы в главном потоке. Четвертой измерительной величиной имеем число оборотов разгрузочного насоса. На рисунке 1 схематически показано регулирование вязкости.

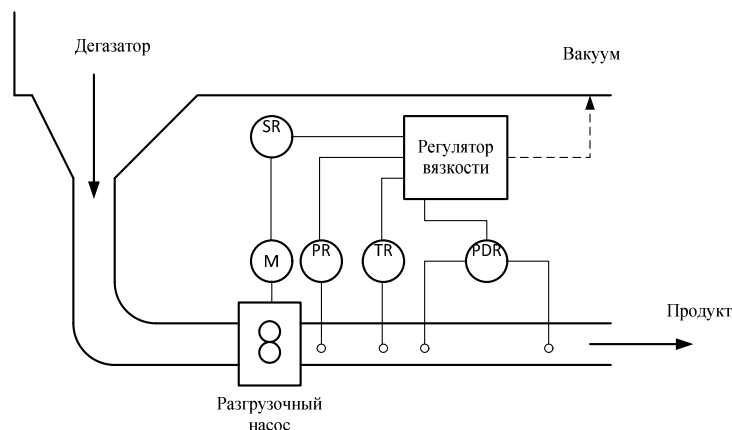


Рисунок 1 – Схема регулирования вязкости

Все четыре величины измерения циклически перерабатываются в регуляторе вязкости для расчета вязкости раствора, и вместе с заданным значением вязкости определяют величину вакуума во впред включенном дегазаторе.

Процесс этого алгоритма расчета и регулирования гибок и поддается воздействию с пульта управления.

Из литературных источников известно, что рабочая вязкость η_B раствора зависит от специфической для данного материала постоянной C' и рабочей температуры T , а именно

$$h_B \sim e^{\frac{C'}{T}} \quad (1)$$

Одновременно существует функциональная связь между η_B и значением вязкости расплава (SV):

$$h_B \sim e^{\left(S_2 SV \frac{1}{EX} \right)} \quad (2)$$

Обобщив эти два уравнения и одновременно включив в них коэффициент пропорциональности, величину SV можно найти следующим образом:

$$SV = \left[\frac{\ln(h_B) + S_1 - \frac{C'}{T}}{S_2} \right]^{EX}, \quad (3)$$

где S_1 – постоянная, ($S_1 = 37,377$);

S_2 – постоянная, ($S_2 = 11,73$);

C' – постоянная, ($C' = 7499$);

EX – постоянная, ($EX = 6,6667$).

Постоянные (S_1, S_2, C', EX) могут использоваться для η_B размерности пуаз и от производственной установки не зависят.

Зависимой от установки является связь между η_B , перепадом давления Δp в отрезке трубы главного трубопровода и протоком F при помощи коэффициента пропорциональности k :

$$h_B = k \frac{\Delta p}{F}. \quad (4)$$

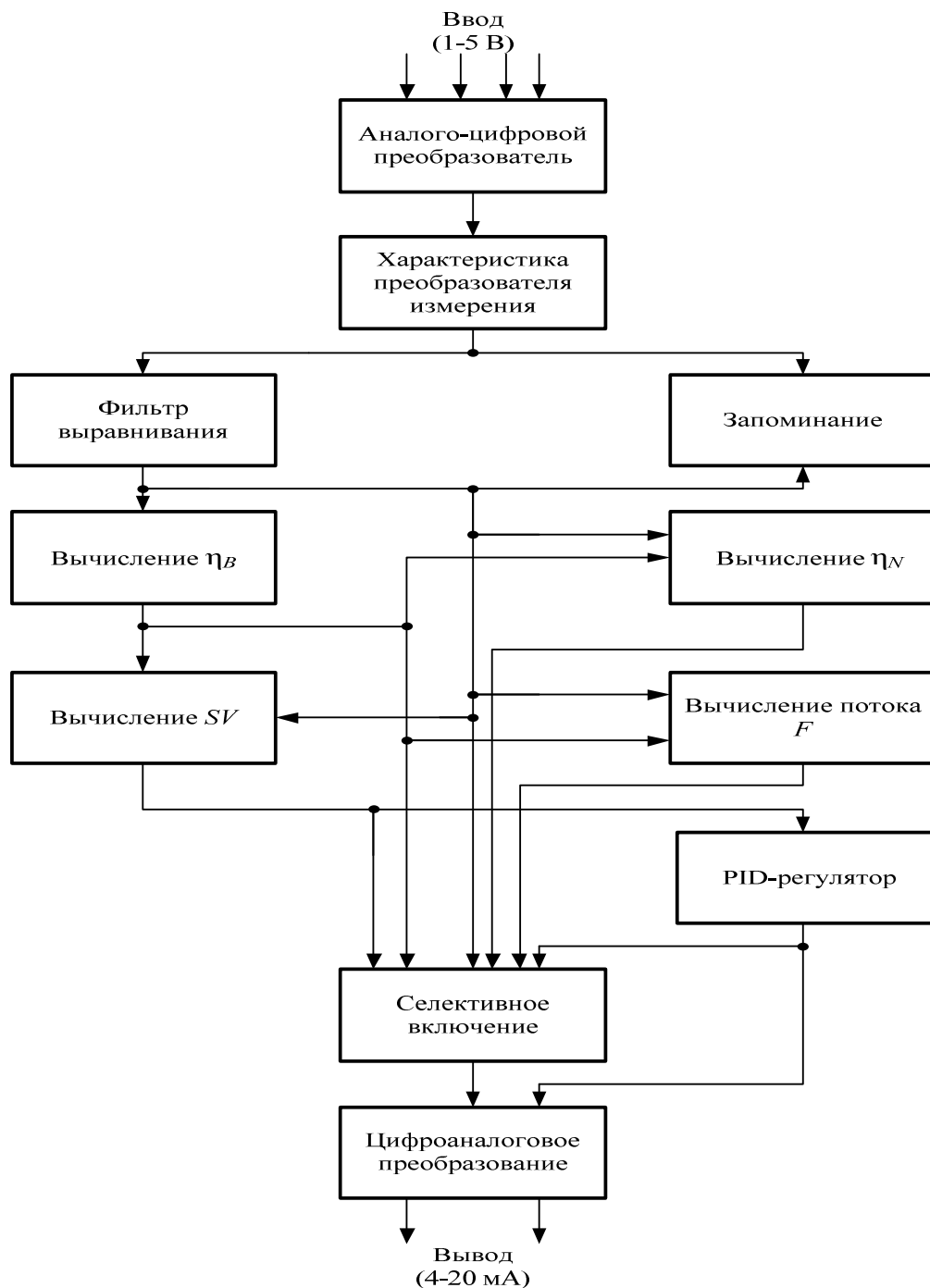


Рисунок 2 – Ход вычисления

При расчете протока F исходят из того, что наряду с зависимой от числа оборотов насоса подачей возникает обратный поток, зависящий от противодействия P на разгрузочной стороне и от вязкости среды η_B .

Обратный поток увеличивается с производительностью насоса:

$$F = aS - b \frac{P}{h_B}. \quad (5)$$

Параметры вычисления a и b зависят от участка измерения (т.е. трубопровода) и разгрузочного насоса и должны определяться на установке.

Обобщение уравнений (4) и (5) дает явное выражение вязкости непосредственными величинами измерения:

$$h_B = \frac{k\Delta p + bp}{aS}. \quad (6)$$

Программная реализация. Приведенный на рисунке 2 процесс вычисления производится циклически, причем продолжительность цикла должна составлять не менее 0,5 секунды.

В то время, как алгоритмическая часть программы протекает на заднем плане, все интересующие измерительные и расчетные величины, включающие некоторые промежуточные результаты, могут опрашиваться с пульта управления регулятора; далее в любое время можно изменить все расчетные и регулировочные параметры, а также все параметры управления.

Ввод аналоговых величин. Измерительными величинами являются число оборотов S , температура расплава T , давление P_1 непосредственно после разгрузочного насоса и давление P_2 вниз по течению в главном потоке. Образование разности $\Delta p = P_1 - P_2$ осуществляется в регуляторе.

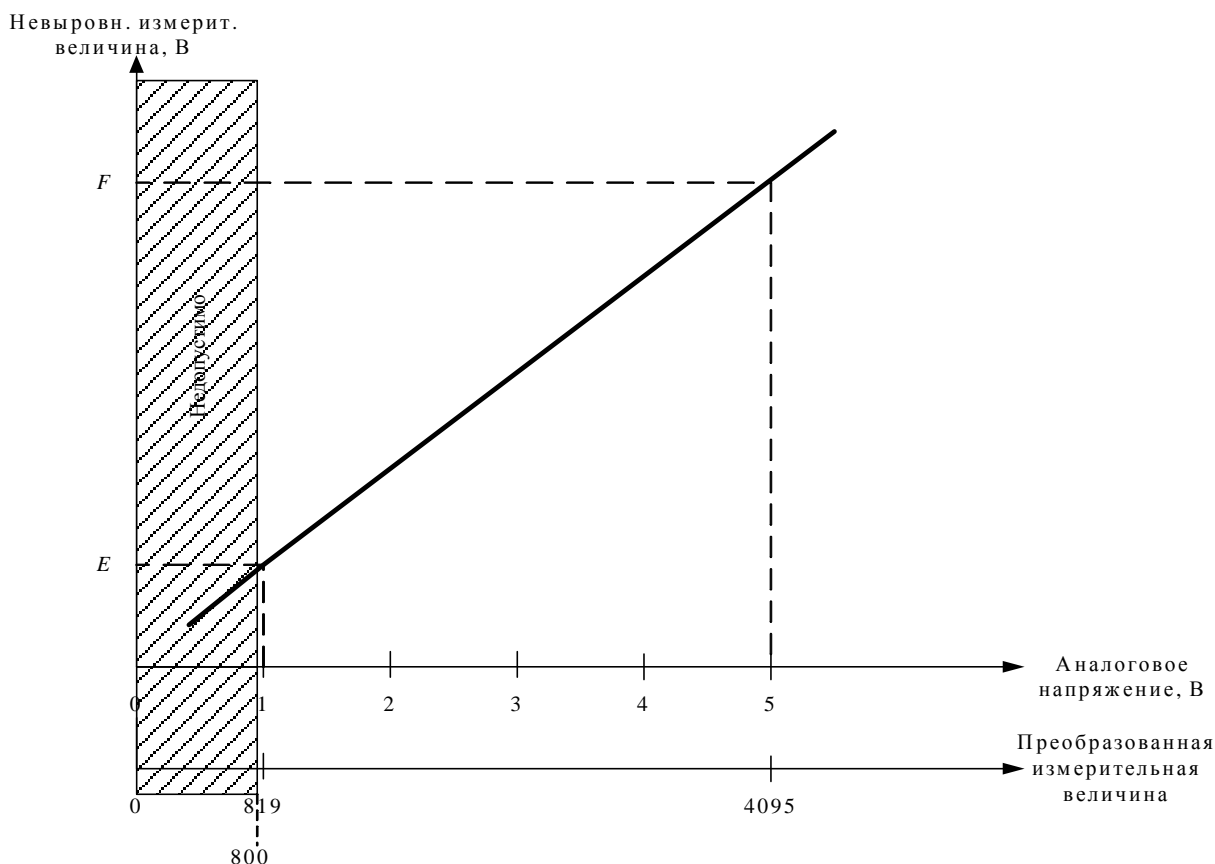


Рисунок 3 – Согласование измерительных величин

Четыре аналоговые измерительные величины в диапазоне напряжения от 1 до 5 В вводятся и подвергаются цифровому преобразованию. Преобразование производится для диапазона напряжения от 0 до 5 В с точностью менее 0,25 % (12 бит). Для получения средней величины используются по четыре величины, введенные в интервале около 100 мкс, подлежащие цифровому выравниванию для дальнейшей обработки. Для этого в программе вычисления реализуется аperiodическое звено 1-го порядка.

На рисунке 3 показано согласование аналогового входного напряжения с размерностными физическими измерительными величинами. Постоянные преобразования E и F могут вводиться или изменяться с пульта управления.

Выдача аналоговой величины. В распоряжении два аналоговых канала выдачи, из которых один постоянно занят регулирующим значением регулятора. Через второй канал можно выбрать одну из девяти вычисленных величин и, например, ввести в самопишущий аппарат. Нормирование соответствующих величин на преобразуемый диапазон чисел от 51 до 255 для 4–20 мА происходит за счет вводимых параметров и показано на рисунке 4. Точность преобразователя (8 бит) составляет не более 0,4 % от окончательного значения, т.е. минимальное приращение тока составляет около 0,08 мА.

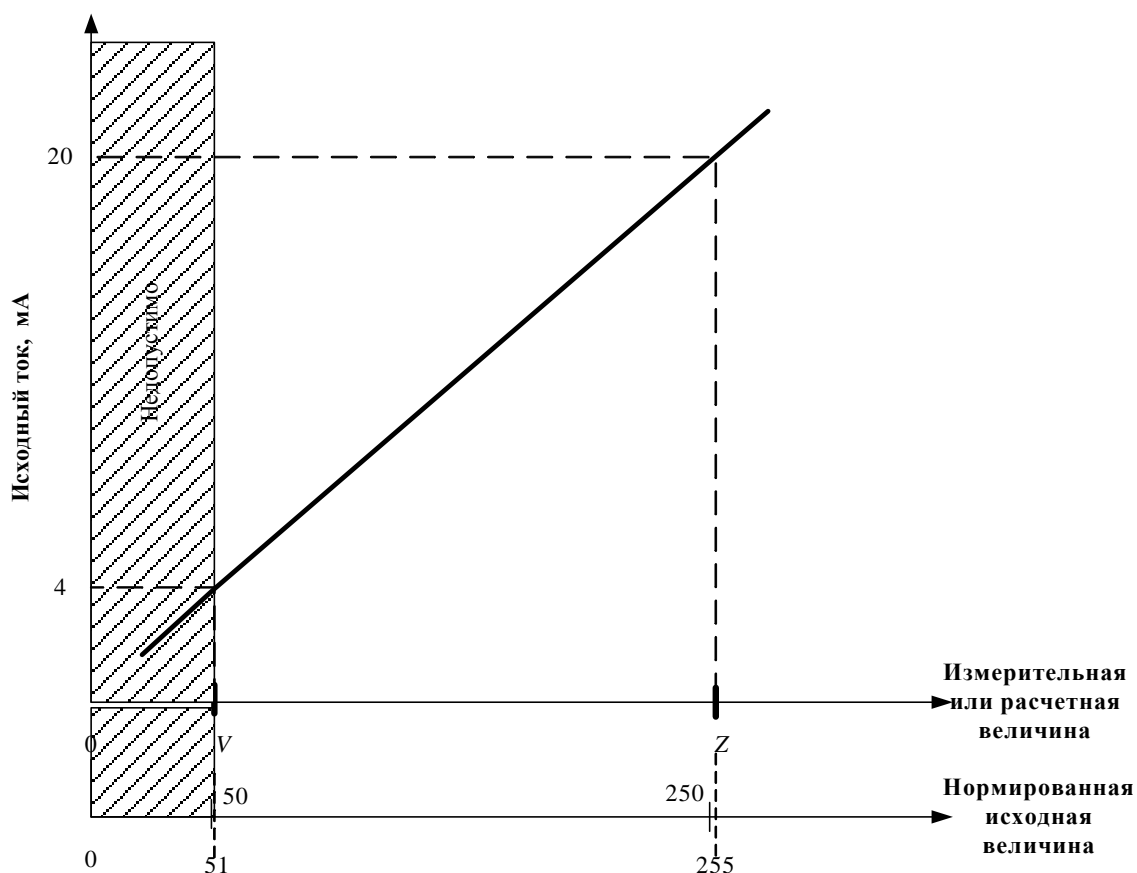


Рисунок 4 – Согласование выходной величины

Регулирование. Для регулирования реализуется алгоритм PID:

$$y = k_p \left[x_w + \frac{1}{T_I} \int x_w dt + T_D \left(\frac{dx_w}{dt} \right) \right], \quad (7)$$

где x_w – величина рассогласования.

Дифференциальная составляющая воздействует с запаздыванием, в то время как усиление упреждения $T_D/T_I = 10$ установлено неизменно. Регулировочные параметры k_p , T_I , T_D

так же, как и заданное значение, могут быть изменены.

Во время автоматического регулирования границы установочной величины сужаются за счет задаваемых ограничений установочных величин u_{\min} и u_{\max} . Однако ограниченный диапазон может быть покинут в том случае, если уже из пропорциональной составляющей $k_p x_w$ исходит установочная величина, находящаяся вне этого диапазона. Таким образом, регулятор имеет внутри диапазона динамику PID в то время, как он вне этого диапазона превращается в пропорциональный регулятор. Интегральная насыщенность на границах рабочей зоны исполнительного органа при повторном входе в допустимый диапазон не приводит ни к каким временным замедлениям.

Автоконтроль и исчезновения напряжения. Регулятор вязкости постоянно подлежит циклическому контролю, при котором требуется функциональное, целесообразное протекание программы. Отклонения от контрольного цикла примерно через 10 секунд вызывают сигнал, испускаемый за счет беспотенциального контакта. Такой же сигнал вызывается в том случае, если хотя бы одна из введенных измеряемых величина ниже 1 В.

В случае исчезновений напряжения существующий в данный момент уровень программы замораживается и при появлении вновь продолжается. Кратковременные исчезновения напряжения тем самым не вредны и для информации могут считываться с пульта управления. Следует следить за тем, чтобы сигнал на аналоговых выходах во время исчезновения напряжения был 0 мА.

Экономическая эффективность. Экономическая эффективность характеризуется соотношением экономического эффекта, полученного в течение года, и затрат, обусловленных внедрением данного мероприятия.

Срок окупаемости внедрения регулятора вязкости (T_p):

$$T_p = \frac{K}{\mathcal{E}_2},$$

где K – капитальные затраты на создание регулятора вязкости, (21863 млн р.).

\mathcal{E}_2 – годовой экономический эффект от внедрения регулятора вязкости.

Годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E} - \mathcal{E}_o - KE_n,$$

где \mathcal{E} – суммарная экономия от улучшения качества продукта в результате внедрения регулятора вязкости ($\mathcal{E} = 28332,5$ млн р.);

\mathcal{E}_o – дополнительные текущие затраты, связанные с обслуживанием и эксплуатацией регулятора вязкости ($\mathcal{E}_o = 11382,5$ млн р.);

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности ($E_n = 0,15$).

Годовой экономический эффект от внедрения регулятора вязкости составит

$$\mathcal{E}_2 = 28332,5 - 11382,5 - 21863 \cdot 0,15 = 13670,55 \text{ млн р.}$$

Срок окупаемости внедрения регулятора вязкости:

$$T_p = \frac{21863}{13670,55} = 1,6.$$

Таким образом, внедрение регулятора вязкости в производство полиэтилентерефтолата даст годовой эффект в сумме 13670,55 млн рублей и окупится через 1,6 года.

Внедрение регулятора вязкости позволяет поддерживать постоянство вязкости расплава продукта и стабилизировать ее во времени.

Эти системы могут успешно применяться в автоматизированной системе управления технологическими процессами пищевой и химической промышленности.

Заключение

В результате проведенных исследований разработана программная реализация регулятора динамической вязкости жидких сред, обеспечивающая более высокую разрешаемую способность, а также реализующая систему считывания, которая ускоряет обработку первичной информации, повышает точность измерения и надежность функционирования технических средств. Многопараметровая коррекция измерения вязкости обеспечивает эффективную структурно-алгоритмическую реализацию операционных преобразований и дистанцирование первичной информации.

Проведенный технико-экономический анализ показал целесообразность применения данного регулятора при производстве полиэтилентерефталата.

Литература

- 1 Голубев, Н.Ф. Вязкость газов и газовых смесей / Н.Ф. Голубев. – М.: Физматгиз, 1979. – 405 с.
- 2 Малкин, А.Я. Вискозиметрия /А.Я. Малкин, А.Е. Чалых. – М.: Химия, 1982. – 237 с.
- 3 Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
- 4 Автоматический регулятор: а.с. 964580 СССР, М.Кл³, G 05 В 11/36 / Айрапетьянц Г.М., Алексеенко А.Г., Новосельский А.В., Лебедев В.Д.; Белорусский технологический институт. - № 3240595, заяв. 30.12.1980; опуб. 07.10.82 // Открытия, изобретения 1982. – № 37 – С. 6.

Поступила в редакцию 03.03.2016