

ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА,
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И СВЯЗЬ

ELECTRONICS, PHOTONICS,
INSTRUMENT MAKING
AND COMMUNICATIONS

УДК 5.015:519.876.5

DOI: 10.17212/2782-2001-2026-2-133-145

Определение неточности в моделировании системы управления уровнем нефти по методу Крейнвича*

А. МИШРА^а, В.В. ПОТЕХИН^б

РФ, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, лит-Б, Институт компьютерных наук и кибербезопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

^а *Mishra.A@edu.spbstu.ru* ^б *Slava.Potekhin@spbstu.ru*

В настоящее время более 95 % автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) промышленных установок в мире основаны на применении ПИД-регуляторов. Для проектирования и применения настроек ПИД-регуляторов применяется моделирование проектируемых систем, т. е. моделирование объекта управления и исполнительного механизма самой системы. Моделирование частей системы управления, таких как объект управления, исполнительный механизм и другие, основывается на законах физики, например законах сохранения массы, энергии и количества движения. В результате моделирования определяется передаточная функция. Используя передаточные функции компонентов системы управления и определенные на их основе настройки ПИД-регулятора, возможно проектировать временные и частотные характеристики системы управления и оценивать качество регулирования системы как характеристики временного и постоянного состояния. Для математического моделирования системы управления необходимо точное измерение различных физических параметров системы. Возникновение погрешности в измерении этих параметров может повлиять на точность математического моделирования, а затем и на определение настроек ПИД-регулятора. Однако применение ПИД-регулятора с подобными настройками не сможет обеспечить требуемые параметры регулирования. Существуют различные методы оценки неисправности в математическом моделировании системы управления, такие как метод Монте-Карло, метод Крейнвича и др. В настоящей статье проведено математическое моделирование системы автоматизированного управления уровнем нефти в резервуаре и определение неисправности в моделировании объекта управления данной системы. Описан алгоритм для определения неисправности в моделировании объекта управления представленной управляющей системы на основе метода Крейнвича.

Ключевые слова: объект управления, передаточная функция, неопределенность измерения, программно-аппаратное решение, идентификация управляющей системы, ПИД-регулятор, метод Крейнвича

* *Статья получена 19 февраля 2026 г.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время автоматизированные системы управления технологическими процессами, поддерживающие различные параметры в безопасном диапазоне, играют неоспоримую роль в эксплуатации любой промышленной установки [1]. На данный момент более 95 % промышленных АСУ ТП разработаны на основе ПИД-регуляторов и/или их модификаций [2]. ПИД-регуляторы являются эффективными для регулирования физических параметров в реальном времени: температуры, давления и др. Универсальная структура таких регуляторов позволяет добиться приемлемых результатов применительно к широкому классу объектов низкого порядка [3].

Такие регуляторы широко используются, благодаря своей эффективности и понятности для технического персонала, не имеющего глубоких знаний в теории автоматического управления [4]. Любая система управления состоит из объекта управления, исполнительного механизма, управляющего устройства и блока измерительных устройств (рис. 1).

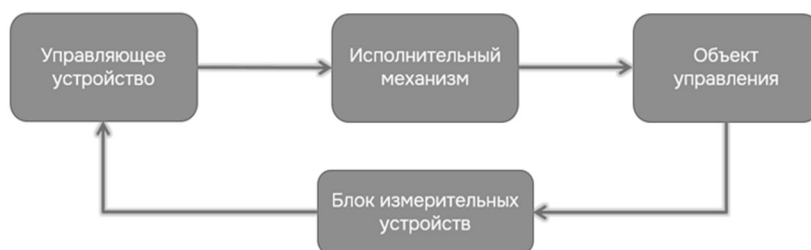


Рис. 1. Схема системы управления

Fig. 1. I&C system diagram

Система управления, рассматриваемая в настоящей статье, предназначена для контроля уровня жидкости в резервуаре. Как правило, в такой системе в качестве исполнительного механизма применяется регулируемый клапан.

ПИД-регуляторы состоят из пропорциональной, интегральной и дифференциальной частей. Управляющее воздействие принимается на основе обратной связи, полученной от измерительных устройств.

Настройки ПИД-регулятора, т. е. значения коэффициентов пропорциональной, интегральной и дифференциальной частей, значительно влияют на качество регулирования, поэтому для разработки системы управления необходимо отобразить принцип ее работы и входящие в нее компоненты на уровне структурной схемы [5].

Моделирование системы зависит от физических параметров: сечения регулирующего клапана, площади поверхности среды (хранилища рабочей жидкости – нефти), номинального уровня рабочей жидкости и др. Эти параметры определяются путем прямого или косвенного измерения.

Все измерения величин включают в себя погрешность из-за различных факторов: наличия системных ошибок при проведении измерений, воздействия окружающей среды и т. п. Очевидно, что при возникновении погрешности в измерении требуемых параметров для моделирования систем управления возникнет неопределенность в процессе моделирования объекта управления.

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ЖИДКОСТИ

В различных расчетах и анализе физических систем математическое моделирование играет важную роль. Как правило, реальные системы обладают динамическими характеристиками, и их действия можно представить, используя дифференциальные уравнения.

Линеаризация нелинейных систем проводится путем преобразования Лапласа, затем определения их передаточной функции, на основе которых определяются временно-частотные характеристики и степень устойчивости системы.

Все физические системы работают согласно фундаментальным законам физики: закону сохранения массы, закону сохранения количества движения и закону сохранения энергии. Математическое моделирование системы проводится при рассмотрении баланса физических явлений в системе [6].

В рассматриваемой системе (рис. 2) управления уровнем жидкости объект управления (уровень жидкости) моделируется на основе закона сохранения массы. Уравнение массы представлено путем баланса расхода между притоком (M_e) и стоком (M_a) [7]:

$$M_a = \alpha \rho S_k \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где α – коэффициент расхода клапана, ρ – плотность рабочей жидкости (нефти) (кг/м^3), S_k – площадь сечения регулирующего клапана (м^2), H – номинальный уровень (м).

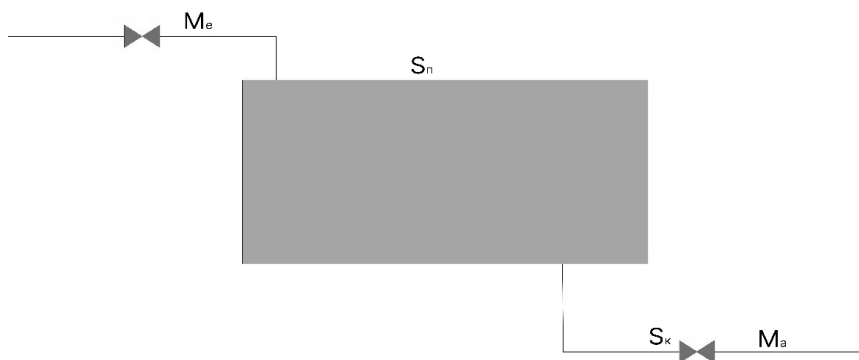


Рис. 2. Схема системы управления уровнем жидкости

Fig. 2. Diagram of liquid control system

Зависимость изменения массы жидкости (ΔM) от изменения ее объема (ΔV) описывается следующими выражениями:

$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

$$V = S_{\Pi} H, \quad (3)$$

S_{Π} – площадь поверхности среды (резервуара) (м^2),

Для незначительных изменений объема уровня (ΔH) соответствующее изменение наполнения определяется выражением

$$dm = \rho dV \approx \rho S_{\Pi} \Delta H. \quad (4)$$

Учитывая выражения (1), (3) и (4), получим

$$\rho S_{\Pi} \Delta H' = \Delta M_e - \Delta M_a. \quad (5)$$

Выражение (1) после линеаризации преобразуется:

$$\Delta M_a = \alpha \rho \sqrt{2gH} \cdot \Delta S_k + \alpha \rho S_k \sqrt{\frac{g}{2H}} \cdot \Delta H. \quad (6)$$

Поставив выражение (6) в (5), получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\rho S_{\Pi} \Delta H' + \alpha \rho S_{\Pi} \sqrt{\frac{g}{2H}} \cdot \Delta H = \Delta M_e - \alpha \rho \sqrt{2gH} \cdot \Delta S_k. \quad (7)$$

Выражение (7) носит нелинейный характер, и для его линеаризации необходимо использовать преобразование Лапласа:

$$\Delta H = \left(\frac{\sqrt{2H}}{\rho S_{\Pi} \sqrt{2H} \cdot s + \alpha \rho S_k \sqrt{g}} \right) \Delta M_e - \left(\frac{\alpha \rho \sqrt{g} \cdot 2H}{\rho S_{\Pi} \sqrt{2H} \cdot s + \alpha \rho S_k \sqrt{g}} \right) \Delta S_k, \quad (8)$$

где s – оператор Лапласа.

В выражении (8) получаются две передаточные функции, представляющие зависимость изменения уровня жидкости от изменения притока (ΔM_e) и от изменения сечения регулирующего клапана (ΔS_k), т. е.

$$\Delta H = W_{\Delta M_e \rightarrow \Delta H}(s) \Delta M_e - W_{\Delta S_k \rightarrow \Delta H}(s) \Delta S_k. \quad (9)$$

Так как в статье рассматривается система управления уровнем жидкости, использующая регулируемый клапан в качестве исполнительного механизма, в данном случае рассматривается передаточная функция $W_{\Delta S_k \rightarrow \Delta H}(s) \Delta S_k$:

$$W_{\Delta S_k \rightarrow \Delta H}(s) = \left(\frac{\alpha \rho 2H \sqrt{g}}{\rho S_{\Pi} \sqrt{2H} \cdot s + \alpha \rho S_k \sqrt{g}} \right). \quad (10)$$

Передаточную функцию (10) можно представить следующим образом:

$$W_{\Delta S_k \rightarrow \Delta H}(s) = \frac{\frac{\alpha \rho 2H \sqrt{g}}{\alpha \rho S_{\Pi} \sqrt{g}}}{\left(\frac{\rho S_{\Pi} \sqrt{2H}}{\alpha \rho S_k \sqrt{g}} \right)^s + 1}. \quad (11)$$

В выражении (11) коэффициент усиления и постоянную времени можно представить следующим образом:

$$K = \frac{2H}{S_k}, \quad (12)$$

$$T = \frac{S_{\Pi}}{\alpha S_k} \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (13)$$

Перед началом моделирования системы необходимо учесть основные характеристики исполнительного механизма и объекта управления [8]. В настоящем исследовании используются значения физических параметров, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Значения физических параметров в исследуемой системе управления
Physical parameters of the control system

Номинальный уровень (H)	1 м
Ускорение свободного падения (g)	9,8 м/с ²
Сечение регулирующего клапана	1,13 м ²
Площадь поверхности среды (резервуара)	36 м ²
Коэффициент расхода клапана (α)	1
Рабочее давление	1,6 МПа

Подставив значения, указанные в табл. 1, получим следующие значения коэффициента усиления и постоянной времени:

$$K = \frac{2H}{S_k} = 1,76; \quad (14)$$

$$T = \frac{S_{\Pi}}{\alpha S_k} \sqrt{\frac{2H}{g}} = 14,39. \quad (15)$$

Используя полученные значения коэффициента усиления и постоянной времени, можно получить следующую передаточную функцию:

$$W_{\Delta S_k \rightarrow \Delta H}(s) = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{1,76}{14,39s + 1}. \quad (16)$$

Таким образом, для дальнейшей реализации системы управления получена передаточная функция объекта управления (уровня жидкости), определяющая зависимость уровня от степени открытия регулирующего клапана.

2. РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Расчет неопределенности в моделировании исследуемой системы управления проводится путем определения погрешности в моделировании объекта управления. Допуски измерения физических параметров, необходимых для определения передаточной функции объекта управления (16), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Допуски измерения физических параметров
Tolerances of physical parameters

Значение	Допуск
Номинальный уровень (Δ_1)	± 6 мм
Сечение регулирующего клапана (Δ_2)	0,015 м ²
Площадь поверхности среды (Δ_3)	0,072 м ²

Существуют различные методы определения неопределенности в моделировании на основе погрешности в измерении различных параметров (например, метод Монте-Карло [9], метод Крейнвича [10, 11] и др.). В настоящей статье рассматривается метод Крейнвича на основе рандомизации.

2.1. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПО МЕТОДУ КРЕЙНВИЧА

Шаг 1. Сформирован массив данных из 300 случайных чисел, распределенных по методу Коши вокруг номинального уровня (H), площади сечения клапана (S_k) и площади поверхности среды (S_n) (рис. 3).

Генерация массивов

```
# Time to generate the random numbers as per Cauchy distribution
# N = 300
# scale parameter k = 0.001
np.random.seed(96)
# Generate an array of 300 uniformly distributed random numbers between 0 and 1
z = np.random.uniform(0,1,300)
k = 0.0001
H = 1
Sk = 1.13
Sp = 36
cauchy_height_array = np.zeros(300)
cauchy_valve_area_array = np.zeros(300)
cauchy_tank_area_array = np.zeros(300)
# fill the height array
for i in range(0,300):
    cauchy_height_array[i] = H + k*np.tan(math.pi*(z[i]-0.5))
# fill the valve area array
for i in range(0,300):
    cauchy_valve_area_array[i] = Sk + k*np.tan(math.pi*(z[i]-0.5))
# fill the tank area array
for i in range(0,300):
    cauchy_tank_area_array[i] = Sp + k*np.tan(math.pi*(z[i]-0.5))
```

Рис. 3. Генерация массивов из случайных чисел

Fig. 3. Generation of arrays with random values

Шаг 2. Сформирован массив из 300 чисел, распределенных по методу Коши для постоянной времени (T) и коэффициента усиления (K), поставлено каждое значение массивов номинального уровня, сечения клапана и площади поверхности среды на основе выражений (14) и (15).

Шаг 3. Определены параметры масштаба массивов чисел вокруг постоянной времени и коэффициента усиления передаточной функции (16) методом бисекции (рис. 4–6). Полученные параметры масштаба являются отклонениями в определении коэффициента усиления и постоянной времени.

```
def bisection_method_calculation (array, N, start_point, end_point):
    """
    Данная функция принимает массив (array) и размер массива (N)
    и вычисляет  $\sum(1-300)(d^2/d^2+de1_yj^2) - N/2$ 
    принимая значения start_point и end_point для d
    """
    sum1=0
    sum2=0
    sum3=0
    if (end_point>start_point):
        #print("End point and start points are valid, we can proceed")

        mid_point =(start_point + (end_point - start_point)/2)
        for i in range (0,N):
            sum1 = sum1 + (start_point**2/(start_point**2+(array[i]**2)))
            sum2 = sum2 + (mid_point**2/(mid_point**2+(array[i]**2)))
            sum3 = sum3 + (end_point**2/(end_point**2+(array[i]**2)))

    else:
        print("Invalid start and end point. Please try again with different values")
    return(sum1-N/2, sum2-N/2, sum3-N/2)
```

Рис. 4. Вычисление параметра масштаба в распределении Коши

Fig. 4. Calculation of the scale of Cauchy's distribution

```

start = start_point
end = end_point
mid = (start + (end - start)/2)
(res1, res2, res3) = bisection_method_calculation(array, N, start, end)
while (abs(res1)>=(10**-15) or abs(res2)>=(10**-15) or (abs(res3)>=(10**-15))):
    # None of the results are 0
    if (res1<0 and res2 >0 and res3 >0):
        # Sign change between start and mid points
        end = mid
        (res1, res2, res3) = bisection_method_calculation(array, N, start, end)
        mid = (start + (end - start)/2)
    elif (res1<0 and res2 < 0 and res3 >0):
        # Value changes between mid and end-point
        start = mid
        (res1,res2,res3) = bisection_method_calculation(array, N, start, end)
        mid = (start + (end - start)/2)
    else:
        print("We have reached a break point and might have a solution")
        print(f"{{res1,res2,res3}}")
        print(f"{{start,mid,end}}")
        if (res1==0 or res2==0 or res3==0):
            print("We have a proper solution with one of the solutions being 0")
            if (res1==0):
                print(f"Параметр масштаба: {start}")
                return start
            elif(res2==0):
                print(f"Параметр масштаба: {mid}")
                return mid
            elif(res3==0):
                print(f"Параметр масштаба: {end}")
                return end
        else:
            print("We don't have a proper solution but we have a break point")
            if (np.min(res1,res2,res3)==res1):
                print(f"Параметр масштаба: {start}")
                return start
            elif (np.min(res1,res2,res3)==res2):
                print(f"Параметр масштаба: {mid}")
                return mid
            elif (np.min(res1,res2,res3)==res3):
                print(f"Параметр масштаба: {end}")
                return end
            break

        break
    else:
        print("We might have a solution")
        print(f"{{res1,res2,res3}}")
        if (np.min(res1,res2,res3)==res1):
            print(f"Параметр масштаба: {start}")
            return start
        elif (np.min(res1,res2,res3)==res2):
            print(f"Параметр масштаба: {mid}")
            return mid
        elif (np.min(res1,res2,res3)==res3):
            print(f"Параметр масштаба: {end}")
            return end

```

Рис. 5. Дополнительная логика для вычисления параметра масштаба

Fig. 5. Additional logic of scale calculation

```
[14]: bisection_method_logic(delta_k_array, 300, 0, 1) #delta_k_array
We might have a solution
(-2.842170943040401e-14, 5.684341886080802e-14, 8.526512829121202e-14)
Параметр масштаба: 0.009936153988085908

[15]: bisection_method_logic(delta_T_array, 300, 0, 1) #delta_T_array
We have reached a break point and might have a solution
(-1.4210854715202004e-13, 0.0, 5.684341886080802e-14)
(0.0021605155623999894, 0.002160515562399991, 0.002160515562399993)
We have a proper solution with one of the solutions being 0
Параметр масштаба: 0.002160515562399991

[ ]:
```

Рис. 6. Определение параметров масштаба распределения коэффициента передачи и постоянной времени

Fig. 6. Calculation of the scale of transmission ratio and time constant distribution

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

По методу Крейновича для системы управления уровнем нефти были определены следующие значения отклонений в коэффициенте усиления и постоянной времени: $0,009936 \text{ м}^{-1}$ и $0,0021605 \text{ с}$ в процессе математического моделирования передаточной функции объекта управления данной системы.

Определенные погрешности в постоянной времени и коэффициенте передачи влияют на ПИД-регулирование, ухудшая степень перерегулирования на $\sim 0,1 \%$ (рис. 7).

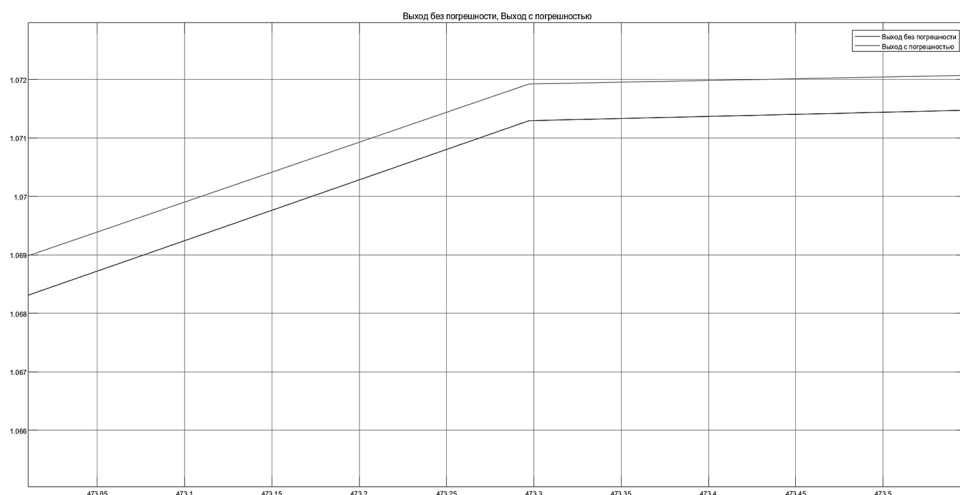


Рис. 7. Влияние определенной погрешности на ПИД-регулирование

Fig. 7. Effect of the calculated inaccuracy on PID regulation

Из полученных результатов видно, что возникает погрешность в вычислении передаточной функции. Как правило, точность настроек ПИД-регулятора зависит от точности предоставленных основных параметров системы. Важно

понимать, что параметры системы предоставляются с некоторыми погрешностями и могут носить стохастический характер, что неизбежно скажется на возникновении погрешностей в настройках ПИД-регулятора. Это не позволит достичь оптимального качества регулирования.

В настоящее время существует множество методов настройки [12, 13], расчета и оптимизации [14] параметров ПИД-регулятора. Однако в рамках исследуемой тематики универсальной методики их синтеза пока не существует.

Типовые ПИД-регуляторы не всегда обеспечивают заданное качество работы при условиях изменения параметров самого объекта со временем или из-за влияния внешних факторов. В настоящее время большинство объектов управления обладают нестационарными характеристиками, что оказывает значительное влияние на работу ПИД-регуляторов [15]. Оптимизация систем и настроек ПИД-регуляторов зависит от требуемых качеств регулирования [16]. Ошибки в определении передаточной функции могут не позволить достичь целей оптимизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и идентификация управляющей системы, представленной в данной работе ПИД-регулятором, с применением прогрессивных программно-аппаратных решений позволяет улучшить качество оценки и регулирования параметров объекта, а именно уровня рабочей жидкости, что способствует снижению времени перерегулирования и нормализации состояния.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в математическом моделировании представленной системы управления возникает неисправность из-за погрешности в измерении ее физических параметров. Такая погрешность в идентификации системы может привести к применению достаточно грубых настроек ПИД-регуляторов. Исходя из этого использование переменных коэффициентов ПИД-регуляторов в зависимости от разницы между уставкой и реальным выходным значением может быть более эффективным в условиях работы промышленных систем управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусство роботехники: проектирование и управление манипуляторами / П.К. Смирнов, Д.Н. Мосичкин, В.В. Потехин, Е.И. Карасева // Морской вестник. – 2023. – № 4. – С. 107–109.
2. Воробьев В.Ю., Саблина Г.В. Расчет и оптимизация параметров ПИД-регулирования методом Циглера–Никольса // Автоматика и программная инженерия. – 2019. – № 1. – С. 9–14.
3. Миллер Ю.В., Саблина Г.В. Модель оценки надежности электроэнергетических систем при долгосрочном планировании их работы // Электричество. – 2000. – № 11. – С. 17–24.
4. Ермолаев Е.С., Хафизов А.М. Автоматизированная настройка ПИД-регулятора для регулирования температурного режима модели колонны // Наука. Технология. Производство – 2023: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию ООО «Газпром нефтехим Салават». Ч. 2. – Уфа, 2023. – С. 140–142.
5. Барсуков А.А. Система ПИД-регулирования частоты электродвигателя // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: материалы Международной научно-практической конференции, Вологда, 25 апр. 2018. В 2 ч. Ч. 1. – Вологда, 2018. – С. 15–17.
6. Кристиан К.Т. Разработка и моделирование системы управления для устройства на базе ПТК ППТС ВВЭР-1000 // Актуальные вопросы современной науки и инноватики: сборник научных

статей по материалам III Международной научно-практической конференции, Уфа, 05 дек. 2023 г. Ч. 1. – Уфа, 2023. – С. 7–23.

7. *Мью Я.Н.* Разработка и моделирование системы управления ТКС13 на базе ПТК ТПТС ВВЭР-1000 // IX Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий», Москва, 26–28 апреля 2022 г.: сборник тезисов докладов. – М., 2022. – С. 82–84.

8. Разработка и создание системы управления глубоководным гидравлическим манипулятором МГМ-7 с прототипированием на основе полунатурной модели с электрическим приводом. Ч. 1 / В.В. Потехин, П.К. Смирнов, П.Г. Федоров, Е.А. Черкашин // Морской вестник. – 2023. – № 1. – С. 95–96.

9. *Carobbi C.* The GUM Supplement 1 and the Uncertainty evaluations of EMC Measurements // IEEE EMC Society Newsletter. – 2010. – Iss. 225. – P. 53–57.

10. *Семенов К.К., Абрамов А.Б.* Сравнение методов предела погрешности результатов обработки неточных данных // Юбилейные чтения, посвященные научной школе измерительных информационных технологий. – СПб., 2020. – С. 102–116.

11. *Крейнович В.Я., Павлович М.И.* Оценка погрешности результата косвенных измерений с помощью вычислительного эксперимента // Измерительная техника. – 1985. – № 3. – С. 11–13.

12. *Востриков А.С., Французова Г.А.* Синтез ПИД-регуляторов для нелинейных нестационарных объектов // Автометрия. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 53–60.

13. *Денисенко В.В.* ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 1 // СТА: Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66–74.

14. Сравнительный анализ методов оптимизации регуляторов с использованием программных средств VisSim и MATLAB / А.А. Воевода, В.А. Жмудь, А.Н. Заворин, О.Д. Ядрышников // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 9. – С. 37–43.

15. *Надеждин И.С., Горюнов А.Г., Манети Ф.* Системы управления нестационарным объектом на основе МРС-регулятора с нечеткой логикой // Управление большими системами. – 2018. – № 75. – С. 50–75.

16. *Ефимов С.В., Курганкин В.В., Замятин С.В.* Проектирование передаточных функций с требуемыми прямыми показателями качества на базе преобразований Лапласа // Автометрия. – 2014. – Т. 50, № 4. – С. 34–40.

Мишра Анишуман, аспирант 3-го курса, ассистент Высшей школы управления киберфизическими системами Института компьютерных наук и кибербезопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Имеет печатные работы в российских и зарубежных изданиях. E-mail: Mishra.A@edu.spbstu.ru

Потехин Вячеслав Витальевич, кандидат технических наук, доцент Высшей школы управления киберфизическими системами Института компьютерных наук и кибербезопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Имеет более 100 печатных работ. E-mail: Slava.Potekhin@spbstu.ru

Mishra Anshuman, 3rd year PhD student, assistant professor at the School of Cyber-Physical Systems, Institute of Computer Sciences and Cybersecurity, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. He has several publications in Russian and International journals. E-mail: Mishra.A@edu.spbstu.ru

Potekhin Vyacheslav V., PhD (Eng.), associate professor of School of Cyber-Physical Systems, Institute of Computer Sciences and Cybersecurity, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. He has more than 100 publications. E-mail: Slava.Potekhin@spbstu.ru

Inaccuracies in mathematical modelling of an oil level control system by the Kreinovich method*

A. MISHRA^a, V.V. POTEKHIN^b

Institute of Computer Sciences and Cybersecurity. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29-B Politekhnicheskaya Street, St. Petersburg, 195251, Russian Federation

^a Mishra.A@edu.spbstu.ru ^b Slava.Potekhin@spbstu.ru

Abstract

Currently, more than 95 % of the automated process control systems of industrial installations worldwide are based on the use of PID controllers. For the design and application of PID controllers, it is necessary to use mathematical models of control systems, i.e. modeling of the control object and the system actuator. Modeling of parts of a control system, such as the control object, the actuator etc., is based on the laws of physics such as the law of conservation of mass, the law of conservation of energy, and the law of conservation of motion. As a result of the modelling, the transfer function is determined. Using the transfer functions of the control system components and the PID controller settings determined on their basis, it is possible to design the time and frequency characteristics of the control system and evaluate its regulation quality like transient and steady-state characteristics. For mathematical modeling of the control system, accurate measurement of various physical parameters of the system is necessary. The occurrence of inaccuracy in measuring these parameters can affect the mathematical modeling and then the determination of the PID controller settings. The use of a PID controller, with settings determined using sloppy mathematical modeling, may not provide the desired control qualities. There are various methods like the Monte Carlo method and the Kreinovich method for fault estimation in mathematical modeling of a control system. In this article, the mathematical modeling of the oil level control system in the tank and the determination of a malfunction in the modeling of the control object of this system is carried out. An algorithm for determining a malfunction in the simulation of a system control object based on the Kreinovich method is described.

Keywords: control system, inaccuracy, control object, transfer function, inconsistencies in measurement, hardware and software solutions, control system identification

REFERENCES

1. Smirnov P.K., Mosichkin D.N., Potekhin V.V., Karaseva E.I. Isskustvo robototekhniki: proektirovanie i upravlenie manipulyatorami [The art of robotics: design and control of manipulators]. *Morskoi vestnik = Marine Bulletin*, 2023, no. 4, pp. 107–109.
2. Vorobyov V.Yu., Sablina G.V. Raschet i optimizatsiya parametrov PID-regulirovaniya metodom Tsiglera–Nikol'sa [Calculation and optimization of parameters of the discrete PID-controller by the Ziegler–Nichols method]. *Avtomatika i programnaya inzheneriya = Automatics and Software Engineering*, 2019, no. 1, pp. 9–14.
3. Miller Yu.V., Sablina G.V. Model' otsenki nadezhnosti elektroenergeticheskikh sistem pri dolgosrochnom planirovanii ikh raboty [A model for assessing the reliability of electric power systems in the long-term planning of their operation]. *Elektrichestvo = Electricity*, 2000, no. 11, pp. 17–24.
4. Ermolaev E.S., Khafizov A.M. [Automated adjustment of the PID controller for regulating the temperature regime of the column model]. *Nauka. Tekhnologiya. Proizvodstvo – 2023* [Nauka. Technology. Production – 2023]. Materials of the All-Russian Scientific Conference. Ufa, 2023, pp. 140–142. (In Russian).
5. Barsukov A.A. [The system of PID frequency control of the electric motor]. *Nauka segodnya: global'nye vyzovy i mekhanizmy razvitiya* [Science today: global challenges and development mechanisms]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Pt. 1. Vologda, 2018, pp. 15–17. (In Russian).

* Received 19 February 2026.

6. Christian C.T. [Development and modeling of a control system for device based on PTK TPTS VVER-1000]. *Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki i innovatiki* [Topical issues of modern science and innovation]. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, Pt. 1. Ufa, 2023, pp. 7–23. (In Russian).

7. Myou Yan N. [Development and modeling of the TKS13 control system based on the VVER-1000 PTK TPTS]. *IX Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya shkola-konferentsiya «Sovremennye problemy fiziki i tekhnologii»* [Materials of the IX International Scientific schools conference "Modern Problems of Physics and technology"]. Moscow, 2022, pp. 82–84. (In Russian).

8. Potekhin V.V., Smirnov P.K., Fedorov P.G., Cherkashin E.A. Razrabotka i sozдание sistemy upravleniya glubokovodnym gidravlicheskim manipulyatorom MGM-7 s prototipirovaniem na osnove polunaturalnoi modeli s elektricheskim privodom. Ch. 1 [Development and creation of a control system for the MGM-7 deep-sea hydraulic manipulator with prototyping based on a semi-natural model with an electric drive. Pt. 1]. *Morskoy vestnik*, 2023, no. 1, pp. 95–96.

9. Carobbi C. The GUM Supplement 1 and the Uncertainty evaluations of EMC Measurements. *IEEE EMC Society Newsletter*, 2010, iss. 225, pp. 53–57.

10. Semenov K.K., Abramov A.B. Sravnenie metodov predela pogreshnosti rezul'tatov obrabotki netochnykh dannykh [Comparison of methods of the margin of error of the results of processing inaccurate data]. *Yubileinye chteniya, posvyashchennye nauchnoi shkole izmeritel'nykh informatsionnykh tekhnologii* [Anniversary readings dedicated to the scientific school of measuring information technologies]. St. Petersburg, 2020, pp. 102–116.

11. Kreinovich V.Ya., Pavlovich M.I. Otsenka pogreshnosti rezul'tata kosvennykh izmerenii s pomoshch'yu vychislitel'nogo eksperimenta [Error estimate of the result of indirect measurements by using a calculational experiment]. *Izmeritel'naya tekhnika = Measurement Techniques*, 1985, no. 3, pp. 11–13. (In Russian).

12. Vostrikov A.S., Frantsuzova G.A. Sintez PID-regulyatorov dlya nelineinykh nestatsionarnykh ob'ektov [Synthesis of PID controllers for nonlinear nonstationary plants]. *Avtometriya = Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 53–60. (In Russian).

13. Denisenko V.V. PID-regulyatory: printsipy postroeniya i modifikatsii. Ch. 1 [PID controllers: issues of construction and modification. Pt. 1]. *STA: Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii*, 2006, no. 4, pp. 66–74. (In Russian).

14. Voevoda A.A., Zhmud V.A., Zavorin A.N., Yadryshnikov O.D. Sravnitel'nyi analiz metodov optimizatsii regulyatorov s ispol'zovaniem programmnykh sredstv VisSim i MATLAB [The comparative analysis of methods for optimizing controllers using software VisSim and MATLAB]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie = Mechatronics, Automation, Control*, 2012, no. 9, pp. 37–43.

15. Nadezhdin I.S., Goryunov A.G., Maneti F. Sistemy upravleniya nestatsionarnym ob'ektom na osnove MRS-regulyatora s nechetkoi logikoi [Control systems of a non-stationary plant based on MPC and PID type fuzzy logic controller]. *Upravlenie bol'shimi sistemami = Large-Scale Systems Control*, 2018, no. 75, pp. 50–75. (In Russian).

16. Efimov S.V., Kurgankin V.V., Zamyatin S.V. Proektirovanie peredatochnykh funktsii s trebuemyimi pryamymi pokazatelyami kachestva na baze preobrazovaniya Laplasya [Designing transfer function with the required direct performance measures based on the Laplace transform]. *Avtometriya = Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2014, vol. 50, no. 4, pp. 34–40. (In Russian).

Для цитирования:

Мишра А., Потехин В.В. Определение неточности в моделировании системы управления уровнем нефти по методу Крейнвича // Системы анализа и обработки данных. – 2026. – № 2 (102). – С. 133–145. – DOI: 10.17212/2782-2001-2026-2-133-145.

For citation:

Mishra A., Potekhin V.V. Opredelenie netochnosti v modelirovanii sistemy upravleniya urovнем нефти по методу Kreinovicha [Inaccuracies in mathematical modelling of an oil level control system by the Kreinovich method]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and Data Processing Systems*, 2026, no. 2 (102), pp. 133–145. DOI: 10.17212/2782-2001-2026-2-133-145.